

# ИЗВЕСТИЯ

научно-технический журнал

ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ



Новый лекарственный препарат на основе деривата фталгидразида «Тамерит», представляющий принципиально новое поколение иммуотропных средств – «Иммунотор»  
Управляемая модуляция иммунной системы человека в общеклинической, полевой и госпитальной медицинской практике, а также при профилактике специфических заболеваний

Инновационный искусственный материал биомедицинского назначения на основе инертных перфторорганических и бромперфторированных соединений – «Флюксан»  
Лечение острой кровопотери, нарушений кровотока, синдрома длительного сдавления тканей, контравмы тяжелой черепно-мозговой и спинальной травмы, детоксикационная терапия, в том числе при поражении боевыми отравляющими веществами, гидрофобными психотропными токсинами ослабленного поражающего действия жесткого ультрафиолетового излучения, ускорение заживления острых, хронических, трофических, инфицированных ран, язв, ожогов, обморожений

В ПОИСКАХ  
МОЛЕКУЛЫ ЗДОРОВЬЯ



**В НОМЕРЕ**

- 1 **В.К. Курочка.** Медико-биологическое направление в структуре МОУ «Институт инженерной физики» – новое направление в научно-исследовательской работе учреждения  
**ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ**
- 4 **Н.М. Емелин.** Метод эквивалентного преобразования марковских моделей диагностики технических систем
- 7 **Д.В. Смирнов, Е.П. Зараменских, И.А. Кочетов, А.В. Подзоров.** Методические рекомендации по расчету необходимого состава оборудования и оценке непрерывности систем мониторинга подвижных объектов  
**РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ**
- 12 **С.А. Корниенко.** Анализ критериев эффективности при оценке построения систем радиоконтроля
- 16 **В.А. Цимбал, А.А. Васильченко, А.В. Кочуров.** Математическое моделирование процесса установления соединения в сети сотовой связи GSM
- 23 **С.Н. Шиманов, А.И. Косяк, Д.В. Тарасов.** Исключение аномальных объектов при решении задачи кластеризации данных  
**ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ**
- 31 **А.А. Павлов, И.В. Роберт, А.Н. Царьков, П.А. Павлов, Д.Е. Сорокин, А.А. Бурмистров, Д.Д. Иванов.** Тестово-кодированные коррекции ошибок статических оперативных запоминающих устройств
- 38 **Е.А. Исаев, В.В. Корнилов, П.А. Тарасов, Г.В. Детков.** Использование трехзвенной архитектуры «клиент-сервер» в современных системах обработки информации
- 44 **В.Е. Аксёнов, А.Ю. Порядин.** Математическая модель комплексной предстартовой калибровки акселерометров с нелинейной оптимальной оценкой их параметров при подвижной точке разложения и без априорной информации
- 49 **Д.В. Смирнов, В.С. Стецевич.** Уязвимость информационных систем, использующих технологию виртуализации
- 54 **А.Е. Попов, Д.П. Мотасов.** Подход к оценке безопасности перевозок элементов ракетного вооружения по территориям и отдельным маршрутам сети железных дорог
- 59 **В.В. Редькин, А.А. Коробков, М.В. Кулик, М.В. Козлов, А.И. Смородин.** Особенности анализа эффективности функционирования криогенных систем и установок с резервными режимами работы  
**СОВРЕМЕННАЯ МЕДИЦИНА И ФАРМАЦЕВТИКА**
- 63 **Н.А. Дидковский, И.К. Малашенкова, Е.И. Маевский, С.А. Крынский.** Патогенетические механизмы острой анафилаксии
- 68 **Н.Б. Кармен, А.М. Закаров, Л.А. Богданова.** Побочные эффекты внутривенного введения перфторана
- 71 **И.К. Малашенкова, Н.А. Дидковский, С.А. Крынский, Л.А. Богданова.** Влияние наноэмульсий перфторуглеродов на систему фагоцитов  
**ТЕХНИКА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**
- 75 **О.В. Кемаев, А.Я. Лапковский, В.В. Редькин, А.А. Коробков.** Принцип использования в термоконтейнерах для транспортировки термостабильной медицинской продукции аккумуляторов холода и тепла картриджного типа
- 78 **О.Ф. Пашаев.** Математическая модель динамического поведения планетарного вариатора
- 85 **А.П. Репях.** Методика решения задачи прокручивания упруго-пластического тора
- 91 **С.В. Подвигин, И.В. Седова, М.М. Князева.** Выбор структурной схемы системы электроснабжения на основе альтернативных источников электроэнергии для Южного Подмоскovie  
**НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ • НАУЧНЫЕ РЕЦЕНЗИИ • ОТЗЫВЫ**
- 99 **В.П. Пашинцев, В.А. Цимбал.** Ионосферные исследования в Институте инженерной физики

Научно-технический журнал

**ИЗВЕСТИЯ  
Института инженерной физики**

№3(37)2015

Издается с апреля 2006 г. Выходит ежеквартально

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

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

**Алексей Николаевич Царьков**

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

**Редакционный совет**

**Геннадий Иванович Азаров**

*заместитель генерального директора – директор  
Департамента телекоммуникационных систем  
ФГУП «ЦНИИ ЭИСУ»,*

*заслуженный деятель науки РФ, заслуженный  
изобретатель РФ, лауреат Государственной  
премии РФ, лауреат премии Правительства РФ,  
доктор технических наук, профессор*

**Анатолий Николаевич Геращенко**

*ректор Московского авиационного института  
(национального исследовательского университета),  
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**

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 Куприянов**

доктор технических наук, профессор

**Дмитрий Геннадьевич Митрофанов**

заслуженный изобретатель РФ,

доктор технических наук, профессор

**Роман Леонидович Мусатов**

кандидат технических наук

заместитель главного редактора

**Игорь Павлович Новожилов**

выпускающий редактор

**Игорь Николаевич Оков**

доктор технических наук, профессор

**Владимир Петрович Пашинцев**

заслуженный работник высшей школы РФ,

доктор технических наук, профессор

**Валерий Николаевич Умников**

доктор технических наук, профессор

**Дмитрий Вячеславович Смирнов**

доктор технических наук, доцент

**Сергей Владимирович Смуров**

доктор технических наук, профессор

**Владимир Анатольевич Цимбал**

заслуженный деятель науки РФ,

доктор технических наук, профессор

**Сергей Николаевич Шиманов**

почетный радист РФ,

доктор технических наук, профессор

ISSN 2073-8110

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

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

Адрес редакции: 142210, Московская обл.,

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

Тел: +7(4967)35-31-93, 35-13-71

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

e-mail: [iifrfinfo@gmail.com](mailto:iifrfinfo@gmail.com) [info@iifrf.ru](mailto:info@iifrf.ru)

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

Отпечатано на полиграфической базе МОУ «ИИФ».

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

Большой Ударный пер., д. 1а.

Подписано в печать 14.09.2015. Дата выхода

в свет 18.09.2015. Тираж 2000 экз. Цена свободная.

© Межрегиональное общественное учреждение

«Институт инженерной физики» (ИИФ), 2015



**Валерий Кузьмич Курочка**

советник Президента МОУ «ИИФ»

заслуженный врач  
Российской Федерации,  
заслуженный врач Республики Бурятия,  
генерал-майор медицинской  
службы в отставке,  
академик Академии проблем  
безопасности, обороны и правопорядка,  
кандидат медицинских наук,  
профессор

**Медико-биологическое направление  
в структуре МОУ «Институт инженерной физики» –  
новое направление в научно-исследовательской  
работе учреждения**

С целью расширения спектра направлений научно-производственной деятельности в системе задач, поставленных перед военно-научными кадрами министром обороны РФ генералом армии С.К. Шойгу, а также с целью расширения задач, решаемых научно-техническим персоналом Института инженерной физики, и улучшения процесса формирования инновационной стратегии и развития МОУ «ИИФ» на качественно новом уровне образовано медико-биологическое направление.

За последние пять лет в лабораториях Института были разработаны и прошли войсковые испытания медицинские технические средства для транспортировки-эвакуации раненых (с обогревом) в экстремальных условиях Арктики. А также средства хранения и транспортировки жидких средств и лекарственных форм (специальные контейнеры с подогревом), утепленные системы для внутрисосудистого введения лекарственных средств на поле боя в суровых условиях арктического климата и другие разработки Института военно-медицинской направленности, включая проведение строительно-монтажных и отделочных работ, оснащение специальным оборудованием для реализации нового проекта – открытия научно-производственной лаборатории по производству лекарственных препаратов в соответствии с требованиями GMP.

Направление возглавили военные медики – руководители медицинской службы Ракетных войск стратегического назначения и Военно-космических сил МО РФ. Кроме вышеизложенных задач военно-

полевой и медицинской направленности одним из главных было определено такое направление деятельности как организация и проведение фундаментальных, теоретических и прикладных исследований в области иммунологии, диагностики и лечения социально-значимых заболеваний человека и разработка на этой основе лекарственных средств двойного назначения в интересах МО РФ (адаптогены, противовоспалительные средства, противоинфекционные препараты и других средств, обеспечивающих личному составу войск выполнение боевой задачи в экстремальных условиях современного боя – на суше, на море, в воздухе, в условиях жаркого, сухого, влажного или наоборот арктического климата.) Данная работа проводится под руководством доктора медицинских наук, профессора М.Т. Абидова.

В этом же ключе проводится работа по разработке и созданию новых искусственных материалов биомедицинского назначения на основе инертных перфторорганических и бромперфторированных соединений под руководством доктора медицинских наук, профессора Е.И. Маевского.

Деятельность ученых и сотрудников медико-биологического направления проводится на стыке физики, биологии и иммунологии с использованием научно-технических и производственных возможностей МОУ «ИИФ» и взаимодействующих с ним федеральных научно-производственных структур, таких как ФГУП «ГосНИИ особо чистых биопрепаратов» ФМБА России; «Институт военной медицины» ВМедА им. С.М. Кирова (Санкт-Петербург). Федеральное бюджетное учреждение науки «Институт теоретической биофизики РАН» (Пушино, Московская область), лаборатории и кафедры 1-й Московской медицинской академии им. М.А. Сеченова, Российский университет дружбы народов (Москва) и многими другими научно-производственными учреждениями РФ.

Почему именно сейчас руководство МОУ «ИИФ» приняло решение о создании в своей структуре этого нового для себя направления научно-производственной деятельности?

*Во-первых*, задача поставлена министром обороны перед военной наукой на разработку перспективных иммунобиологических защитных средств личного состава войск, действующих в современной боевой обстановке.

*Во-вторых*, острая необходимость решения проблем современных социально-значимых вызовов, таких как успешное лечение резистентных форм инфекционных болезней, туберкулеза и новых мутирующих вирусов – лихорадки Эбола, лихорадки Западного Нила, клещевого энцефалита и других форм заболеваний, наносящих невосполнимый урон боевой готовности действующей армии в случае возникновения вспышек данных заболеваний среди личного состава.

Структурно медико-биологическое направление в составе МОУ «ИИФ» представлено в виде Управления медико-биологических проблем и научно-производственной лаборатории, развернутой на территории Института в полном соответствии с требованиями GMP – как собственной научно-производственной площадки.

В интересах работы ученых и специалистов нашего направления используются имеющиеся в Институте современные научно-исследовательские структуры и лаборатории такие как:

- безэховая камера;
- лаборатория изучения квантовых взаимодействий;
- лаборатория по изучению тепловых реакций;
- лаборатория по изучению и измерению структурно-молекулярного анализа химических веществ и другие самые современные научно-технические и производственные возможности Института, обе-

спечивающие высокий уровень научного и технического потенциала нашей деятельности.

В Институте планируется строительство большого кластера фармацевтического производства по изготовлению новых лекарственных средств в интересах Министерства обороны и Министерства здравоохранения РФ.

Особенностью сегодняшней деятельности специалистов медико-биологического направления является то, что основная научно-исследовательская и производственная работа медико-биологического направления в Институте организована совместно с авторами уникальных изобретений новых лекарственных препаратов и методик их применения, такими как профессор М.Т. Абидов и Е.И. Маевский, разработавших уникальные препараты «Тамерит» и «Флюосан», которые мы сегодня регистрируем установленным порядком как препараты «двойного назначения» в интересах Министерства обороны и Министерства здравоохранения России.

1. Отличительной особенностью препаратов, созданных профессором М.Т. Абидовым на основе аминокислоты, обеспечивающих адекватную заболеваную модуляцию иммунной системы человека, является универсальность лечения не только основных социально-значимых заболеваний, но и одновременное профилактическое воздействие на функциональные нарушения организма по всему классу других заболеваний (онкологических, сахарного диабета, хирургических осложнений, урологических инфекционных заболеваний, острых и хронических вирусных заболеваний и другие). Таким образом, широкое использование всего комплекса лекарственных средств, созданных на основе «Тамерита», будет способствовать решению ряда наиболее важных социально-экономических задач здравоохранения.

2. В основе всех разработок профессора Е.И. Маевского лежат апробированные технологии подготовки компонентов и получение готового препарата «Флюосан», новые патенты и заявки на изобретение.

Имеется опыт эксплуатации уникальных гомогенизаторов высокого давления и разработана конструкция более совершенного собственного гомогенизатора для получения наноэмульсий.

Разработан проект лабораторного регламента получения новых видов эмульсий. Результаты реализации данного проекта также могут быть полезными в рамках международного сотрудничества при создании международных предприятий по производству лекарственных препаратов и инструментов для офтальмологии, косметологии, для лечения заболеваний сосудов и ускорения заживления ран, язв и трофических поражений мягких тканей.

Создание широкого набора новых искусственных химически инертных материалов позволит нам повысить эффективность лечебно-диагностических мероприятий в области военно-полевой и госпитальной медицины как в военное время, так и при ликвидации различных природных и антропогенных чрезвычайных ситуаций.

Полученные в ходе исследования материалы, экспериментальные образцы изделий, а также лабораторные экспериментальные технологии их синтеза и методы их использования, на наш взгляд, заложат научно-технологическую основу для создания принципиально новых высокоэффективных лекарственных средств как в интересах Министерства обороны, так и для Министерства здравоохранения РФ.

Над этими и другими проблемами сегодня работают ученые и специалисты медико-биологического направления Института инженерной физики в городе Серпухове Московской области.

# ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 519.21

## МЕТОД ЭКВИВАЛЕНТНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ МАРКОВСКИХ МОДЕЛЕЙ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ THE EQUIVALENT TRANSFORMATION METHOD OF MARKOV MODELS OF TECHNICAL SYSTEMS' DIAGNOSTICS

**Николай Михайлович Емелин**

*заслуженный деятель науки и техники РФСР  
доктор технических наук, профессор*

*заместитель директора ФГБНУ «Госметодцентр»  
по научной работе*

*Адрес: 115998, Москва, ул. Люсиновская, д. 51  
Тел.: +7(499)706-81-24*

### Аннотация

В статье раскрываются основные положения метода эквивалентного преобразования марковских моделей, позволяющего использовать один из вариантов динамического программирования, разработанный специально для марковских процессов – алгоритм оптимизации Р. Ховарда.

**Ключевые слова:** марковские процессы, модели, динамическое программирование, диагностика.

### Summary

The article describes the bases of the method of equivalent transformations of Markov models that allows to use one of the variants of dynamic programming, developed specifically for Markov processes – optimization algorithm of R. Howard.

**Key words:** Markov process, models, dynamic programming, diagnostic.

Марковская аппроксимация находит широкое применение при построении моделей диагностики технических систем ввиду относительной простоты и хорошего соответствия эмпирических и теоретических результатов [1]. К достоинству марковских моделей необходимо отнести возможность решать достаточно сложные задачи оптимизации параметров таких моделей, так как при многошаговости марковского процесса и когда в явном виде не присутствует аналитическое выражение целевой функции с успехом может быть применен вариант динамического программирования – алгоритм Р. Ховарда [2].

Для использования этого алгоритма необходимо каждому возможному состоянию и переходу марковской модели поставить в соответствие некоторую величину доходов (затрат), обусловленных пребыванием в этих состояниях и возможными переходами из них. Исходными данными для использования алгоритма Р. Ховарда являются число возможных состояний системы; число  $K$  вариантов параметров марковской модели; матрица интенсивностей переходов (для

марковских процессов с непрерывным временем), характеризующая интенсивность перехода из  $i$ -го состояния в  $j$ -е состояние при выборе  $K$ -го варианта и составляемая для каждого состояния аналогичная матрица доходов. Оптимальными будут те параметры модели, при которой полный ожидаемый доход будет максимальным.

Однако этот алгоритм имеет существенный недостаток: выбор оптимальных параметров систем диагностики возможен лишь в том случае, если в марковских моделях с непрерывным временем нет интенсивностей переходов, вычисляющихся через одни и те же параметры. А в большинстве марковских моделей систем диагностики такие интенсивности присутствуют. Для устранения этого недостатка в работе [3] оптимизации подвергались параметры только одного перехода, а остальные принимались неизменными. Но это приводит к искажению результатов оптимизации.

На примере простейшей модели диагностики отдельного агрегата продемонстрируем предлагаемый для устранения отмеченного недостатка

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

ка алгоритма Р. Ховарда метод эквивалентного преобразования марковских моделей.

Рассмотрим процесс функционирования агрегата с элементарной системой диагностики, включающей проведение регламента и непрерывного контроля его технического состояния.

Процесс функционирования удобно представить как последовательное пребывание агрегата в следующих состояниях:

- 1 – готовности к применению (Г);
- 2 – регламента (РГ);
- 3 – неработоспособного состояния из-за отказов и неисправностей непрерывно контролируемых элементов (О/НК);
- 4 – скрытого отказа вследствие потери работоспособности элементов агрегата, контролируемых при регламенте (СО/РГ).

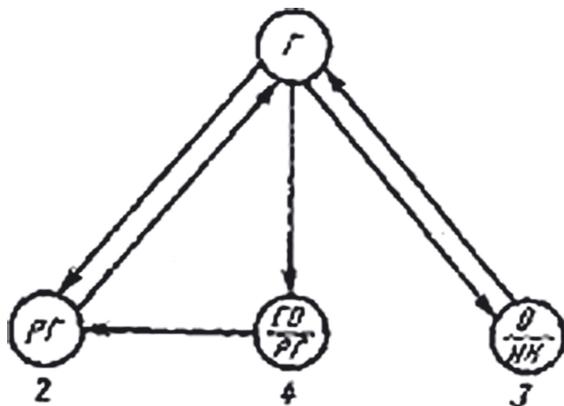


Рис. 1. Граф состояний агрегата с элементарной системой диагностики

Описанный процесс функционирования агрегата с элементарной системой диагностики может быть изображена в виде ориентированного графа состояний (рисунк 1), представляющего собой схему возможных переходов из одного состояния в другое. В процессе эксплуатации агрегат в случайный момент времени из состояния 1 готовности к применению может перейти в состояние 4 скрытого отказа вследствие потери работоспособности элементов агрегата, контролируемых при регламенте (переход 1-4). Эти отказы будут обнаружены при очередном регламенте (переход 4-2). В состояние 2 агрегат попадает с определенной периодичностью проведения регламента из состояния 1 (переход 1-2), в ходе которого устраняются все обнаруженные отказы и проводятся профилактические работы. По его окончании агрегат возвращается в состояние 1 готовности к применению (переход 2-1). Из-за отказов и неисправностей непрерывно контролируемых элементов агрегат из состояния 1 в случайные моменты времени переходит в неработоспособное состояние 3 (переход 1-3). После

их устранения агрегат приводится в состояние 1 готовности к применению (переход 3-1).

Нетрудно видеть, что в модели, граф состояний которой представлен на рисунке 1, интенсивности переходов 1-2 зависят от одного и того же параметра системы диагностики – периодичности проведения регламента. При этом для получения максимальных доходов от эксплуатации агрегата необходимо, с одной стороны, увеличивать периодичность проведения регламента (уменьшаются затраты на проведение регламента и потери от плановых понижений готовности агрегата на регламент), а с другой – уменьшать ее (уменьшаются потери от неработоспособности из-за нахождения агрегата в состоянии скрытого отказа).

Из этого следует, что закрепление оптимизируемого параметра – периодичности проведения регламента, в качестве собственной переменной только за одной из интенсивностей приведет к получению решения, отличного от оптимального.

Для устранения этого недостатка применим метод эквивалентного преобразования марковских моделей, заключающийся в следующем.

Из графа состояний рассматриваемой модели исключаются:

- все, кроме одного, переходы, описываемые зависимыми интенсивностями;
- состояния, из которых исходят эти интенсивности;
- переходы, связанные с этими состояниями;
- для сохранения физического смысла модели необходимо, чтобы доходы, приносимые при совершении исключенных переходов и нахождении в исключенных состояниях, были учтены в других переходах или состояниях модели.

Итак, исключим один из переходов, описываемых зависимыми интенсивностями: или 1-2, или 4-2. Исключим переход 4-2. Далее необходимо исключить состояние 4, из которого исходит переход 4-2. И последнее: исключим переход 1-4, связанный с состоянием 4.

В результате получим преобразованный граф состояний (рисунк 2), уже не содержащий зависимых интенсивностей переходов. При этом в состояние 1\* вкладывается уже другой смысл: теперь оно будет соответствовать работоспособному состоянию как фактически, так и мнимо из-за возможных скрытых отказов.

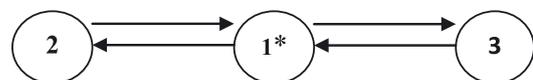


Рис. 2. Преобразованный граф состояний

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

Учет в других переходах и состояниях доходов, приносимых в исключенных переходах и состояниях, можно осуществлять исходя из того, что переходы 1-4 и 4-2 (*рисунок 1*) никаких доходов не приносят, то в состоянии 4 имеют место потери от неработоспособности из-за нахождения агрегата в состоянии скрытого отказа. Эти потери учитываются в состоянии 1\* (*рисунок 2*), в результате чего доход, приносимый агрегатом в единицу времени в состоянии 1\*, уменьшится. Отметим также, что доходы в состояниях удобно рассматривать как амортизацию вложенных в агрегат средств при его разработке и производстве, а все доходы (затраты) при переходах – как необходимые средства для проведения ди-

агностики агрегата. Таким образом, предлагаемый метод эквивалентного преобразования марковских моделей позволяет для решения задач оптимизации марковских моделей диагностики технических систем применять алгоритм Р. Ховарда.

### Литература

1. Емелин Н.М. Марковские модели – простота и изящество // Известия Института инженерной физики, 2015. №2(36). С. 47-51.
2. Ховард Р.А. Динамическое программирование и марковские процессы. – М: Сов. радио, 1964.
3. Блаженков В.В. Введение в прикладную теорию полумарковских моделей эксплуатации сложных систем. – М: МО СССР, 1979.

# ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.396.677

## МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ НЕОБХОДИМОГО СОСТАВА ОБОРУДОВАНИЯ И ОЦЕНКЕ НЕПРЕРЫВНОСТИ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ GUIDELINES FOR THE CALCULATION OF THE NECESSARY EQUIPMENT AND STAFF ASSESSMENT OF THE CONTINUITY OF MONITORING OF MOBILE OBJECTS



**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

**Евгений Петрович Зараменских**

*кандидат технических наук*

профессор кафедры  
Национальный исследовательский университет  
«Высшая школа экономики»  
Адрес: 105187, Москва, ул. Кирпичная, 33  
Тел.: +7(495)772-95-90 E-mail: zep2500@yandex.ru

**Игорь Анатольевич Кочетов**

*кандидат военных наук*

начальник НИЛ  
ВА РВСН имени Петра Великого  
(филиал в г. Серпухове)  
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,  
ул. Бригадная, д. 17  
Тел.: +7(4967)72-19-11

**Антон Владимирович Подзоров**

*кандидат технических наук*

научный сотрудник  
ВА РВСН имени Петра Великого  
(филиал в г. Серпухове)  
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,  
ул. Бригадная, д. 17  
Тел.: +7 (4967) 72-19-11

### Аннотация

В статье показана возможность использования рекомендаций по расчету необходимого состава оборудования и оценке непрерывности систем мониторинга подвижных объектов с целью обеспечения непрерывного контроля объекта мониторинга в пределах заданной территории, что позволяет повысить качество и эффективность работы как органов наказания, так и других ведомств.

**Ключевые слова:** мониторинг, подвижный объект, коэффициент ослабления, зона уверенного приема.

### Summary

The article shows the possibility of using recommendations estimation of the necessary equipment composition and evaluation of the continuity of the monitoring systems of mobile objects with the purpose of ensuring the continuous control monitoring within a specified territory, which improves the quality and effectiveness of the work of both bodies of the punishment and other agencies.

**Key words:** monitoring, movable object, attenuation factor, reception zone for.

### Введение

В настоящее время, в условиях гуманизации государственной политики, все чаще возникает необходимость в усовершенствовании и реформировании пенитенциарной системы. Одним из направлений в реформировании вышеназванной системы является использование мер нака-

заний, не связанных с изоляцией от общества [1]. Одной из таких мер является применение электронного мониторинга подконтрольных лиц [2]. Данный вид наказания позволяет обеспечить как непрерывный контроль объекта наблюдения, без необходимости нахождения последнего в местах лишения свободы, так и эко-

# ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

номии средств на содержание заключенного [3].

Стоит сказать, что система электронного мониторинга может быть использована не только в структуре ФСИН, а также применительно к МЧС и МО РФ [4], что позволяет сделать вывод об актуальности использования электронного мониторинга для многих ведомств и организаций, исходя из особенностей функциональных обязанностей.

## 1. Расчет необходимого состава оборудования системы мониторинга подвижного объекта при развертывании на базе УКВ сетей с использованием RFID технологий

Формальная задача расчета необходимого состава оборудования системы мониторинга подвижного объекта (СМПО) при развертывании на базе УКВ сетей с использованием RFID технологий представляется следующим образом.

Исходные данные:

- площадь района, охваченного СМПО –  $S$ ;
- количество объектов мониторинга в районе –  $N_{OM}$ ;
- имеющийся частотный диапазон –  $\Delta f$ ;
- характеристики приемопередающей аппаратуры.

Для представления информации о местонахождении объекта мониторинга применяются узлы мониторинга, оборудованные стационарными контрольными устройствами (СКУ) и ретрансляторами.

В Российской Федерации для нужд мониторинга определен диапазон дециметровых волн, а именно 433,075 МГц – 434,775 МГц (сетка из 69 каналов с шагом 25 кГц). Данный диапазон разрешен к применению в СМПО Министерством Здравоохранения, как не наносящий вреда человеку, и имеет следующие особенности: в соответствии с законодательством, мощность излучаемая передатчиком радиометки не должна превышать 10 мВт, однако диапазон обладает хорошей помехозащищенностью, имеет дальнейшее распространение в условиях радиовидимости при небольшой мощности.

Для организации СМПО в заданном районе, необходимо провести расчет необходимого состава оборудования системы мониторинга при развертывании на базе УКВ сетей с использованием RFID технологий.

Рекомендации по выбору оборудования состоят из следующих основных этапов:

1) условное разбиение района, охваченного СМПО, на некоторое количество зон, отличающихся по коэффициенту ослабления сигнала от радиометки;

2) определение площади каждой зоны  $S_i$ ;

3) определение коэффициента ослабления сигнала для каждой зоны  $\gamma_i$ ;

4) определение радиуса действия СКУ для каждой зоны  $R_{СКУi}$

$$R_{СКУi} = 10^{(0,05 \cdot (V_{CB} + \gamma \cdot V_{PP} - 85))} \cdot 10^{-3}; \quad (1)$$

где  $V_0$  – ослабление сигнала при передаче с радиометки на СКУ;

$V_{CB}$  – ослабление сигнала в свободном пространстве;

$V_{PP}$  – ослабление сигнала препятствиями, через которые он проходит.

5) определение площади покрытия одним СКУ

$$S_{СКУi} = \pi R_{СКУi}^2; \quad (2)$$

6) определение количества СКУ, необходимых для покрытия  $i$ -ой зоны

$$N_{СКУi} = \frac{S_i}{S_{СКУi}}; \quad (3)$$

7) определение среднего числа объектов мониторинга в каждой зоне  $N_{OMi}$

$$N_{OMi} = N_{OM} \cdot P_i; \quad (4)$$

8) определение необходимого числа каналов в СКУ для обеспечения непрерывности мониторинга для каждой зоны

$$z_i = \text{int} \left( \frac{N_{OMi} \cdot \lambda \cdot l \cdot t}{C} \right); \quad (5)$$

где  $l$  – длина сообщения от радиометки [бит];

$\lambda$  – интенсивность поступления сообщений в системе [1/с];

$C$  – пропускная способность канала связи СКУ [бит/с].

9) требуемое количество каналов СКУ определяется по выражению

$$z_i = \text{int} \left( \frac{N_{OMi} \cdot \lambda \cdot l \cdot t}{C} \right); \quad (6)$$

где  $C$  – пропускная способность канала связи СКУ [бит/с].

10) общее количество СКУ, необходимых для покрытия  $i$ -ой зоны может быть определено по выражению

$$N_i = \text{int} \left( \frac{N_{OMi} \cdot \lambda \cdot l \cdot t}{C \cdot z_{СКУ}} \right); \quad (7)$$

где  $z_{СКУ}$  – количество каналов связи в применяемом СКУ.

11) общее количество СКУ для организации СМПО в заданном районе определяется

$$N = \sum_{i=1}^n N_{СКУi}. \quad (8)$$

В представленных рекомендациях не учтено влияние алгоритмов шифрования передаваемых сообщений, использование которых вносит определенные изменения в характеристики информационного обмена.

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

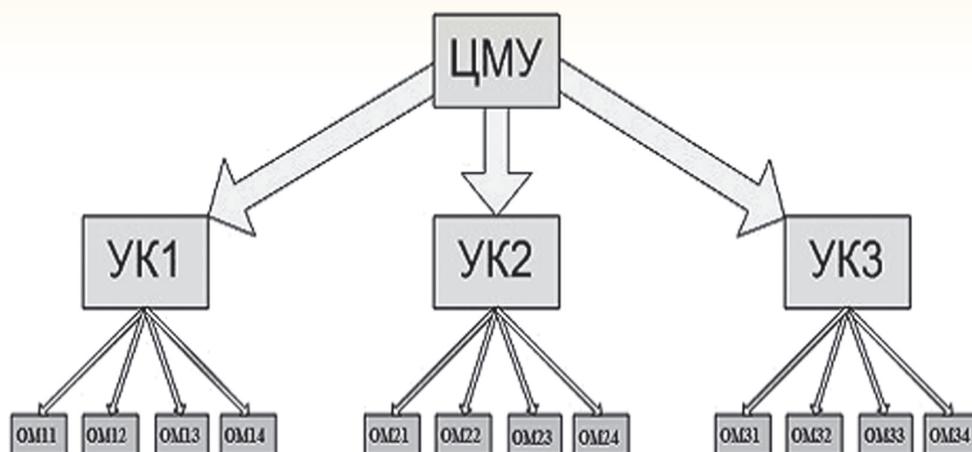


Рис. 1. Структура СМПО с «горизонтальными» связями

### 2. Оценка непрерывности систем мониторинга подвижного объекта

Одной из первостепенной задачи при разработке систем мониторинга подвижных объектов является оценка непрерывности систем мониторинга, которая позволяет оценить возможность эффективного использования системы мониторинга в рамках поставленных задач.

В оценке непрерывности СМПО можно выделить четыре основных этапа.

Первый этап заключается в выборе структуры мониторинга. Выбор структуры сводится к следующим действиям: после ввода исходных данных производится определение необходимой площади контролируемой территории, обеспечивающей непрерывное наблюдение за объектом. Затем осуществляется определение необходимого количества направлений связи между объектом мониторинга (ОМ) и центром мониторинга и управления (ЦМУ), которые обеспечат устойчивый канал связи с помощью имеющихся УКВ-радиосредств. После этого оценивается площадь, в пределах которой необходимо организовать свободное перемещение контролируемого объекта с учетом необходимой связанности структуры СМПО.

Затем производим проверку обеспечения непрерывности СМПО при нахождении объекта мониторинга в пределах определенного участка. Если это условие выполняется, то производится расчет площади, в пределах которой объект может свободно перемещаться, удовлетворяя условиям непрерывности с центром мониторинга и управления.

При невыполнении условия непрерывности возникает необходимость введения в структуру СМПО ретрансляторов для увеличения дальности связи между объектом и центром мониторинга. Далее проводится расчет вероятности со-

хранения канала связи после ввода в структуру СМПО ретрансляторов, которая сравнивается с допустимой вероятностью сохранения канала связи. При выполнении этого условия, выбирается структура с введенными в нее ретрансляторами. Следующий шаг будет заключаться в выборе варианта структуры СМПО для введенных исходных данных.

На втором этапе оценки непрерывности мониторинга необходимо произвести оценку значений частного показателя, характеризующего связность структуры СМПО. Ее решение основано на методике расчета зон уверенного приема. На *рисунке 1* представлен вариант структуры СМПО с «горизонтальными» связями.

Оценка зон уверенного приема сводится к расчету коэффициента ослабления сигнала в точке приема ( $A_{cr}$ ). Существует достаточно большое число методов расчета ослабления мощности сигнала в точке приема, основными из них можно выделить следующие: метод Окумура, метод Хата, метод Уолфиша-Икегами. Указанные методы позволяют с разной степенью строгости учитывать и исследовать основные параметры УКВ-радиосигнала. Однако следует отметить, что основным недостатком рассмотренных методов заключается в наложении ряда ограничений при учете особенностей рельефа местности.

В нашем случае, для расчета УКВ-радиосигнала, предлагается использовать методику предсказаний для определенного диапазона расстояний, описанной Лонгли и Райсом. Данная методика позволяет провести более точную аппроксимацию рельефа местности за счет возможности деления препятствия на радиотрассе на элементарные участки.

Для дальнейшего расчета величины ослабления радиосигнала необходимо знать расчетное значение дифракционного ослабления сигнала

# ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

ла. Для этого перед выполнением производится расчет  $A_{ed}$  – значение дифракционного ослабления радиосигнала и далее проводятся расчеты ослабления сигнала в свободном пространстве.

Первоначально производится расчет двух расстояний: расстояние между антеннами  $d_0$  и расстояние от излучателя до рассеивающего объекта  $d_1$ . Указанные расстояния выбираются таким образом, что разница между прямолинейным и отраженным от Земли лучами не превышает 1/4 длины волны. Значения  $d_0$  и  $d_1$  определяются по формулам:

если  $A_{ed} \geq 0$ , тогда:

$$d_0 = \min\left(4 * 10^{-5} * h_{e1} * h_{e2} * f, \frac{d_1}{2}\right), \quad (9)$$

если  $A_{ed} < 0$ , тогда:

$$d_0 = \begin{cases} \min\left(-\frac{A_{ed}}{m_d}, (d_1 - 2)\right), \dots \text{если} \dots \min\left(-\frac{A_{ed}}{m_d}, (d_1 - 2)\right) \geq \frac{d_1}{2} \\ \frac{d_1}{2}, \dots \text{если} \dots \min\left(-\frac{A_{ed}}{m_d}, (d_1 - 2)\right) < \frac{d_1}{2} \end{cases}, \quad (10)$$

где  $f$  – радиочастота в МГц;

$h_{e1}$ ,  $h_{e2}$  – эффективные высоты передающей и приемной антенн соответственно в метрах;

$d_1$  – сумма расстояний от передающей и принимающей антенн до соответствующих горизонтов.

Величина «теоретического» отражения от земли для вертикальной поляризации волны вычисляется по формуле:

$$R_{v0,1} = \sqrt{\frac{1 + b_{v0,1} \sin^2 \psi_{0,1} - m_{v0,1} \sin^2 \psi_{0,1}}{1 + b_{v0,1} \sin^2 \psi_{0,1} + m_{v0,1} \sin^2 \psi_{0,1}}}, \quad (11)$$

где  $\psi$  – угол скольжения радиолуча, отраженного от ровной поверхности Земли определяется по формуле:

$$\psi_{0,1} = \tan^{-1}\left(\frac{h_{e1} + h_{e2}}{1000 * d_{0,1}}\right). \quad (12)$$

На основе полученного значения  $R_v$  определяем значение «эффективного» коэффициента отражения от поверхности Земли в зависимости от выполнения следующих условий:

если

$$R_{v0,1} * \exp\left(-\frac{2\pi * \sigma_h \sin \psi_{0,1}}{\lambda}\right) > 0,5$$

и  $R_{v0,1} * \exp\left(-\frac{2\pi * \sigma_h \sin \psi_{0,1}}{\lambda}\right) > \sqrt{\sin \psi_{0,1}}$ , (13)

то

$$R_{e0,1} = R_{v0,1} * \exp\left(-\frac{2\pi * \sigma_h \sin \psi_{0,1}}{\lambda}\right), \quad (14)$$

в противном случае:

$$R_{e0,1} = \sqrt{\sin \psi_{0,1}}. \quad (15)$$

Ослабления сигнала в свободном пространстве  $A_0$  и с учетом рельефа местности  $A_1$  на расстояниях  $d_0$  и  $d_1$  рассчитываются на базе двухлучевой теории и полученных дифракционных значениях по следующей формуле:

$$A_{0,1} = \min(w_0 A_{t0,1} + (1 - w_0) A_{0,1d}, A_{0,1d}), \quad (16)$$

где параметр  $w_0$  определяется:

$$w_0 = \frac{1}{1 + f * \Delta h * 10^{-4}}. \quad (17)$$

Для любого расстояния между антеннами, меньшего, чем расстояние суммы горизонтальных расстояний по равнинной поверхности Земли  $d_{1s}$ , значение ослабления мощности радиосигнала  $A_{cr}$  вычисляется:

$$A_{cr} = A_0 + k_1(d_0 - d_1) + k_2 \log_{10}\left(\frac{d_0}{d_1}\right), \quad (18)$$

где  $k_{1,2}$  – константы, описывающие расположение излучателя в заданный период:

$$k_2 = \max\left(\frac{(A_{1s} - A_0)(d_1 - d_0) - (A_1 - A_0)(d_{1s} - d_0)}{(d_1 - d_0) \log_{10}\left(\frac{d_{1s}}{d_0}\right) - (d_{1s} - d_0) \log_{10}\left(\frac{d_1}{d_0}\right)}, 0\right). \quad (19)$$

Затем на основе полученного значения  $k_2$  вычисляем  $k_1$ :

$$k_1 = \frac{(A_{1s} - A_0) - k_2 \log_{10}\left(\frac{d_{1s}}{d_0}\right)}{d_{1s} - d_0}, \quad (20)$$

где  $A_{1s}$  – дифракционное ослабление сигнала на расстоянии  $d_{1s}$ .

Если полученное значение ослабления  $A_{cr}$  меньше нуля, то полагаем, что  $A_{cr} = 0$ .

На третьем этапе оценки непрерывности СМПО необходимо осуществить выбор пределов перемещения объекта мониторинга по полученным значениям частных показателей. Существуют различные способы решения данной задачи методами теории принятия решений, здесь можно выделить следующие методы: метод главного показателя, в данном методе задача выбора варианта перемещения сводится к задаче оптимизации по одному показателю, который объявляется главными, при условии, что значения остальных показателей не менее требуемых; метод обобщенного показателя; метод последовательных уступок, предложенный Е.С. Вентцель [5], он представляет собой развитие метода главного показателя за счет определения его допустимого снижения (уступки).

На четвертом этапе оценки непрерывности СМПО необходимо выбрать маршруты передвижения объекта мониторинга на заданное расстояние, для чего производится перебор всех

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

маршрутов передвижения объекта с последующим категорированием.

### Заключение

В статье была представлена возможность эффективного использования системы мониторинга подвижного объекта в рамках предлагаемых рекомендаций.

В ходе исследования систем мониторинга был описан расчет необходимого состава оборудования системы мониторинга при развертывании на базе УКВ сетей с использованием RFID технологий, позволяющий проанализировать необходимое оборудование систем мониторинга на этапе проектирования.

Далее была представлена методика оценки непрерывности систем мониторинга подвижного объекта, позволяющая оценить возможность эффективного и непрерывного обеспечения канала связи в различных условиях рельефа местности. Также указанная методика позво-

ляет учитывать знания об обстановке и производить выбор варианта перемещения объекта мониторинга, основываясь на предпочтениях показателей качества, методом последовательных уступок.

### Литература

1. Кристи Н. Пределы наказаний. М.: Прогресс, 1958. 244 с.
2. Бобылев О.В. Правовые вопросы использования электронного наблюдения за осужденными. М.: Аналитический обзор, 2008. 146 с..
3. Методические рекомендации по применению электронной системы мониторинга и слежения в учреждениях. М.: УИС, 2008. 23 с..
4. Зараменских Е.П., Смирнов Д.В., Артемьев И.Е. Принципы построения системы электронного мониторинга подконтрольных лиц в России / Новосибирск, Центр развития научного сотрудничества, изд. «СИБПРИНТ», 2011. 72 с..
5. Вентцель Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология. М.: Высшая школа, 2001. 203 с.

# РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

УДК 621.396.4

## АНАЛИЗ КРИТЕРИЕВ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ ОЦЕНКЕ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ РАДИОКОНТРОЛЯ

## ANALYSIS OF THE PERFORMANCE CRITERIA IN THE CONSTRUCTION EVALUATION OF THE RADIO MONITORING SYSTEMS

**Сергей Александрович Корниенко**

*кандидат технических наук*

доцент

Институт информационных технологий  
и телекоммуникаций Северо-Кавказского  
федерального университета

Адрес: 355028, г. Ставрополь, пр-т Кулакова, д. 2  
Тел.: +7(865)295-65-46

### Аннотация

Рост телекоммуникационных сетей на территории Российской Федерации, сопровождается увеличением количества используемых радиоэлектронных средств и, как следствие, осложнение электромагнитной обстановки. Создание эффективной системы радиоконтроля (РК) является актуальной задачей. Информация об источниках радиоизлучений, получаемая радиоконтрольными постами, обрабатывается, анализируется и оценивается с помощью различных технических средств радиоконтроля и инженерного персонала. Понятие эффективности системы радиоконтроля в целом обширное и многоплановое, как правило, его разделяют на две основные и взаимосвязанные составляющие – техническую и экономическую (технико-экономическую).

Технико-экономический критерий для оценки эффективности построения системы радиоконтроля должен учитывать затраты ресурсов на достижение ряда требуемых или реализуемых показателей качества и технической эффективности, либо указывать правило оптимизации этих показателей при заданных затратах, то есть использование минимаксного метода, важная задача для повышения эффективности приобретаемого оборудования.

Таким образом, технико-экономическая эффективность, являющаяся наиболее общей характеристикой, определяется как рассмотренными техническими параметрами, показателями оборудования РК, так и задачами подсистем радиоконтроля. Тогда как чисто экономическая эффективность непосредственно связана с затратами на проектирование, производство, доставку, монтаж, обслуживание и эксплуатацию системы РК и тем «не видимым» доходом, который дает ее использование.

**Ключевые слова:** радиоэлектронные средства, системы радиоконтроля, радиоконтрольные по-

сты, технико-экономические критерии для оценки эффективности, критерии оценки эффективности, критерий типа «эффективность – стоимость», цели радиоконтроля, годовые затраты.

### Summary

The growth of telecommunications networks in the Russian Federation, accompanied by an increase in the number of used electronic means and, as a consequence, a complication of the electromagnetic environment. Establishing an effective system of radio (RK) is an important task. Information about the radio sources received radio monitoring posts, processed, analyzed and evaluated using a variety of hardware and radio engineering staff. The concept of the effectiveness of the radio as a whole vast and diverse, as a rule, it is separated into two major and interrelated components – technical and economic (feasibility).

Technical and economic criteria for evaluating the effectiveness of building a radio monitoring system should take into account the cost of resources to achieve the required number of ongoing or indicators of quality and technical efficiency, or to specify a rule optimization of these parameters for a given cost, that is, the use of minimax method, an important task to improve the efficiency of the purchased equipment.

Thus, the technical and economic efficiency, which is the most common characteristic is defined as a review of the technical parameters, performance equipment RK and objectives radio subsystems. While purely economic efficiency is directly related to the cost of design, manufacture, delivery, installation, maintenance and operation of the RK and the «not visible» income, which allows its use.

**Key words:** electronic warfare systems, radio monitoring, radio monitoring posts, technical and economic criteria for assessing the effectiveness, performance evaluation criteria, the criterion of the «efficiency – cost» target radio monitoring, annual costs.

## РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

Стремительный рост телекоммуникационных сетей, построенных с использованием различных радиотехнологий на территории Российской Федерации (РФ), сопровождается увеличением количества используемых радиоэлектронных средств (РЭС), и, как следствие, осложнением электромагнитной обстановки (ЭМО). Создание эффективной системы радиоконтроля (РК) в широком диапазоне частот для России является актуальной задачей [1].

Информация об источниках радиоизлучений, получаемая радиоконтрольными постами (РКП), обрабатывается, анализируется и оценивается с помощью различных технических средств радиоконтроля и инженерного персонала. Для информационного обмена должна быть выстроена как система радиоконтроля (основу которой составляют РКП различного уровня: субъектов РФ, федеральных округов, центральный РКП РФ), так и система передачи полученной информации об источниках радиоизлучений для ее дальнейшего анализа и использования по назначению. Учитывая важность задач, стоящих перед службой радиоконтроля, а также иерархичность построения данной системы и многообразие эксплуатируемых технических средств РК, возникла необходимость использования методов системного анализа при планировании ее работы, а также оценки эффективности построения систем радиоконтроля и составляющих ее технических средств.

Понятие эффективности системы радиоконтроля в целом обширное и многоплановое, как правило, его разделяют на две основные и взаимосвязанные составляющие – техническую и экономическую (техничко-экономическую). Но при этом всегда имеется в виду степень соответствия выполняемых системой функций и показателей расходуемых ресурсов – технических, финансовых, природных.

Главным назначением системы радиоконтроля любого уровня является постоянный или периодический контроль загрузки эфира в широком диапазоне частот, обнаружение и анализ новых излучений, определение местоположения несанкционированных источников, оценка их опасности, выявление непреднамеренных или специально организованных источников помех.

В ходе комплектования и формирования системы радиоконтроля средства радиоконтроля можно разделить на категории (группы) по явно выраженным специфическим признакам, с последующим определением рациональной структуры аппаратуры радиоконтроля. К таким признакам можно отнести [3]:

1) размер зоны (территории) действия предполагаемого к размещению поста радиоконтроля,

2) характер использования НРКП – постоянный или периодический,

3) выполняемые функции – оборудование радиоконтроля планируемое к установке не должно иметь лишних избыточных функций, для чего необходима подготовка правильного технического задания (по конкретному месту установки оборудования) производителю,

4) производительность оборудования,

5) конструктивные ограничения.

Техничко-экономический критерий для оценки эффективности построения системы радиоконтроля должен учитывать затраты ресурсов на достижение ряда требуемых или реализуемых показателей качества и технической эффективности, либо указывать правило оптимизации этих показателей при заданных затратах.

Очень часто, в силу ограниченности ресурсов, ставится задача снижения или минимизации стоимости системы радиоконтроля, в то время как эффективность должна быть не ниже заданной, либо возможно более высокой. Таким образом, на практике технические требования к системе радиоконтроля в большинстве случаев подчинены требованиям к ее экономической эффективности. Следовательно, могут быть и разные подходы к построению критерия эффективности.

Рассмотрим несколько вариантов таких критериев.

1) Первый критерий. Затраченные ресурсы, то есть параметры и показатели качества системы радиоконтроля, должны обеспечивать наивысшую эффективность:

$$F(Q_0) = g \quad (1)$$

при варианте системы  $x_1^*$  в соответствии с критерием

$$\max_{x \in X} g(x, \bar{C}), \quad C_{\Sigma} = C = \bar{C},$$

то есть при заданной стоимости системы радиоконтроля  $C$  должна достигаться максимальная ее эффективность

$$g_{\max}(x_1^*, \bar{C}).$$

2) Второй критерий. Требуемая эффективность системы должна быть обеспечена при наименьших затратах. Тогда вариант М-системы  $x_2^*$  выбирается по критерию:

$$g = \bar{g}, \min_{x \in X} C(x, \bar{g}), \quad (2)$$

То есть заданная эффективность  $\bar{g}$  обеспечивается при

$$C_{\min}(x_2^*, \bar{g}).$$

Эти два варианта эквивалентны, если функция  $g_{\max}(C)$  возрастающая.

3) Третий критерий. Максимальная эффективность должна быть обеспечена на единицу затраченного ресурса, то есть

$$\max g(x)/C(x). \quad (3)$$

Данный критерий удобен своей относительностью, так как не требует задания по абсолютной величине значений эффективности, либо стоимости  $C$ .

В таких случаях экономическая эффективность  $\mathcal{E}$  оценивается доходом  $D$ , приносимым в результате использования системы. При этом критерии строятся также по трем рассмотренным вариантам: максимальный доход при заданных затратах, минимальные затраты при заданном доходе, максимальный доход на единицу затрат.

Критерий типа «эффективность – стоимость», использующие разность между доходами и затратами, то есть прибыль  $P$ :

$$\max(D - C_{\Sigma}) \text{ или } (D - C_{\Sigma}) \geq \bar{C}, \quad (4)$$

Формула (4) применима больше к коммерческим системам, экономическая эффективность которых оценивается доходом полученным от предоставления услуг связи, который выражаются в денежном эквиваленте, либо в результатах деятельности оператора.

В нашем случае полезный эффект от построенной эффективной системы радиоконтроля обусловлен такими характеристиками, как: решение государственных задач стоящими перед системами радиоконтроля, социальными задачами в интересах граждан РФ, задачами обеспечения безопасности и правопорядка. Так как в соответствии с федеральным законом «О связи» №126-ФЗ от 07.07.2003 статья 25, Постановления Правительства РФ №175 от 01.04.2005 года, радиоконтроль проводится в следующих целях [5]:

- 1) проверки соблюдения пользователями правил использования радиочастотного спектра;
- 2) выявления не разрешенных для использования радиоэлектронных средств и прекращения их работы;
- 3) выявления источников радиопомех;
- 4) выявления нарушения порядка и правил использования радиочастотного спектра, национальных стандартов, требований к параметрам излучения (приема) радиоэлектронных средств и (или) высокочастотных устройств;
- 5) обеспечения электромагнитной совместимости;
- 6) обеспечения эксплуатационной готовности радиочастотного спектра.

Радиоконтроль является составной частью государственного управления использованием радиочастотного спектра и международно-правовой защиты присвоения (назначения) радиочастот или радиочастотных каналов. Видно, что проведение радиоконтроля носит в большей степени социальный характер (в интересах юридических и физических лиц), а также с целью обеспечения безопасности функционирования систем связи, работающих в интересах как государства в целом, так и его граждан.

При проведении данной работы сложно определить доход, который можно получить от создания такой системы радиоконтроля. Экономическую составляющую эффективности необходимо трансформировать в приведенные годовые затраты, состоящие из текущих, эксплуатационных затрат  $C_{\Sigma}$  и стоимости создания системы, отнесенной к одному году с учетом временных нормативов окупаемости

$$T_{ок}: \mathcal{E} = C_{\Sigma} + C_{\Sigma}(1/T_{ок}). \quad (5)$$

Функцию технико-экономической эффективности можно выразить следующим выражением:

$$\Phi(Q_{\Sigma}, C_{\Sigma}) = F(Q_{\Sigma})/C_{\Sigma}, \quad (6)$$

где  $F(Q_{\Sigma})$  – обобщенный показатель технической эффективности, не зависящий от стоимости при анализе системы, то есть до принятия проектных решений.

Таким образом, видно, что главным условием обеспечения технико-экономической эффективности системы радиоконтроля, является максимальное использование технических характеристик по компонентам системы. Сочетание технических решений заложенных проектировщиками в системе радиоконтроля и ее экономические показатели, определяют конкурентоспособность системы.

Наряду с получением коммерческого эффекта, от создания системы РК одной из целей создания такой системы может быть жизнеобеспечение людей и материальных средств. В таком случае может оказаться целесообразным перераспределение роли и важности показателей технической эффективности. В связи с этим еще одним показателем эффективности может быть величина предотвращенного ущерба государству, а именно:

- 1) незаконная работа РЭС на не разрешенных частотах,
- 2) поиск свободных для использования частот,
- 3) анализа загруженности радиочастотного спектра, не приводящие на прямую к доходу, но снижающие или устраняющие дополнительные расходы граждан.

## РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

Очевидно, что такого рода функции и возможности системы достигаются за счет дополнительных затрат по сравнению с отсутствием указанных воздействий внешней среды. Это подтверждает отмеченное выше положение, что достижение экстремальных значений ряда показателей эффективности М-системы не всегда возможно, так как требует разных, зачастую противоречивых подходов к построению и выбору параметров, причем во многих случаях за счет увеличения затрат ресурсов, а как следствие стоимости.

Таким образом, технико-экономическая эффективность, являющаяся наиболее общей характеристикой, определяется как рассмотренными выше техническими параметрами, показателями оборудования РК, так и задачами систем радиоконтроля. Тогда как чисто экономическая эффективность непосредственно связана с затратами на проектирование, производство, доставку, монтаж, обслуживание и эксплуатацию системы РК и тем «не видимым» доходом, который дает ее использование.

На практике задачи анализа и синтеза систем стремятся сводить к оптимизации по одно-двум наиболее важным показателям технической эффективности или по какому либо комплексному показателю, с ограничениями на остальные, и то при условии преодоления противоречивых результатов.

### Заключение

Как видно из (6), в целом реализуемая и потенциальная эффективность, качество системы определяются, с одной стороны затратами ресурсов, используемых для ее создания, с другой – полезностью (по тому или иному критерию) результатов применения. При этом то и другое во многом зависит от технических и технологиче-

ских решений во взаимосвязи с общесистемными и аппаратурными параметрами, выбор которых производится проектировщиком (т.е. привлекается в первую очередь такой важный вид ресурса как интеллектуальный).

Поскольку все же наличие и возможности использования большинства любых ресурсов во всех случаях связаны с финансовыми затратами, главным количественным критерием чаще всего является сочетание технических и экономических показателей эффективности. Одним из основных и наиболее общих выражений этого критерия применительно к системе радиоконтроля далее будем считать полученный полезный эффект от работы построенной системы радиоконтроля.

### Литература

1. Корниенко С.А. Применение системного анализа при оценке структурной сложности служб радиоконтроля. Воронеж: Информационные технологии моделирования и управления, 2007. 160 с.
2. Бузов А.Л., Быховский М.А. Управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость радиосистем. М.: ЭкоТрендз, 2006. 374 с.
3. Рембовский А.М., Ашихмин А.В., Козьмин В.А. Радиомониторинг: задачи, методы, средства. М.: Горячая линия – Телеком, 2006. 492 с.
4. Антушев Г.С. Методы параметрического синтеза сложных технических систем. М.: Наука, 1989. 88 с.
5. Федеральный закон «О связи» №126-ФЗ от 07.07.2003 года.
6. Правила осуществления радиоконтроля в Российской Федерации. Постановление Правительства РФ №175 от 1.04.2005 года.
7. Корниенко С.А. Анализ существующих методов приведения систем радиоконтроля в сопоставимый вид // Известия Института инженерной физики, 2008, №3(9). С. 38-41.
8. Корниенко С.А. Анализ функциональных характеристик, описывающих основные свойства оценки сложных систем радиоконтроля // Известия Института инженерной физики, 2009, №2(12). С. 16-20.

# РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

УДК 654. 02

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УСТАНОВЛЕНИЯ СОЕДИНЕНИЯ В СЕТИ СОТОВОЙ СВЯЗИ GSM MATHEMATICAL MODELING OF THE PROCESS OF ESTABLISHING A CONNECTION TO THE GSM NETWORK

**Алексей Алексеевич Васильченко**

адъюнкт

филиал ВА РВСН им. Петра Великого

(г. Серпухов)

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

ул. Бригадная д. 17

Тел.: +7(4967)789-529

**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

**Алексей Васильевич Кочуров**

аспирант

МОУ «ИИФ»

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

Большой Ударный пер., д. 1а

Тел.: +7(4967)35-31-93

### Аннотация

В статье рассматривается поглощающая конечная марковская цепь процесса установления соединения в системе сотовой связи GSM. Определяются характеристики оперативности организации связи между мобильными станциями в зависимости от системных параметров системы сотовой связи GSM.

**Ключевые слова:** система сотовой связи GSM, установление соединения, конечная марковская цепь, вероятностные и вероятностно-временные характеристики, уравнение Колмогорова-Чепмена, вероятность установления соединения в системе сотовой связи GSM, вероятность отказа в установлении соединения, фундаментальная и дисперсионная матрицы.

### Summary

In article it is considered absorbing final Markov a chain of process of an establishment of connection in system of cellular communication GSM. Characteristics of efficiency of the organization of communication between mobile stations depending on system parameters of system of cellular communication GSM are defined.

**Key words:** system of cellular communication GSM, the connection establishment, absorbing final Markov a chain, likelihood and is likelihood-time characteristics, Kolmogorov-Chepmen equation, probability of an establishment of connection in system of cellular communication GSM, probability of refusal in the connection establishment, fundamental and dispersive matrixes.

Обеспечение связью мобильных абонентов, расположенных на большой территории, эффективно реализуют системы сотовой связи (ССС) типа GSM, которые в настоящее время являются основным средством телекоммуникаций для населения РФ. Качество информационного обмена абонентов в СССР во многом определяется оперативностью фазы установления соединения между мобильными станциями (MS), распо-

ложенными как в одной, так и в разных сотах СССР [1, 4]. Для нахождения «узких» мест в этом процессе и последующей его оптимизации необходимо построить математическую модель такого процесса.

Основными элементами СССР, участвующими в организации и ведении информационного обмена между абонентами, являются [1, 4]:

- MS – мобильная станция СССР, которую

использует (подключен) один абонент ячейки (соты);

- BS – базовая станция ячейки (соты) CCC, содержащая типовую многоканальную (частотно-временную) приемо-передающую аппаратуру, а также коммутационное оборудование (MSC) и контроллеры;

- VLR – регистр перемещения, представляющий собой базу данных, содержащую информацию об актуальных в текущий момент времени MS, расположенных в совокупности ячеек (сот) CCC, обслуживаемых данным VLR (как правило, один VLR обслуживает от 1 до 4 ячеек (сот) и располагается на одной из BS);

- HLR – домашний регистр, представляющий собой базу данных, содержащую информацию о всех актуальных в текущий момент времени MS всей CCC (HLR один на всю CCC).

Отметим, что все BS, тяготеющие к своему VLR, соединены с ним высокоскоростными цифровыми проводными или радиоканалами, а все VLR соединены такими же каналами с HLR:

- канал случайного доступа для всех MS ячейки (соты) к BS этой соты (общий восходящий канал);

- широкополосный канал от BS для всех MS ячейки (соты)-общий нисходящий канал;

- сигнальные каналы BS данной ячейки (соты);

- каналы трафика данной ячейки (соты).

Организация информационного обмена между двумя MS (MS-инициатором и MS-ответчиком) CCC реализуется в два одинаковых этапа.

В ходе первого этапа запрос MS-инициатора должен пройти через BS до VLR и далее до HLR, в ходе чего будет определена ячейка (сота), в которой находится запрашиваемая MS-ответчик. При этом должна быть также решена задача аутентификации MS-инициатора [4].

В ходе второго этапа VLR, к которому тяготеет ячейка (сота), в которой находится MS-ответчик, через соответствующую BS принудительно заставляет MS-ответчик осуществлять такие же процессы организации соединения вплоть до доступа к VLR. При этом должна быть также решена задача аутентификации MS-ответчика [4].

Исходя из изложенного, создание общей модели процесса установления соединения в CCC GSM между двумя MS можно свести к созданию модели установления соединения между MS-инициатором и VLR.

Модель установления соединения между MS-инициатором и VLR реализуется в две фазы.

В ходе первой фазы MS-инициатор по каналу случайного доступа выдает на BS запрос на выделение сигнального канала (для последующей

выдачи детального запроса на информационный обмен). В ходе второй фазы MS-инициатор по выделенному сигнальному каналу выдает адрес конкретной MS-ответчика CCC, с которой MS-инициатор требует связи. Кроме того, в ходе второй фазы решается задача аутентификации MS-инициатора.

Формализуем те состояния, в которых может находиться данный процесс:

S1 – состояние процесса, в котором MS-инициатор шлет сообщение на BS с запросом установления сигнального канала.

S2 – BS приняла данное сообщение от MS-инициатора. Если на BS имеется свободный сигнальный канал для организации процесса установления соединения, то BS в ответ выделяет сигнальный канал и пересылает его на MS-инициатор. Если возможность выделить сигнальный канал отсутствует, то на MS-инициатор выдается сигнал «Отказ».

S3 – по истечению тайм-аута повторной передачи ( $\tau_m$ ) MS-инициатор не получила информацию о выделении сигнального канала.

S4 – BS приняла сообщение от MS-инициатора после повторной передачи. Если на BS имеется свободный сигнальный канал, то BS в ответ выделяет сигнальный канал и пересылает его на MS-инициатор. Если возможность выделить сигнальный канал отсутствует, то на MS-инициатор выдается сигнал «Отказ».

S5 – по истечению тайм-аута двукратной повторной передачи ( $\tau_m$ ) MS-инициатор не получила информацию о выделении сигнального канала.

S6 – BS приняла сообщение от MS-инициатора после двукратной повторной передачи. Если на BS имеется свободный сигнальный канал, то BS в ответ выделяет сигнальный канал и пересылает его на MS-инициатор. Если возможность выделить сигнальный канал отсутствует, то на MS-инициатор выдается сигнал «Отказ».

S7 – по истечению тайм-аута трехкратной повторной передачи ( $\tau_m$ ) MS-инициатор не получила информацию о выделении сигнального канала.

S8 – BS приняла сообщение от MS-инициатора после трехкратной повторной передачи. Если на BS имеется свободный сигнальный канал, то BS в ответ выделяет сигнальный канал и пересылает его на MS-инициатор. Если возможность выделить сигнальный канал отсутствует, то на MS-инициатор выдается сигнал «Отказ».

S9 – по истечению тайм-аута четырехкратной повторной передачи ( $\tau_m$ ) MS-инициатор не получила информацию о выделении сигнального канала.

$$P_{[17,17]} = \begin{pmatrix} 0 & p_{12} & p_{13} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p_{23} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{211} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{217} \\ 0 & 0 & 0 & p_{34} & p_{35} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & p_{45} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{411} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{417} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{56} & p_{57} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{67} & 0 & 0 & 0 & p_{611} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{617} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{78} & p_{79} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{89} & 0 & p_{811} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{817} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{910} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{917} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{1011} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{1017} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{1112} & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{1117} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{1213} & 0 & 0 & 0 & p_{1217} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{1314} & 0 & 0 & p_{1317} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{1415} & 0 & p_{1417} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{1516} & p_{1517} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

S10 – BS приняла сообщение от MS-инициатора после четырехкратной повторной передачи. Если на BS имеется свободный сигнальный канал, то BS в ответ выделяет сигнальный канал и пересылает его на MS-инициатор. Если возможность выделить сигнальный канал отсутствует, то на MS-инициатор выдается сигнал «Отказ».

S11 – MS-инициатор успешно приняла сообщение о выделении сигнального канала от BS и по установившемуся сигнальному каналу MS-инициатор запрашивает установление виртуального канала на коммутатор MSC и далее на VLR.

S12 – VLR успешно приняла запрос на установление виртуального канала и отправляет на MS-инициатор RAND – случайное число (в рамках процедуры аутентификации).

S13 – MS-инициатор успешно принимает сообщение со случайным числом RAND, обрабатывает данное случайное число, на его основе получает число SRES и передает назад на VLR.

S14 – VLR успешно принимает сообщение от MS-инициатора, содержащее число SRES; независимо вычисляет SRES и сравнивает с полученным от MS-инициатора. Если два числа совпадают, то VLR шлет сообщение на продолжение установление соединения. Если два числа не совпадают, то на MS-инициатор выдается сигнал «Отказ».

S15 – MS-инициатор успешно получает сообщение о продолжении установления соединения и отправляет сообщение на MSC и VLR о запросе начала вызова.

S16 – VLR успешно приняла сообщение от MS-инициатора о запросе начала вызова (состояние соединения).

S17 – Состояние «Отказ».

Состояния S16, S17 являются поглощающими.

Поскольку переход исследуемого процесса из одного состояния в другое зависит только от предыдущего состояния и не зависит от того, каким путем процесс пришел в это состояние, тогда данный процесс есть конечная марковская цепь (КМЦ) [2, 3] и может быть отображен направленным графом состояний, изображенным на рисунке 1.

Матрица переходных вероятностей (МПВ)  $P_{[17,17]}$  для данной КМЦ имеет вид (см. формулу 1).

Исходя из структуры системы сотовой связи GSM, а также ведущегося в ней информационно-го обмена, введем следующие обозначения [1, 4]:

$N$  – количество MS в ячейке (cote) связи.

$T_c$  – длина слота в секундах в системе сотовой связи GSM.

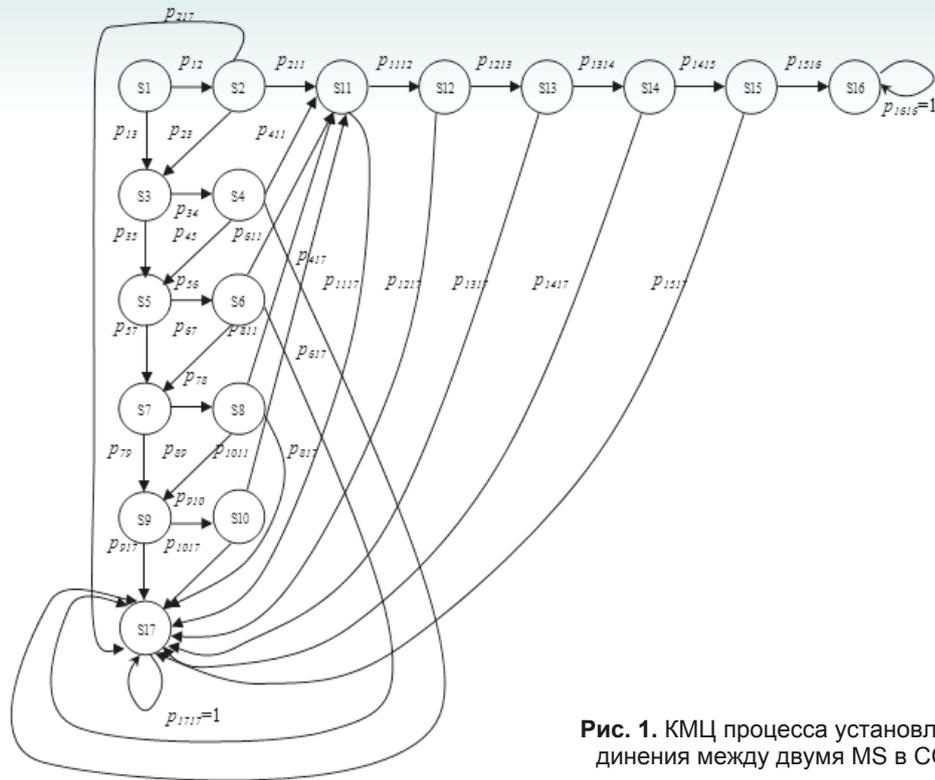
$L_c$  – длина слота в битах в системе сотовой связи GSM.

$V$  – количество сигнальных каналов BS.

$P_{01}$  – вероятность ошибочного приема одиночного символа в восходящей радиолнии MS→BS.

$P_{02}$  – вероятность ошибочного приема одиночного символа в нисходящей радиолнии BS→MS.

Тогда для перехода исследуемого процесса из состояния S1 в состояние S2 нужно, что-



**Рис. 1.** КМЦ процесса установления соединения между двумя MS в CCC GSM

бы запрос на установление соединения от MS-инициатора был правильно принят на BS. Для этого необходимо, чтобы от всех MS ячейки связи был передан во временном окне восходящей линии только один запрос на установление соединения [3].

Поток заявок от одной MS в данном случае будем считать простейшим потоком с интенсивностью поступающих вызовов  $\lambda$ , при этом интенсивность обслуживания заявок на информационный обмен BS равна  $\mu$ . Тогда вероятность того, что отдельная MS пошлет запрос на установление соединения на BS в рассматриваемом слоте, равна:

$$P_{MS} = 1 - e^{-\lambda T_c} \quad (2)$$

Следовательно, вероятность того, что запрос на установление соединения от MS-инициатора не столкнется ни с каким-либо другим запросом из  $(N-1)$  MS всей ячейки связи (ЯС) (то есть все  $(N-1)$  MS в этом слоте «молчат»), равна:

$$P_{ЯС} = (1 - P_{MS})^{N-1} = e^{-\lambda T_c (N-1)}, \quad (3)$$

Вероятность правильного приема BS запроса на установление соединения равна [3]:

$$P_{\text{прав.пр.}\uparrow} = (1 - p_{01})^{L_c}, \quad (4)$$

Отсюда вероятность  $p_{12}$  равна:

$$p_{12} = e^{-\lambda T_c (N-1)} \cdot (1 - p_{01})^{L_c}, \quad (5)$$

Вероятность  $p_{13}$  в силу стохастичности МПВ равна  $q$ :

$$p_{13} = 1 - p_{12} = q, \quad (6)$$

Вероятность того, что на BS будет достаточно свободных сигнальных каналов для организации установления соединения, примем равной  $Q$ . Из теории телетрафика известно, что величина  $Q$  находится так [1]:

$$Q = 1 - P_{\text{отк}}, \quad (7)$$

где  $P_{\text{отк}}$  – вероятность отказа, определяемая I-ой формулой Эрланга:

$$P_{\text{отк}} = \frac{y^V}{V!} \left[ \sum_{i=0}^V \frac{y^i}{i!} \right]^{-1}, \quad (8)$$

где  $y = \frac{N\lambda}{\mu}$  – общая информационная нагрузка от всех MS.

$\mu$  – интенсивность обслуживания одного вызова (величина обратная средней длительности информационного обмена в CCC GSM).

Вероятность того, что MS-инициатор правильно примет сообщение о выделении сигнального канала, равна:

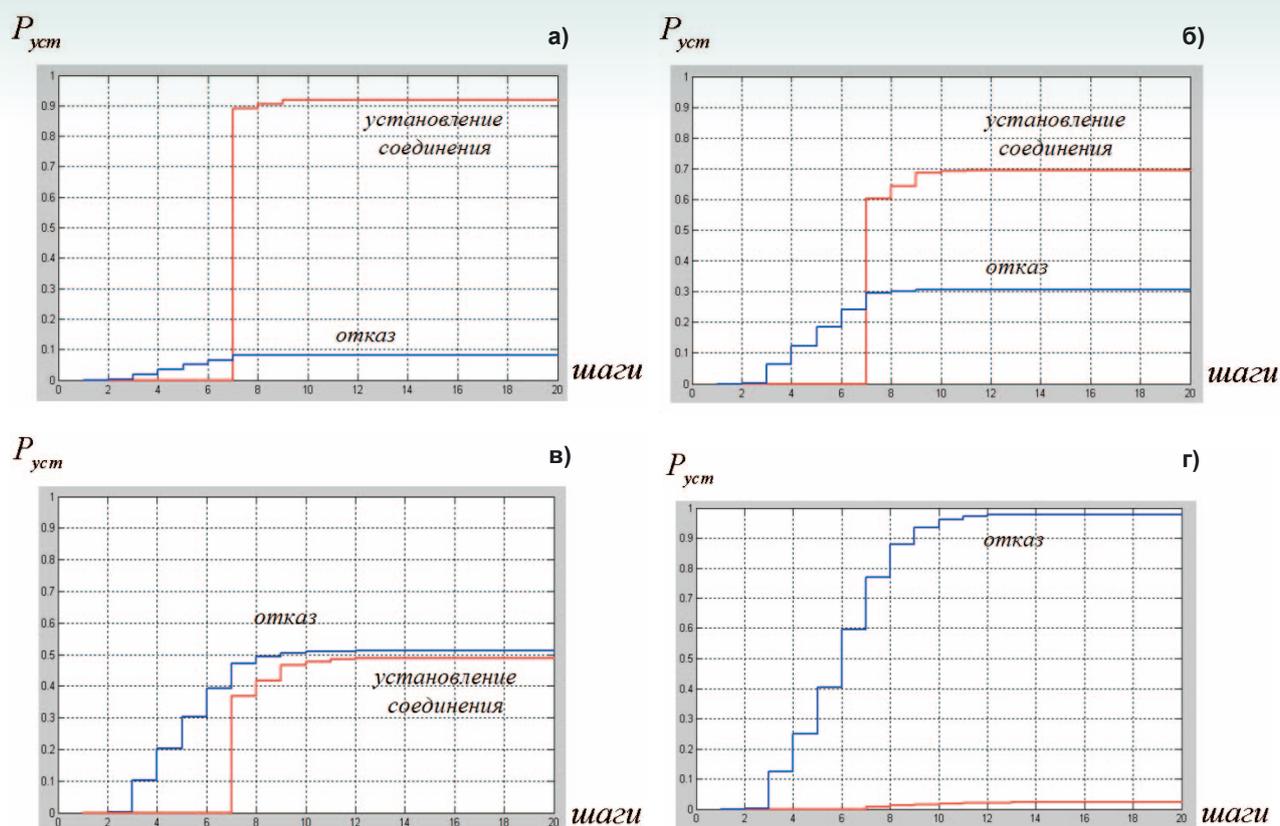
$$P_{\text{прав.пр}\downarrow} = (1 - p_{02})^{L_c}, \quad (9)$$

Тогда вероятность  $p_{211}$  будет равна:

$$p_{211} = Q \cdot (1 - p_{02})^{L_c}, \quad (10)$$

Если на BS нет возможности для выделения сигнального канала MS-инициатору, то BS выдает на MS-инициатор сигнал «Отказ». Вероятность перехода из состояния S2 в состояние S17 равна:

$$p_{217} = Q \cdot (1 - p_{02})^{L_c}, \quad (11)$$



**Рис. 2.** BBX процесса установления соединения в CCC GSM при следующих значениях  $p_{01}$  и  $p_{02}$ :

- а)**  $p_{01} = 10^{-4}, p_{02} = 10^{-4}$ ; **б)**  $p_{01} = 5 \cdot 10^{-4}, p_{02} = 5 \cdot 10^{-4}$ ;  
**в)**  $p_{01} = 10^{-3}, p_{02} = 10^{-3}$ ; **г)**  $p_{01} = 5 \cdot 10^{-3}, p_{02} = 5 \cdot 10^{-3}$ ;

Тогда вероятность перехода из состояния S2 в состояние S3 равна:

$$p_{23} = 1 - (p_{217} + p_{211}). \quad (12)$$

Учитывая то, что по истечении времени тайм-аута MS инициатор, не получив от BS информации о выделении сигнального канала, может выполнять до четырех повторных передач, а после неполучения информации от BS после четвертой повторной передачи перейдет в состояние S17, тогда можно заключить, что:

$$p_{12} = p_{34} = p_{56} = p_{78} = p_{910}, \quad (13)$$

$$p_{13} = p_{35} = p_{57} = p_{79} = p_{97} = q, \quad (14)$$

$$p_{12} = p_{34} = p_{56} = p_{78} = p_{910}, \quad (15)$$

$$p_{211} = p_{411} = p_{611} = p_{811} = p_{1011}, \quad (16)$$

$$p_{23} = p_{45} = p_{67} = p_{89}, \quad (17)$$

$$p_{217} = p_{417} = p_{617} = p_{817}, \quad (18)$$

$$p_{1017} = 1 - p_{1011}, \quad (19)$$

Для перехода из состояния S11 в состояние S12, нужно чтобы VLR успешно приняла запрос на установление соединения, отсюда вероятность  $p_{1112}$  будет равна:

$$p_{1112} = (1 - p_{01})^{L_c}, \quad (20)$$

Вероятность  $p_{1117}$  в силу стохастичности МПВ равна:

$$p_{1117} = 1 - p_{1112}, \quad (21)$$

Поскольку дальнейшие этапы процесса установления соединения осуществляются по выделенному BS сигнальному каналу, то можно записать:

$$p_{1213} = (1 - p_{02})^{L_c}, \quad (22)$$

$$p_{1217} = 1 - p_{1213}, \quad (23)$$

$$p_{1112} = p_{1314} = p_{1516}, \quad (24)$$

$$p_{1213} = p_{1415}, \quad (25)$$

$$p_{1117} = p_{1317} = p_{1517}, \quad (26)$$

$$p_{1217} = p_{1417}. \quad (27)$$

Таким образом, получены все выражения, характеризующие зависимость характеристик оперативности организации информационного обмена в системе сотовой связи от её системных параметров, при этом найденные зависимости являются элементами МПВ.

Основными характеристиками оперативности организации информационного обмена являются: вероятностно-временные (ВВХ) и временные характеристики (ВХ) [3].

Под ВВХ понимается зависимость вероятности установления соединения между двумя MS в ССС GSM от времени или числа шагов (или обратной ей величины-вероятности отказа).

Под ВХ понимается математическое ожидание  $M[l]$  и среднеквадратическое отклонение  $\sigma[l]$  числа шагов до перехода КМЦ в поглощающие состояния.

Для нахождения ВВХ будем использовать следующие исходные данные [1,4]:

$$N = 1000 \text{ MS}; T_c = 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ с}; L_c = 140 \text{ бит}; V = 24 \text{ канала}; p_{01} = 10^{-4}; 5 \cdot 10^{-4}; 10^{-3}; 5 \cdot 10^{-3}; p_{02} = 10^{-4}; 5 \cdot 10^{-4}; 10^{-3}; 5 \cdot 10^{-3};$$

ВВХ находятся по уравнению Колмогорова-Чепмена [2]:

$$P_{s(n)}^{(k)} = P_{s(n)}^{(0)} P_{[n,n]}^{(k)} = P_{s(n)}^{(k-1)} P_{[n,n]}, \quad (28)$$

где

$$P_{s(n)}^{(0)} = \langle P_{s_1}^{(0)}, P_{s_2}^{(0)}, \dots, P_{s_i}^{(0)}, \dots, P_{s_n}^{(0)} \rangle, \quad (29)$$

вектор вероятностей состояний КМЦ на нулевом шаге;

$P_{s(n)}^{(k-1)}, P_{s(n)}^{(k)}$  – вектор вероятностей состояний КМЦ соответственно, на  $(k-1)$ -м и  $k$ -м шагах, при этом длина шага переходов несущественна;

$P_{[n,n]}$  – МПВ.

На рисунке 2 представлены графики вероятности установления соединения в ССС GSM и вероятности отказа от числа шагов для различных значений  $p_{01}$  и  $p_{02}$ . Из графиков следует, что наиболее критичным параметром, от которого зависят ВВХ, является вероятность ошибочного приема одиночного символа как восходяще-

го, так и нисходящего участка. При этом данная величина не должна превышать  $5 \cdot 10^{-4}$ .

Для определения ВХ используем фундаментальную и дисперсионную матрицу [2,3]. Фундаментальная матрица  $N_{[n-r;n-r]}$  получается из матрицы  $Q_{[n-r;n-r]}$ , которая в свою очередь формируется из МПВ, где  $r$  – количество поглощающих состояний цепи (для рассматриваемой КМЦ  $r=2$ ). При этом фундаментальная матрица имеет вид:

$$N_{[n-r;n-r]} = (I - Q)^{-1}, \quad (30)$$

где  $I$  – единичная матрица размером  $(n-r) \times (n-r) = 15 \times 15$ .

Математическое ожидание числа шагов  $M[l]$ , затрачиваемое процессом для перехода из  $l$ -го состояния в поглощающее, равно сумме элементов  $l$ -й строки матрицы (30).

Дисперсия числа шагов находится по так называемой дисперсионной матрице, получаемой по выражению [2]:

$$N_{D[n-r;n-r]} = N_{D[n-r;n-r]} \cdot (2 \cdot N_{dg[n-r;n-r]} - I) - N_{sq[n-r;n-r]}, \quad (31)$$

где  $N_{dg[n-r;n-r]}$  – матрица, полученная из фундаментальной путем замены всех элементов нулями, кроме элементов главной диагонали;

$N_{sq[n-r;n-r]}$  – матрица, полученная из фундаментальной путем возведения каждого ее элемента в квадрат. Отметим, что все матрицы выражения (31) имеют размер  $(n-r) \times (n-r)$ .

Дисперсия числа шагов  $D[l]$ , затрачиваемых процессом для перехода из  $l$ -го состояния в поглощающее, равна сумме элементов  $l$ -й строки матрицы (31). При этом  $\sigma[l]$  определяется следующим выражением:

$$\sigma[l] = \sqrt{D[l]}, \quad (32)$$

Таким образом, получены все выражения,

шаги

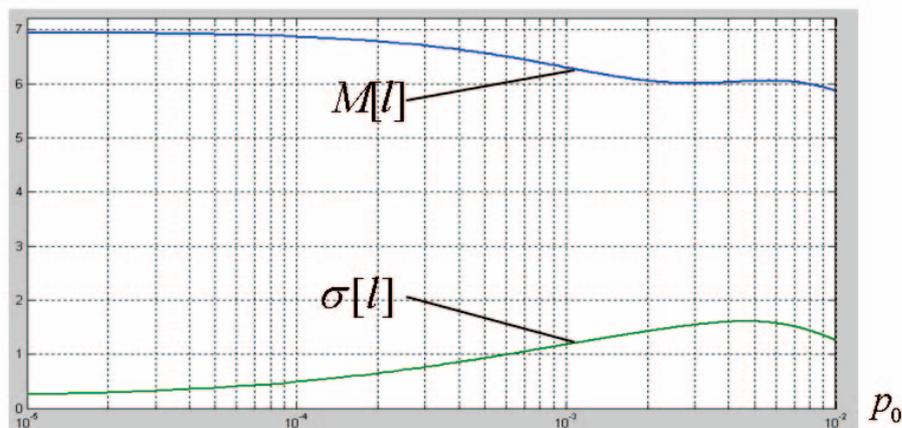


Рис. 3. ВХ процесса установления соединения между двумя MS в ССС GSM

характеризующие зависимость характеристик оперативности организации информационного обмена в системе сотовой связи GSM от её системных параметров.

На *рисунке 3* представлены графики зависимости ВХ процесса установления соединения в CCC GSM от  $p_0$  для рассматриваемых исходных данных. Из данных графиков также следует, что вероятность ошибочного приема одиночного символа не должна превышать  $5 \cdot 10^{-4}$ . Данный вывод согласуется с практикой использования CCC GSM. Таким образом, сформированная математическая модель процесса установления соединения между двумя MS в CCC GSM явля-

ется корректной и может представлять аналитический инструмент для дальнейшего исследования характеристик CCC.

### Литература

1. Бабков В.Ю. Сотовые системы мобильной радиосвязи: учебн.пособие / В.Ю. Бабков, И.А. Цинкин. 2-е изд., перераб.и доп. СПб.: БХВ-Петербург, 2013. 432 с.
2. Кемени Джон Дж., Снелл Дж. Ларк. Конечные цепи Маркова / Пер. с англ. М.: Наука, 1970.
3. Цимбал В.А. Информационный обмен в сетях передачи данных. Марковский подход. Монография. М: Вузовская книга, 2014. 144 с.
4. G. Heine, GSM networks: protocols, terminology, and implementation, 1998. 417 с.

УДК 004.728.5

## ИСКЛЮЧЕНИЕ АНОМАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ДАННЫХ EXCLUSION OF ANOMALOUS OBJECTS IN SOLVING THE PROBLEM OF CLUSTERING DATA

**Сергей Николаевич Шиманов**

*доктор технических наук, профессор*  
заместитель генерального директора  
по АСУ и связи – главный конструктор  
МОУ «ИИФ»

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

**Дмитрий Валерьевич Тарасов**

младший научный сотрудник  
МОУ «ИИФ»

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

**Александр Иванович Косяк**

*кандидат технических наук*

старший научный сотрудник  
МОУ «ИИФ»

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

### Аннотация

В статье предлагается один из способов исключения «кластерного шума» не на основе анализа энергетических характеристик наблюдений, а на основе анализа взаимного расположения наблюдений друг относительно друга (в выбранной метрике). Более того указывается на наличие аномальных наблюдений, относящихся к кластерному шуму и среди отсеянных по критерию «сигнал/шум» наблюдений, что может быть обусловлено не энергетикой анализируемых сигналов, а внутренними скрытыми характеристиками исследуемых объектов, влияющими на форму формируемых ими наблюдений. Указывается преимущество сформированного метода кластеризации, сочетающего в себе как кластерный так и дискриминантный анализ над существующими методами.

**Ключевые слова:** кластерный анализ, дискриминантный анализ, аномальные наблюдения, показатели качества кластеризации.

### Summary

In paper we propose a way to eliminate «noise cluster» is not based on the analysis of energy characteristics of observations, based on analysis of the mutual arrangement of the observations with respect to each other (in the chosen metric). Furthermore indicated the presence of anomalous observations relating to cluster noise and sifted among the criterion of “signal / noise” observations that may be caused by not energy-analyzed signals, and internal latent characteristics of the object, affects the shape formed by their observations. Specify advantage formed clustering method combining both cluster and discriminant analysis of existing methods.

**Key words:** cluster analysis, discriminant analysis, abnormal observation, indicators of quality of clustering.

Содержанием задачи кластерного анализа (кластеризации данных) является разбиение исходного набора наблюдений (объектов) на некоторое число групп, в которых каждое из наблюдений в заданном смысле схоже между собой [1]. Однако надо понимать, что в исходном множестве наблюдений могут присутствовать «аномальные» наблюдения, которые так же можно назвать «кластерным шумом». Наличие данных аномальных наблюдений может оказывать серьезное негативное влияние на кластерный анализ, как при формировании групп (кластеров) в процессе кластеризации, так и при расчете числа итоговых кластеров.

К кластерному шуму (далее «шуму») в общем виде можно отнести:

- зашумленные наблюдения, значения признаков в которых подверглись сильному искажению ввиду тех или иных причин (сложная помеховая обстановка, ошибки в экспертных оценках и т.д.);

- кластеры, состоящие из одного наблюдения;

- аномальные наблюдения, отличающиеся по форме от основной совокупности наблюдений.

Шум в исходных кластеризуемых наблюдениях вносит погрешности при:

- объединении кластеров на каком-либо шаге агломерации;

- расчете числа кластеров.

В связи с этим перед проведением кластерного анализа встает задача предварительной обработки (фильтрации) кластеризуемых наблюдений. В некоторых случаях есть возможность исключить кластерный шум посредством оценки отношения «сигнал/шум», но в некоторых случаях это сделать практически не возможно (например, при проведении экспертных оценок).

Для решения задачи построения алгоритма исключения кластерного шума выдвинем следующее предположение - если наблюдение относится к шуму, определенному выше, то справедливо полагать, что оно находится на аномально-отдаленном расстоянии относительно остальных наблюдений. В качестве меры расстояния для каждого наблюдения предлагается взять минимальное из возможных расстояний исследуемого наблюдения по отношению к остальным из рассматриваемой совокупности. Таким образом, каждое наблюдение будет иметь некоторое свое «характеристическое» число.

Аномальность значения данного характеристического числа можно определять по порогу (в случае проведения предварительного экспертного анализа), а можно использовать для

этого соответствующие статистические процедуры, например, **метод вычисления максимального относительного отклонения** [2].

Содержание данного метода изложено ниже:

1. Выборка из анализируемой совокупности данных максимального значения -  $x_i$ .

2. Расчет для выбранного значения величины  $\tau$ .

$$\tau = \frac{|x_i - \bar{X}|}{S}, \quad (1)$$

где  $\bar{X}$  – среднее значение анализируемого набора значений;

$S$  – стандартное отклонение анализируемого набора значений.

3. Расчет критического значения.

$$\tau_{(p,n)} = \frac{t_{(p,n-2)} \cdot \sqrt{n-1}}{\sqrt{n-2 + (t_{(p,n-2)})^2}}, \quad (2)$$

где  $n$  – число элементов в анализируемом наборе;

$p = 1 - \alpha/2$ , где  $\alpha$  – уровень доверительной вероятности (0.05);

$t_{(p,n-2)}$  – критическое значение распределения Стьюдента (при заданном уровне доверительной вероятности)/

4. Проверка условия  $\tau \leq \tau_{(p,n)}$ . В случае если данное условие не выполняется, то значение  $x_i$  (а в нашем случае соответствующее наблюдение) считается аномальным и исключается из анализируемого набора значений (а так же из последующей кластеризации) и переходят к анализу следующего максимального значения с перерасчетом соответствующих величин.

В итоге мы получаем набор наблюдений, для которых характеристические числа относительно имеющейся совокупности данных не являются аномальными. В дальнейшем процедуру исключения кластерного шума условимся называть фильтрацией данных.

### Набор исходных анализируемых данных

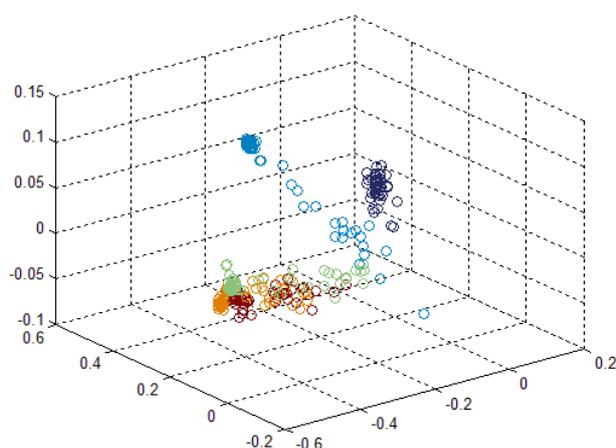
Для оценки эффективности предложенного алгоритма был сформирован набор наблюдений, представляющих собой спектральные характеристики исследуемых объектов. Размерность наблюдений (число спектральных отсчетов) = 70. Число объектов (исходных классов) = 5. Число наблюдений = 250. Число наблюдений, отвечающих критерию «сигнал/шум» (более 40 Дб) = 128. Остальные наблюдения мы отнесли к кластерному шуму. Необходимо так же заметить, что каждое из наблюдений, относящихся к шуму, имеет свою принадлежность к конкретному классу.

Распределение наблюдений по классам и по типам представлено в *таблице 1*.

**Таблица 1**

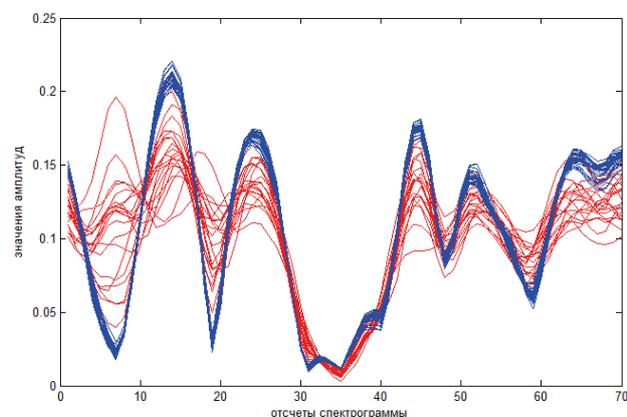
№ класса	1	2	3	4	5
сигнал/шум > = 40 Дб	20	28	27	27	26
«шум» (сигнал/шум < 40 Дб)	30	22	23	23	24

Отображение исходного набора наблюдений в ортогональном трехмерном пространстве представлено на *рисунке 1*.



**Рис. 1.** Визуализация исходных данных в трехмерном ортогональном базисе

Двумерное представление наблюдений, относящихся ко второму классу, представлено на *рисунке 2*.



**Рис. 2.** Смесь отвечающих (синие) и не отвечающих (красные) критерию «сигнал/шум» наблюдений, относящихся ко второму классу

## Критерий оценки эффективности применения процедуры исключения кластерного шума

Ввиду того, что наличие кластерного шума оказывает прямое влияние на последующее проведение кластерного анализа, оценку эффективности удаления кластерного шума будем проводить совместно с последующей процедурой кластеризации.

Предварительные исследования показали, что наиболее эффективным методом кластеризации исследуемого набора наблюдений является кластеризация на основе иерархического агломеративного кластерного анализа. В качестве метрики для оценки близости объектов между собой необходимо использовать корреляционное расстояние, а в качестве метода объединения формируемых групп наблюдений – расстояние Варда.

Краеугольным местом при проведении кластерного анализа является определение числа кластеров. Предварительные исследования показали, что наиболее эффективным способом решения данной задачи является определение числа кластеров на основе максимального значения индекса *Calinski u Harabasz* (СН) [3].

Общий алгоритм обработки исходных наблюдений будет выглядеть следующим образом:

1 этап – фильтрация данных – исключение кластерного шума.

2 этап – кластеризация данных (кластерный анализ отфильтрованных данных + расчет числа сформированных кластеров).

Для оценки эффективности этапа фильтрации исходных данных и последующей кластеризации введем следующий интегрированный показатель

$$P_1 = \frac{s}{N} + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^m c_i, \quad (3)$$

где  $P_1$  – интегрированный показатель, в вероятностном смысле представляющий собой вероятность исключения кластерного шума и последующую правильную кластеризацию оставшихся данных;

$N$  – общее число кластеризуемых наблюдений (в том числе и шумовых);

$s$  – число выявленных наблюдений, относящихся к кластерному шуму (характеристика процедуры исключения кластерного шума);

$m$  – число искомых классов;

$c_i$  – число правильно откластеризованных наблюдений, относящихся к классу  $i$  (характеристика процедуры кластерного анализа).

В ряде случаев может быть так же интересен такой показатель как вероятность правильного распределения оставшихся не «шумовых» наблюдений ( $P_2$ ) в отфильтрованной смеси. Аналитическая формула для расчета данного показателя приведена на *рисунке* ниже.(?)

$$P_2 = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^m c_i, \quad (4)$$

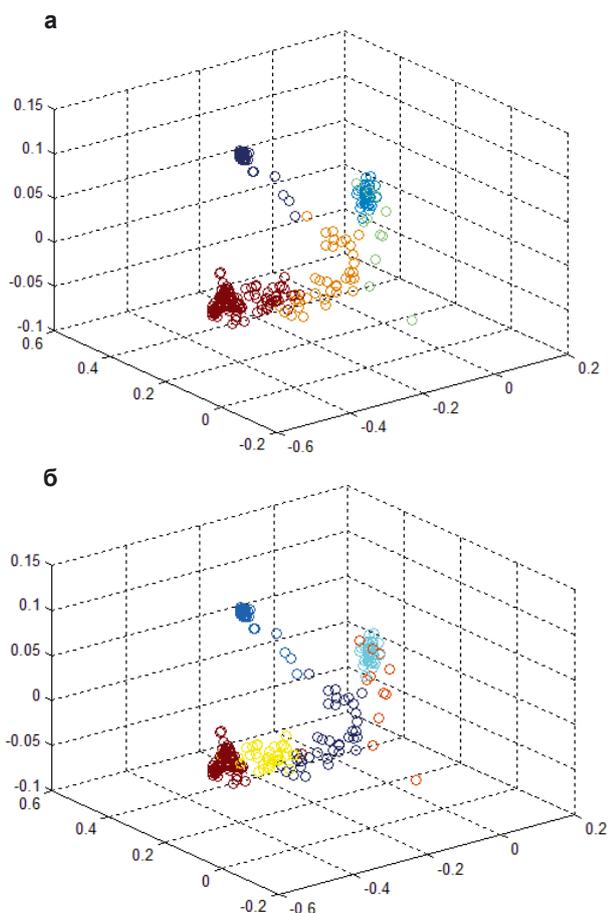
где  $L$  – число оставшихся после фильтрации не «шумовых» наблюдений;

$m$  – число искомых классов;

$c_i$  – число правильно откластеризованных наблюдений, относящихся к классу  $i$ .

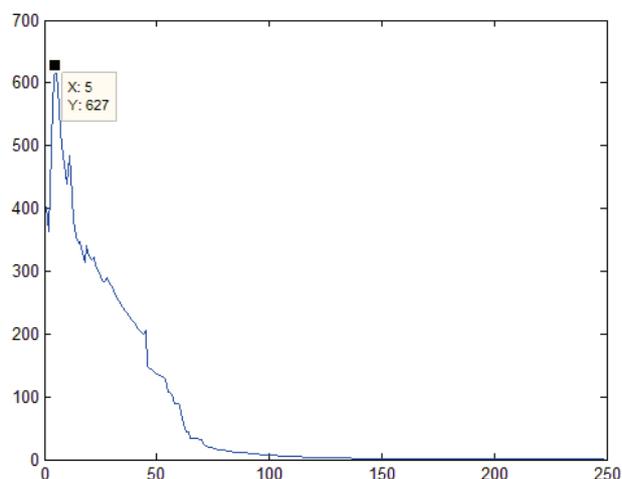
### Кластеризация исходной смеси данных (оценка влияния кластерного шума на качество кластеризации)

На *рисунке 3* в графическом виде представлен результат кластеризации исходной смеси данных при известном числе классов (**а**) и при числе классов, определенном на базе индекса СН (**б**).



**Рис. 3.** Результат кластеризации исходной смеси наблюдений: **а**) при 5-ти кластерах; **б**) при 6-ти кластерах, определенных на основе индекса СН

График расчета числа кластеров на основе индекса СН представлен на *рисунке 4* (пятому уровню разбиения соответствует 6 классов).



**Рис. 4.** Определение числа кластеров на основе критерия СН для исходного набора данных

На *рисунке 3* видно, что три искомых класса объединились в один класс. Более того, часть «кластерного шума» выделилась в самостоятельные классы.

Данные рисунки наглядно отображают влияние кластерного шума как на расчет числа итоговых классов, так и на распределение не зашумленных объектов по кластерам.

Численные показатели качества представлены в *таблице 2*.

**Таблица 2**

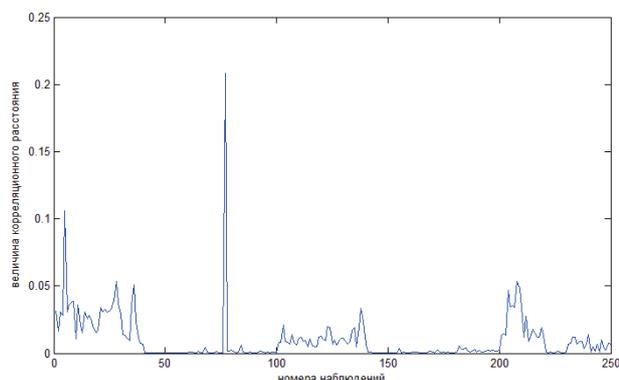
название	значение
$P_1$ для 5-ти классов	0.3
$P_1$ для 6-ти классов	0.312
$P_2$ для 5-ти классов	0.59
$P_2$ для 6-ти классов	0.61

Необходимо отметить, что при расчете показателя  $P_i$  составляющая, отвечающая за исключение кластерного шума в данном случае равна нулю. Из выше приведенных данных видно, насколько существенно влияние кластерного шума на результаты кластеризации.

### Оценка эффективности применения предлагаемого статистического алгоритма исключения «кластерного шума»

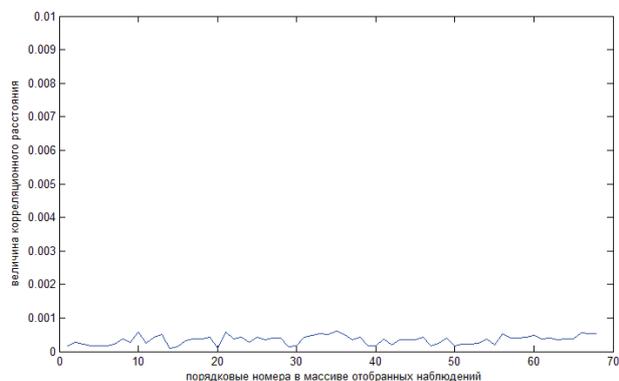
Для проведения предлагаемой статистической процедуры исключения кластерного шума первоначально необходимо каждому наблюде-

нию поставить в соответствие характеристическое число – минимальное из возможных расстояний (в данном случае корреляционных) между характеризуемым и всеми остальными наблюдениями в рассматриваемом множестве. Вектор данных характеристических чисел для нашего набора наблюдений представлен на *рисунке 5*.



**Рис. 5.** Вектор характеристических чисел для исходного набора наблюдений

Проанализировав данный вектор на предмет «аномальности» приведенным выше статистическим методом **вычисления максимального относительного отклонения** мы получили следующий набор «отфильтрованных» наблюдений с их характеристическими числами (*рисунок 6*).



**Рис. 6.** Вектор характеристических чисел для отфильтрованного набора данных

Результирующее число отобранных («чистых») наблюдений = 68, что практически вдвое меньше сигналов, отвечающих критерию «сигнал/шум». Но что необходимо заметить, все отобранные «чистые» наблюдения отвечают критерию «сигнал/шум». То есть это говорит о малой вероятностной мере события, состоящего в том, что два наблюдения, подверженные воздействию шума примут близкие друг к другу значения, вследствие чего «зашумленные» объек-

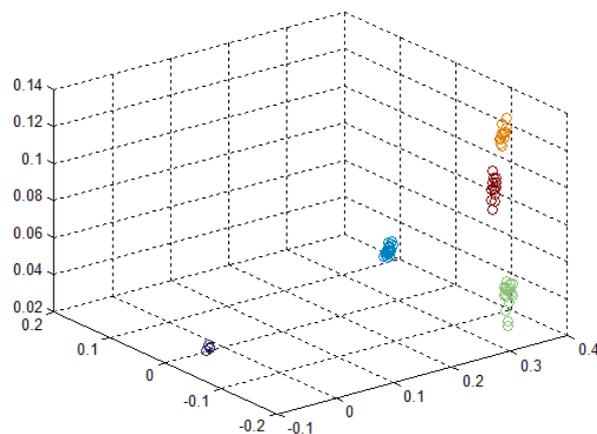
ты будут отнесены к числу «чистых». Распределение «чистых» объектов по классам представлено в *таблице 3*.

**Таблица 3**

№ класса	1	2	3	4	5
сигнал/шум $\geq 40$ Дб	20	28	27	27	26
«шум» (Сигнал/шум $< 40$ Дб)	30	22	23	23	24
число «чистых» наблюдений	5	18	19	12	14

Тот факт, что к числу «аномальных» наблюдений были отнесены наблюдения, отвечающие критерию «сигнал/шум» говорит о том, что на спектральные характеристики исследуемых объектов помимо помеховой обстановки оказывают влияние некоторые внутренние факторы наблюдаемых объектов.

Графическое отображение «очищенных» наблюдений в ортогональном базисе представлено на *рисунке 7*.

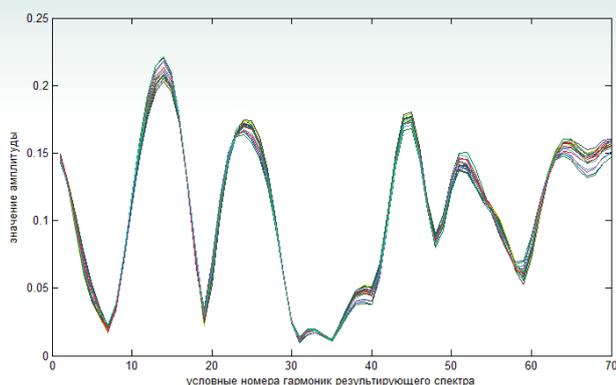


**Рис. 7.** Визуализация «чистых» наблюдений в трехмерном ортогональном базисе

Положительный эффект от применения предлагаемой процедуры очистки данных виден явно: областей «перемешивания» наблюдений нет; каждый из кластеров представляет собой компактную группу, отдельно стоящую от других групп наблюдений.

Положительный эффект так же явно виден на *рисунке 8* отображения наблюдений, относящихся ко второму классу.

Анализ приведенных выше рисунков позволяет сделать следующие выводы:

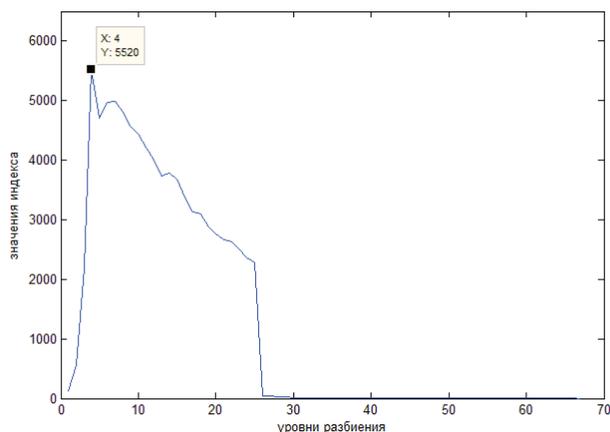


**Рис. 8.** «Чистые» наблюдения, относящиеся ко второму классу

- каждый из анализируемых классов имеет свой центр, «ядро», вокруг которого группируются остальные наблюдения данного класса;
- использованная процедура очистки данных позволяет оставить наблюдения, наиболее близкие к своим центрам;
- число близких к «ядру» кластера наблюдений, отвечающих критерию «сигнал/шум» в среднем более 50%;
- оценкой «ядра» класса может выступать вектор средних значений оставшихся после фильтрации наблюдений.

Общепринято центр кластера называть «центроидом».

График расчета числа кластеров на основе индекса СН по отфильтрованным данным представлен на рисунке 9 (четвертому уровню разбиения соответствует 5 классов).



**Рис. 9.** Определение числа кластеров на основе критерия СН для отфильтрованного набора данных

Численные показатели качества представлены в таблице 4.

**Таблица 4**

название	значение
$P_1$	0.76
$P_2$	1

Оставшаяся доля в показателе  $P_i$  (0.24) обусловлена исключением наблюдений, удовлетворяющих отношению «сигнал/шум».

Ввиду того, что в результате процедуры «очистки» данных мы получили набор наблюдений, максимально приближенных к центру своих классов (к «центроидам»), вполне логичным было бы не заканчивать обработку имеющегося набора наблюдений, а провести оценку центроидов классов с последующей классификацией наблюдений, не вошедших в множество «очищенных».

### Содержание алгоритма классификации

Для построения классификатора введем такое понятие как *метрическое среднееквадратическое отклонение*. Аналитическая формула для расчета введенного параметра представлена ниже.

$$\sigma_{cor} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_{cor}(\mu, X_i)^2}{n-1}}, \quad (5)$$

где  $\mu$  – центроид кластера (вектор средних значений кластера по каждой размерности (по каждому признаку));

$X_i$  – вектор наблюдений кластера;

$d_{cor}(\mu, X_i)$  – корреляционное расстояние между центроидом кластера и вектором наблюдения  $i$ ;

$n$  – число наблюдений в кластере.

В рассматриваемом случае в качестве метрики используется корреляционное расстояние. Однако необходимо отметить, что в общем виде в качестве метрики в приведенной выше формуле может быть использован любой тип метрического расстояния (эвклидово, косинусное и т.д.).

Алгоритм классификации оставшегося набора данных с использованием введенного выше понятия представляет собой итеративную процедуру. Каждая итерация состоит из следующих этапов:

1. Расчет центроидов ( $\mu$ ) и среднееквадратических метрических отклонений ( $\sigma_{cor}$ ) для каждого кластера (на первой итерации по очищенным наблюдениям).

2. Определение принадлежности входных наборов векторов к классам исходя из минималь-

ного приведенного к  $m \times \sigma_{cor}$  корреляционно-го расстояния между входным вектором и центроидом кластера (по умолчанию взяли  $m=3$ ). В случае если рассчитанное расстояние для всех классов выходит за границы  $m \times \sigma_{cor}$ , то классифицируемое наблюдение ни к одному классу не «приписывается» (считается кластерным шумом).

3. Проверка условия завершения итеративной процедуры классификации – процедура классификации завершается, в случае если состав классов по наблюдениям по отношению к предыдущей итерации не изменился.

Результаты работы алгоритма классификации после процедуры очистки данных представлены в *таблице 5*.

**Таблица 5**

название	значение
число итераций процедуры классификации	4
число отклассифицированных наблюдений	118 (7 из числа «кластерного шума»)
ошибка классификации среди отклассифицированных наблюдений ( $P_2=1$ )	0
$P_1$	0,932
число не отклассифицированных наблюдений, отвечающих критерию «сигнал/шум»	17

На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- эффект от применения последующей процедуры классификации в численных показателях виден явно, что говорит об обоснованности применения данной процедуры после «очистки» данных;

- факт включения в множество отклассифицированных данных наблюдений, не удовлетворяющих критерию «сигнал/шум», говорит о том, что процедура исключения шумовых объектов на основе критерия «сигнал/шум» может обладать определенной погрешностью;

- факт отрицательного результата классификации наблюдений, отвечающих критерию «сигнал/шум» говорит о влиянии на вид наблюдения не только внешних (сложная помеховая обстановка), но и внутренних факторов исследуемых объектов.

## Результаты оптимизации параметра классификации

Единственным параметром процедуры классификации является  $m$  – величина метрического среднеквадратического отклонения от центроида класса, в пределах которого принимается решение о принадлежности входного вектора к тому или иному классу. Проведя оптимизацию данного параметра (для наших исходных данных – условие равенства нулю ошибки классификации) получены следующие результаты (*таблица 6*):

**Таблица 6**

название	значение
число итераций процедуры классификации	14
оптимальное значение параметра $m$	3.8
число отклассифицированных наблюдений	160 (35 из числа «кластерного шума»)
ошибка классификации среди отклассифицированных наблюдений ( $P_2=1$ )	0
$P_1$	0,988
число не отклассифицированных наблюдений, отвечающих критерию «сигнал/шум»	3

Недостающие 0,012 в значении  $P_1$  обусловлены 3-мя не отклассифицированными наблюдениями, отвечающими критерию «сигнал/шум». Однако как было сказано выше (и результаты визуального анализа подтверждают это), данное обстоятельство может быть обусловлено как ошибками в процедуре проверки критерия «сигнал/шум», так и внутренними факторами исследуемых объектов.

## Сравнение сформированного алгоритма кластеризации с существующими

В общем случае, «шумовые» наблюдения так же имеют свою принадлежность к рассматриваемым классам. Устраним в процедуре классификации механизм приведения расстояния к максимальному отклонению и правило определения кластерного шума в процессе класси-

фикации. В результате, после процедуры классификации каждое из анализируемых наблюдений будет иметь свою принадлежность, к какому либо классу.

Ниже приведена сравнительная таблица результатов работы приведенного алгоритма кластеризации с известными алгоритмами, отличающимися друг от друга методом объединения (метрика везде корреляционная) (таблица 7).

Таблица 7

методы объединения кластеров	вероятность правильной кластеризации
«средней связи»	0.44
«дальнего соседа»	0.432
«ближайшего соседа»	0.408
метод Варда	0.536
предложенный метод (очистка данных + кластеризация + классификация)	0.888

Как видно из приведенных в таблице данных, предложенный метод значительно выигрывает по отношению к существующим методам кластеризации.

### Выводы

1. Предложенная процедура статистического исключения кластерного шума показывает устойчивость в фильтрации данных по отно-

шению к сложной помеховой обстановке. Более того она даже показывает некоторое преимущество по отношению к процедуре фильтрации данных на основе отношения «сигнал/шум». Помимо слабых в энергетическом отношении сигналов данный алгоритм позволяет исключать из рассмотрения действительно «аномальные» по своей «форме» наблюдения, оставляя только наиболее приближенные к искомому центру класса (анализируемого объекта). Тем более данный алгоритм может быть использован в тех случаях, когда провести энергетическую оценку сигналов не представляется возможным.

2. Предложенная процедура послужила основой для построения составного алгоритма кластеризации, сочетающего в себе как саму процедуру проведения кластерного, так и дискриминантного анализа (классификации).

3. Показана эффективность предложенного составного алгоритма кластеризации по отношению к существующим, в условиях отсутствия правила определения «кластерного шума» на этапе классификации.

### Литература

1. Дюран Б., Одед П. Кластерный анализ. Пер. с англ. Е.З. Демиденко. Под ред. А.Я. Боярского. М.: Статистика, 1977. 128 с.
2. Костюкевич Е.К., Березовский Н.И. Методические указания к практической работе «Предварительная обработка экспериментальных данных». Минск: Белорусский национальный технический университет, 2013. 47 с.
3. Calinski T, Harabasz J (1974). «A Dendrite Method for Cluster Analysis». Communications in Statistics – Theory and Methods, 3(1), pp. 1-27.

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 519.725

### ТЕСТОВО-КОДОВАЯ КОРРЕКЦИИ ОШИБОК СТАТИЧЕСКИХ ОПЕРАТИВНЫХ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ TEST-CODE ERROR CORRECTION OF STATIC RANDOM ACCESS MEMORY

#### Александр Алексеевич Павлов

*доктор технических наук, профессор*  
начальник лаборатории  
ФГБНУ «Институт информатизации  
образования Российской академии  
образования» Минобрнауки РФ  
Адрес: 119117, Москва, ул. Погодинская, д. 8  
Тел.: +7(916)356-31-89 E-mail: Pavlov\_iif@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

#### 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

#### 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

#### Ирэна Веняминовна Роберт

*академик Российской академии образования*  
*доктор педагогических наук*  
и.о. директора ФГБНУ «Институт информатизации  
образования Российской академии образования»  
Минобрнауки РФ  
Адрес: 119117, Москва, ул. Погодинская, д. 8  
Тел.: +7(495)337-07-79 E-mail: rena\_robort@mail.ru

#### Павел Александрович Павлов

*кандидат технических наук*  
старший 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

#### 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

# ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

## Аннотация

Предложен метод тестово-кодовой коррекции ошибок оперативных запоминающих устройств, который заключается в том, что для обнаружения возникающих ошибок используется алгебраический линейный код, а определение конфигурации (ошибочных разрядов) одиночных двойных ошибок и их коррекция проводятся по значению синдрома ошибки и результатам анализа ответной реакции, полученной на основе подачи тестового воздействия. Предлагаемый тестово-кодовый метод обнаружения и коррекции ошибок в отличие от известных позволяет:

- корректировать 100% одиночных ошибок;
- корректировать двойные ошибки в информационных блоках;
- иметь минимальную информационную избыточность (два контрольных разряда, при любом числе информационных разрядов);
- обеспечить высокую достоверность функционирования (обнаруживать 100% возможных ошибок, включая ошибки, трансформируемые в разрешенные (безошибочные) кодовые наборы);
- обнаруживать скрытые ошибки;
- минимизировать аппаратные затраты на построение декодирующего устройства (не требует хранения таблицы синдромов ошибок и использует минимальную таблицу поправок);
- исключает методическую ошибку декодирования (характерную для большинства декодирующих устройств, реализующих метод «максимума правдоподобия», когда ошибки различной кратности, имеющие одинаковый синдром и принадлежащие одному смежному классу, корректируются исходя из кодового расстояния выбранного линейного кода);
- минимизировать временные затраты на коррекцию ошибок (требуется подача одного тестового воздействия, которое может подаваться только при обнаружении ошибок).

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

## Summary

Proposed method of test-code error correction for random access memory consists in using the linear algebraic code for detection of occurring errors, and determining the configuration (erroneous digits) of single and double errors, correction of these errors is performed by value of the error syndrome and the analysis results of response reaction obtained by initiating the test impact. In contrast to known methods, proposed test-code method for errors detection and correction allows to:

- correct 100% of single errors;
- correct double errors in the information blocks;
- have a minimum of information redundancy (two check digits, at any number of information bits);
- ensure high reliability of operation (to detect 100% of possible errors, including errors transformable into allowed (error-free) code sets);
- detect hidden errors;
- minimize hardware expenses to build a decoding device (does not require storage for table of errors syndromes and uses the minimal table of corrections);
- eliminates methodological error of decoding (typical for most decoding devices implementing the method of “maximum likelihood”: when errors with different multiplicity having the same syndrome belong to the same coset, are adjusted on the basis of the code distance of the selected linear code);
- minimize the time required for error correction (requires initiation of a test impact that can only be initiated when errors are detected).

**Key words:** correcting algebraic linear code, correcting cyclic code, single and double errors, hidden error, correction for hidden error, test vector of errors.

# ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

## Введение

Современное развитие народного хозяйства характеризуется широким внедрением информационных технологий, предназначенных для сбора, анализа и обработки информации с целью формирования управленческих решений.

Выполнение данных операций возлагается на ЭВМ, которые являются функциональным ядром систем управления и обработки информации (СУОИ).

Так как выдача ошибочного управляющего воздействия может привести к значительному ущербу, а в ряде случаев и к катастрофическим последствиям, то существует необходимость повышения достоверности функционирования и обеспечения отказоустойчивости устройств данных систем, в частности, оперативных запоминающих устройств (ОЗУ).

При обеспечении отказоустойчивости ОЗУ возникает необходимость выбора методов обнаружения и коррекции ошибок, способных обеспечить следующие требования [1, 2]:

- обнаруживать и корректировать ошибки требуемой кратности;
- обеспечивать наименьшие аппаратные затраты (высокую вероятность безотказной работы) схем обнаружения и коррекции ошибок;
- обеспечивать наименьшие временные затраты на коррекцию ошибок (влияние средств контроля на быстродействие контролируемого устройства).

Наиболее полно этим требованиям удовлетворяют корректирующие коды, обнаруживающие и исправляющие ошибки, которые в отличие от структурных методов резервирования, позволяют решать данную задачу при меньших аппаратных затратах резервного оборудования.

В этом случае целесообразно использовать линейные корректирующие коды (циклических коды требуют больших временных затрат на кодирование и декодирование информации) [1, 2].

К недостаткам использования корректирующих кодов следует отнести:

- информационную избыточность (избыточное число контрольных разрядов для коррекции ошибок заданной кратности);
- методическую ошибку декодирования, характерную для всех методов резервирования (декодирующие устройства реализуют вероятностный подход «максимума правдоподобия»: для  $(2n-1)$  возможных ошибок приходится  $2^r$  значений синдромов ( $n=k+r$ , где  $k$  – число информационных разрядов,  $r$  – число контрольных разрядов), т.е. на каждую корректируемую

ошибку приходится  $((2n-1)/2^r m)$  одинаковых значений синдромов (где  $m$  – число корректируемых ошибок).

Достоинством алгоритмической (тестовой) коррекции ошибок является возможность исправления ошибок произвольной кратности без увеличения информационной избыточности.

Алгоритмическая коррекция ошибок оперативного запоминающего устройства предполагает следующие операции:

- перезапись слова памяти в инверсном коде;
- сложение по mod2 прямого и инверсного значения слова памяти (формирование вектора ошибки);
- сложение инверсного результата суммирования с прямым значением слова памяти.

Недостатком тестовой коррекции ошибок является ошибочная коррекция при наличии скрытой ошибки.

**Пример:**  $Y=01101$  – безошибочное слово;  $Y_{\text{ош}}=01101^*$  – скрытая константная ошибка в пятом разряде;  $\overline{Y_{\text{ош}}}=10011$  – результат записи инверсного значения;  $C_{\text{mod}2}=Y_{\text{ош}} \oplus \overline{Y_{\text{ош}}}=11110$ ;  $V=00001$  – вектор ошибки;  $Y_k=011100^*$  – ошибочная коррекция.

Для осуществления правильной коррекции (формирования правильного значения вектора ошибки) необходимо иметь возможность выявления скрытых ошибок.

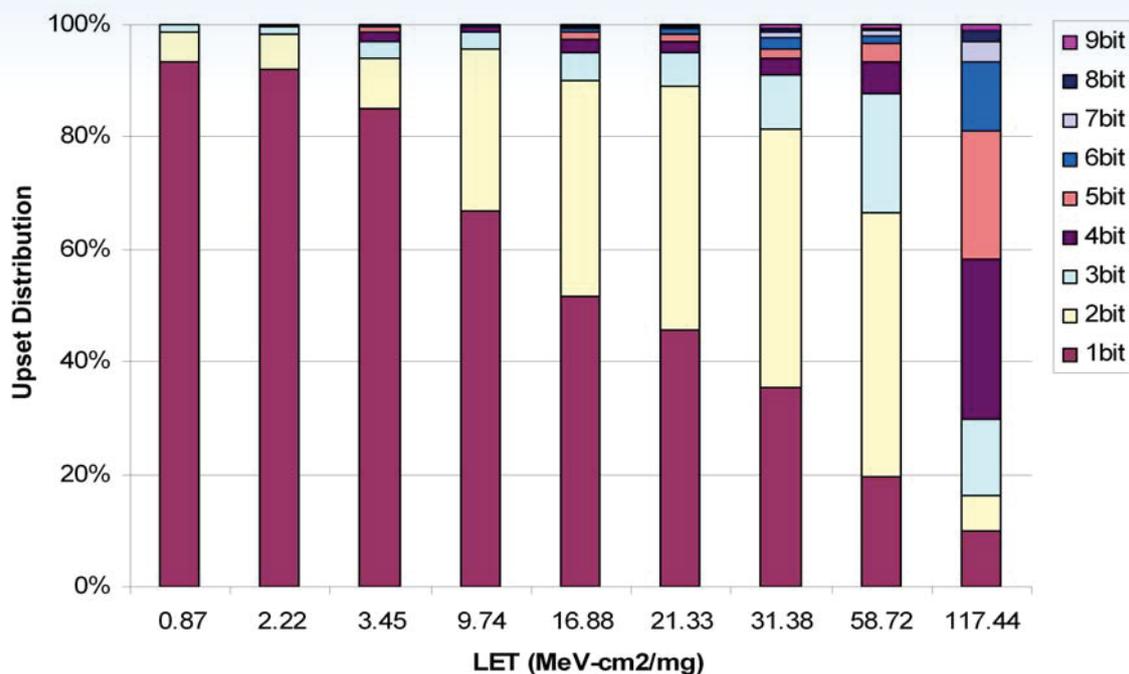
Выявление скрытых ошибок может быть обеспечено при организации тестово-кодовой коррекции ошибок, которая заключается в том, что для обнаружения возникающих ошибок используется алгебраический линейный код, а выявление скрытых ошибок, определение конфигурации (ошибочных разрядов) кратной ошибки и ее коррекция проводятся по синдрому ошибки и результатам анализа ответной реакции, полученной на основе подачи тестового воздействия [3].

В этом случае необходимо иметь матрицу поправок на скрытую ошибку, содержащую  $2^k/2$  строк из  $(k+r)$ -разрядных значений поправок на скрытую ошибку (где  $k$  – число информационных разрядов,  $r$  – число контрольных разрядов).

Данное обстоятельство требует больших аппаратных затрат на построение декодирующего устройства, что ограничивает практическое применение данного метода.

Методический подход к организации тестово-кодовой коррекции ошибок, обеспечивающий требуемое значение достоверности функционирования отказоустойчивого оперативного запоминающего устройства, основан на следующих положениях:

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ



**Рис. 1.** Процентное содержание кратных ошибок статического ОЗУ при ионизационном облучении, где MeV – см<sup>2</sup>/мг (МэВ – см<sup>2</sup>/мг) – пороговое значение линейных потерь энергии достаточное для возникновения ошибки заданной кратности; Upset Distribution – процентное распределение ошибок соответствующей кратности

**Гипотеза 1.** Если для организации тестово-кодовой коррекции ошибок использовать линейный код, обнаруживающий ошибки требуемой кратности с минимальной информационной избыточностью, то потребуются минимальные аппаратные затраты для хранения значений контрольных разрядов слов памяти.

**Гипотеза 2.** Если информационные разряды слова памяти разбить на  $w$ -блоков информации (по  $b$  разрядов в каждом блоке) и осуществлять коррекцию ошибок заданной кратности в одном блоке информации и обнаруживать ошибки, возникающие в произвольном числе блоков, то потребуется матрица поправок содержащая  $2^b$  строк из  $(b+r)$ -разрядных значений поправок на скрытую ошибку, что позволит существенно уменьшить аппаратные затраты на построение декодирующего устройства.

Опыт эксплуатации дискретных устройств показывает, что наиболее вероятным событием является возникновение одиночных и двойных ошибок (соответственно, на одиночные ошибки приходится до 80%, на двойные ошибки до 20% и ошибки прочей кратности до 2%) [2].

Из анализа *рисунка 1* следует, что даже при ионизационном облучении статических микросхем ОЗУ, наиболее вероятными являются одиночные и двойные ошибки [6, 7, 8].

### Основные положения метода тестово-кодовой коррекции ошибок оперативных запоминающих устройств

Таким образом, существует необходимость решения научной задачи исследований, заключающаяся в разработке научно-методического аппарата тестово-кодового обнаружения и коррекции одиночных и двойных ошибок оперативных запоминающих устройств без значительного увеличения информационной, аппаратной и временной избыточности, т.е. обеспечения достоверности функционирования устройств при выполнении следующего условия:

$$D(t) = D_{\text{ТК}}(t) / K_1 = 1, K_2 = 1, C_{\text{мин}}, r_{\text{мин}}, t_{\text{Тмин}},$$

где  $D(t)$  – достоверность функционирования ОЗУ;

$D_{\text{ТК}}(t)$  – требуемое значение достоверности функционирования ОЗУ при организации тестово-кодовой коррекции ошибок;

$K_1$  – вероятность обнаружения и коррекции одиночных ошибок;

$K_2$  – вероятность обнаружения и коррекции двойных ошибок в блоке информации;

$C_{\text{мин}}$  – минимальное количество аппаратных затрат на средства обнаружения и коррекции ошибок (по отношению к известным корректирующим кодам);

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

$\Gamma_{\text{мин}}$  – минимальная информационная избыточность (минимальное число контрольных разрядов по отношению к известным кодам, корректирующим одиночные и двойные ошибки;

$t_{\text{ТМИН}}$  – время подачи тестового воздействия.

Для решения задачи сокращения информационной избыточности и аппаратных затрат для хранения значений поправок используем код, обнаруживающий одиночные и двойные ошибки, и использующий два контрольных разряда [4, 5].

Выбранный для контроля дискретной информации код реализует следующие правила формирования двух основных проверок (двух основных контрольных разрядов):

**Правило 1.** Двоичный набор разбивается на блоки информации (пусть число информационных разрядов кратно трем) по три разряда в каждом блоке (блоки информации в двоичном наборе разделены запятыми):

$$Y = x_1x_2x_3, y_1y_2y_3, \dots, z_1z_2z_3.$$

**Правило 2.** Проводится формирование значений двух контрольных разрядов по правилу:

$$r_1 = x_1 \oplus x_2 \oplus y_1 \oplus y_2 \oplus \dots \oplus z_1 \oplus z_2$$

$$r_2 = x_2 \oplus x_3 \oplus y_2 \oplus y_3 \oplus \dots \oplus z_2 \oplus z_3$$

В результате имеем кодовый набор:

$$Y_k = x_1x_2x_3, y_1y_2y_3, \dots, z_1z_2z_3, r_1, r_2.$$

Если значения переданных контрольных разрядов и сформированных относительно полученного двоичного набора не одинаковы, то это свидетельствует о наличии ошибки.

Представленный линейный код обнаруживает 100% одиночных ошибок и, в зависимости от числа информационных разрядов, следующий процент двойных ошибок:

в 6-разрядном двоичном коде –  $P_{O6} = 75\%$ ;

9-разрядном –  $P_{O9} = 74,5\%$ ;

12-разрядном –  $P_{O12} = 74\%$ ;

15-разрядном –  $P_{O15} = 73\%$ ;

18-разрядном –  $P_{O18} = 72\%$ ;

21-разрядном –  $P_{O21} = 70\%$ ;

24-разрядном –  $P_{O24} = 69,5\%$ ;

27-разрядном –  $P_{O27} = 69\%$ ;

60-разрядном –  $P_{O60} = 67\%$ .

Таким образом, предлагаемый код имеет большую обнаруживающую способность, чем широко используемый для этих целей контроль по модулю три (обнаруживающий 50% двойных ошибок, требующий такое же число контрольных разрядов и гораздо больших временных затрат).

Каждому рабочему входному набору  $X_H$  соответствует кодовый набор

$$Y_k = x_1x_2x_3, y_1y_2y_3, \dots, z_1z_2z_3, r_1, r_2$$

Вектор контрольных разрядов  $R$  является функцией информационных разрядов и определяется правилом кодирования информации выбранного кода:

$$R = \{r_1, r_2\} = f(x_1x_2x_3, y_1y_2y_3, \dots, z_1z_2z_3).$$

После приема сообщения относительно информационных разрядов повторно формируется вектор контрольных разрядов и определяется синдром ошибки:  $E_C = R \oplus R''$ .

Каждому рабочему входному набору  $X_H$ , обеспечивающему определенное значение сигналов в информационных и контрольных разрядах  $Y_k = x_1x_2x_3, y_1y_2y_3, \dots, z_1z_2z_3, r_1, r_2$ , поставим в соответствие тестовый набор  $T_H = \{\bar{Y}_k, \bar{R}''\} \Rightarrow Y_T$ , порождающий противоположное значение сигналов в информационных и контрольных разрядах.

**Определение 1.** Инверсное значение результата суммирования значений информационных и контрольных разрядов  $Y_k = x_1x_2x_3, y_1y_2y_3, \dots, z_1z_2z_3, r_1, r_2$ , полученных на рабочем входном наборе с информационными и контрольными разрядами  $Y_T$ , полученными на тестовом наборе, будем считать тестовым вектором ошибки:  $B = \bar{Y}_k \oplus Y_T$ .

Если ошибок нет, то тестовый вектор ошибки принимает нулевые значения.

**Определение 2.** Кодирование блоков информационных разрядов тестового вектора ошибки  $b_{i1}, b_{i2}, b_{i3}$  по правилам рассматриваемого кода  $b_{i1} = b_{i1} \oplus b_{i2}; b_{i2} = b_{i2} \oplus b_{i3}$ , дает код ошибки блоков тестовых разрядов:  $(E_{i1}, E_{i2} \dots E_{i3})$ .

$E_{ii} = f(B_{ii})$  – коды ошибок  $i$ -блоков тестовых разрядов.

**Определение 3.** Скрытой будем называть ошибку, которая не проявляется на рассматриваемом входном рабочем наборе.

**Определение 4.** Ошибочный кодовый набор будем называть “правильным”, если он не содержит скрытых ошибок и “неправильным” в противном случае.

**Утверждение 1.** Исправление “неправильного” ошибочного кодового набора на основе тестового вектора ошибки приводит к псевдокоррекции.

**Доказательство.** При подаче тестового воздействия, обеспечивающего противоположное значение информационных разрядов, обнаруживаются любые ошибки. В этом случае тестовый вектор ошибки указывает номера ошибочных информационных разрядов, в том числе и разрядов, содержащих скрытые ошибки. Так как значения скрытых ошибок соответствуют рабочему входному набору, то их исправление на основе

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

тестового вектора ошибки в свою очередь приведет к ошибке в корректируемом кодовом наборе.

**Следствие 1.** Тестово-кодовая коррекция кратных ошибок возможна при условии выявления скрытых ошибок (формирования поправки к тестовому вектору ошибки).

**Свойство 1.** Матрица поправок тестово-кодового метода обнаружения и коррекции ошибок на основе линейного кода с двумя контрольными разрядами для  $i$ -го блока информации имеет вид:

$$E_{pi} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

В данной матрице каждой скрытой ошибке поставим в соответствие значение поправки и соответствующий ей код адреса поправки, где три разряда левой части матрицы определяют значения разрядов вектора поправок, а два разряда правой части матрицы определяют код адреса поправки.

Очевидно, что размерность данной матрицы поправок (аппаратурные затраты на хранение значений поправок) гораздо меньше размерности матрицы поправок относительно всех информационных разрядов (особенно с увеличением числа информационных разрядов).

**Свойство 2.** Результат суммирования синдрома ошибки и кода ошибки блоков тестовых разрядов определяет код адреса поправки на скрытую ошибку  $i$ -го блока информационных разрядов  $E_{ki} = E_c \oplus E_{pi}$ .

**Правило 3.** Для совокупности блоков информации  $1, 2, 3, \dots, w$  код адреса поправки на скрытую ошибку  $i$ -го блока информации определяется по правилу:

$$\begin{aligned} E_{k1} &= E_c \oplus E_{p1}; \\ E_{k2} &= E_c \oplus E_{p2}; \\ &\dots \dots \dots \\ E_{kw} &= E_c \oplus E_{pw}, \end{aligned}$$

где  $E_{p1}, E_{p2}, \dots, E_{pw}$  – коды ошибок  $i$ -х блоков тестовых разрядов.

**Свойство 3.** Каждому коду адреса поправок (правой группе элементов матрицы) соответствует прямое и обратное значение разрядов вектора поправок  $E_{pi} \Rightarrow \{c_1, c_2, c_3; \bar{c}_1, \bar{c}_2, \bar{c}_3\}$ ,

где  $c_i$  – прямое значение разряда вектора ошибки;  $\bar{c}_i$  – инверсное значение разряда вектора ошибки.

Данное свойство вытекает из определения двойственного ошибочного кодового набора (противоположным значениям ошибочного ко-

дового набора соответствует одинаковое значение синдрома ошибки).

**Следствие 2.** Для выбора значений поправки необходимо формировать признак поправки  $V$  (прямого или обратного значения разрядов поправки относительно рассматриваемого кода адреса поправки).

**Свойство 4.** Поправка имеет обратное значение, если все значения разрядов вектора поправки совпадают со значениями соответствующих информационных разрядов тестового вектора ошибки и прямое в обратном случае.

**Следствие 3.** При организации тестово-кодового метода коррекции ошибок вектор ошибки для  $i$ -го блока информационных разрядов равен:

$$E = \begin{matrix} b_{i1} b_{i2} b_{i3} \\ \oplus \bar{c}_1 \bar{c}_2 \bar{c}_3 \\ e_1 e_2 e_3 \end{matrix},$$

где  $\bar{c}$  – значение разряда вектора поправки (прямого или обратного).

**Правило 4.** Стратегия декодирования включает следующие положения:

- коррекция возможна если контрольные разряды тестового вектора ошибки имеют нулевые значения;

- коррекция возможна при возникновении одиночных и двойных ошибок в одном блоке информационных разрядов и отсутствии ошибок в остальных блоках информации (единичные значения сигналов имеет только один из блоков тестового вектора ошибок);

- передача информационных разрядов осуществляется без коррекции, если тестовый вектор ошибки содержит нулевые значения в информационных и контрольных разрядах;

- разрешается передача информационных разрядов без коррекции, если тестовый вектор ошибки содержит нулевые значения в информационных разрядах и единичные значения (ошибки) в контрольных разрядах;

- коррекция запрещается (формируется сигнал “Отказ устройства”), если все разряды  $i$ -го блока тестового вектора ошибки, соответствующие информационным разрядам, имеют единичные значения (3-кратная ошибка), или наличия единичных значений сигналов одновременно в информационных и контрольных разрядах тестового вектора ошибки;

- при возникновении скрытой ошибки вектор ошибки формируется путем добавления поправки к тестовому вектору ошибки.

**Свойство 5.** Тестово-кодовый метод обнаружения ошибок на основе линейного кода с двумя контрольными разрядами позволяет обнару-

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

жить все возможные ошибки в информационных и контрольных разрядах кодового набора.

**Свойство 6.** Тестово-кодовый метод коррекции ошибок на основе линейного кода с двумя контрольными разрядами позволяет корректировать одиночные и двойные ошибки в одном произвольном блоке информационных разрядов при условии отсутствия ошибок в других блоках информационных разрядов.

Рассмотрим процедуру коррекции ошибок тестово-кодовым методом для информационного набора:  $Y = \{x_1, x_2, x_3, y_1, y_2, y_3\} \Rightarrow 000001$ .

В этом случае проверочные разряды имеют значения  $r_1 r_2 \Rightarrow 01$ . Таким образом, кодовый набор передается в виде  $Y_k = 00000101$ .

Если ошибка не возникла, то инверсия значений разрядов кодового набора даст тестовый набор:  $Y_T = \{x_1, x_2, x_3, y_1, y_2, y_3\} \Rightarrow 11111010$ .

Поразрядное сложение по модулю 2 значений кодового и тестового наборов даст инверсное значение разрядов тестового вектора ошибки.

$$\bar{B} = 111\ 111\ 11.$$

Прямое значение тестового вектора ошибки имеет вид:  $B = 000\ 000\ 00$ .

Согласно правилу декодирования (Правило 4), кодовый набор передается без коррекции.

Действительно значение переданного кодового набора  $Y_k = 000\ 001\ 01$  равно скорректированному значению кодового набора

$$Y_k^* = 000\ 001\ 01$$

на основе тестового вектора ошибки, имеющего нулевые значения в информационных и контрольных разрядах.

Пусть при передаче сообщения возникла “правильная” ошибка в первом информационном разряде (ошибка обозначена символом “\*“):  $Y_k^* = 1^*00\ 001\ 01$ . Используя полученные правила, для данного случая имеем:

$$B = 100000\ 00; E_C = 10; E_{I1} = 10; E_{K1} = 00; E_{K2} = 00; C_1 = 000; E = 100000.$$

Вектор ошибки равен тестовому вектору ошибки, который указывает на ошибку в первом информационном разряде.

Допустим, в кодовом наборе возникла “правильная” ошибка в первом информационном разряде и скрытая ошибка во втором информационном разряде (скрытая ошибка помечена символом “+“):  $Y_k^* = 1^*0^+0\ 001\ 01$ , тогда:

$$B = 110000\ 00; E_C = 10; E_{I1} = 01; E_{K1} = 11;$$

$$C_1 = 010; E = 100\ 000.$$

Так как обратное значение поправки  $S=101$  (полученное из таблицы поправок по коду адреса поправок  $E_{K1}=11$ ) не совпадает с значением третьего информационного разряда тестового

вектора ошибки, то берется прямое значение поправки  $S=010$  (второй разряд тестового вектора ошибки тоже имеет единичное значение).

Аналогичным образом происходит декодирование при возникновении ошибок произвольной кратности.

Таким образом, предлагаемый тестово-кодовый метод обнаружения и коррекции ошибок в отличии от известных позволяет: 1) корректировать 100% одиночных ошибок; 2) корректировать двойные ошибки в информационных блоках; 3) иметь минимальную информационную избыточность (два контрольных разряда, при любом числе информационных разрядов); 4) обеспечить высокую достоверность функционирования (обнаруживать 100% возможных ошибок, включая ошибки, трансформируемые в разрешенные (безошибочные) кодовые наборы); 5) обнаруживать скрытые ошибки; 6) минимизировать аппаратные затраты на построение декодирующего устройства (не требует хранения таблицы синдромов ошибок и использует минимальную таблицу поправок); 7) исключает методическую ошибку декодирования (характерную для большинства декодирующих устройств, реализующих метод «максимума правдоподобия», когда ошибки различной кратности, имеющие одинаковый синдром и принадлежащие одному смежному классу, корректируются исходя из кодового расстояния выбранного линейного кода); 8) минимизировать временные затраты на коррекцию ошибок (требуется подача одного тестового воздействия, которое может подаваться только при обнаружении ошибок).

### Литература

1. Щербаков Н.С. Достоверность работы цифровых устройств. М.: Машиностроение, 1989. 224 с.
2. Щербаков Н.С. Самокорректирующиеся дискретные устройства. М.: Машиностроение, 1975. 214 с.
3. Павлов А.А., Романенко Ю.А., Павлов А.А., Шандриков А.В. Тестово-кодовый метод обнаружения и коррекции ошибок оперативных запоминающих устройств специализированных ЭВМ // Контроль. Диагностика. 2001. №8. С. 14-17.
4. Павлов А.А., Павлов А.А., Царьков А.Н., Хоруженко О.В. Функционально-кодовый метод обнаружения двойных ошибок в устройствах хранения информации автоматизированных систем контроля и управления // Контроль. Диагностика. 2009. №10. С. 60-64.
5. Павлов А.А. Оценка эффективности методов повышения достоверности функционирования устройств хранения информации телекоммуникационных систем // Известия Института инженерной физики, 2011. №4 (22). С. 36-41.
6. R. Naseer and J. Draper. Parallel Double Error Correcting Code Design to Mitigate Multi-Bit Upsets in SRAMs // Information Sciences Institute University of Southern California, IEEE Trans. Device Mater. 2008/Vol. 6, P. 222-225/
7. Prager K., Vahey M., Farwell W., Whitney J., Lieb J. A fault tolerant signal processing computer // Dependable Systems and Networks, 2000. DSN 2000. Proceedings International Conference on. 2000. P. 169-174.
8. Hagbae Kim, Kang G. Shin Evaluation of Fault Tolerance Latency from Real-Time Application's Perspectives // IEEE Transactions on computers, January 2000. Vol. 49. №1. P. 55-64.

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 004.652.3

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРЕХЗВЕННОЙ АРХИТЕКТУРЫ «КЛИЕНТ–СЕРВЕР» В СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМАХ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ USING A THREE-TIER ARCHITECTURE «CLIENT–SERVER» IN MODERN DATA PROCESSING SYSTEMS

#### Евгений Анатольевич Исаев

*кандидат технических наук*  
заведующий кафедрой, профессор  
Национальный исследовательский университет  
«Высшая школа экономики» (НИУ «ВШЭ»)  
заведующий лабораторией  
Физический институт им. П.Н. Лебедева (ФИАН)  
Адрес: 142290, Московская обл., г. Пущино, ФИАН  
Тел.: +7(4967)31-80-34 E-mail: is@itaec.ru

#### Василий Вячеславович Корнилов

*кандидат физико-математических наук*  
старший научный сотрудник  
Институт математических проблем  
биологии РАН (ИМПБ РАН)  
доцент  
Национальный исследовательский университет  
«Высшая школа экономики»  
Адрес: 105187, Москва, ул. Кирпичная, 33  
Тел.: +7(495)772-95-62 E-mail: vkornilov@hse.ru

#### Павел Алифтинович Тарасов

аспирант  
Институт математических проблем  
биологии РАН  
старший эксперт  
ООО «НПК-ИНФОРМ»  
Адрес: 109147, Москва,  
ул. Большая Андроньевская, д. 23, офис 530  
Тел.: +7(903)530-49-37  
E-mail: tarasov.pavel.work@yandex.ru

#### Георгий Викторович Детков

ведущий инженер  
ООО «Информационные технологии  
и электронные коммуникации» («ИТЭК»)  
Адрес: 142290, Московская обл., г. Пущино,  
ул. Институтская, д. 4, офис 103  
Тел.: +7(4967)31-82-13  
E-mail: georgieff@inbox.ru

#### Аннотация

Рассматривается концепция трехзвенной архитектуры клиент-серверной технологии построения информационных систем. Представлена реализация обсуждаемой архитектуры на примере собственной разработки программного комплекса. Обсуждаются перспективы использования архитектуры в современных условиях развития информационных технологий.

**Ключевые слова:** трехзвенная архитектура, технология «клиент-сервер», тонкий клиент, сервер приложений, сервер баз данных, система управления базами данных.

#### Summary

The concept of three-tier architecture of client-server technology for building information systems is considered. The implementation of discussed architecture in terms of self-developed software package is presented. The prospects of using architecture in contemporary arrangements of development of information technologies are discussed.

**Key words:** three-tiered architecture, client-server technology, thin-client, application server, database server, database management system.

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

В настоящее время в связи с повсеместным увеличением сложности вычислительных задач, лавинообразного роста объемов обрабатываемой информации, широкому внедрению в практическое использование планшетных персональных компьютеров, смартфонов и других типов мобильных гаджетов и связанным с этим бурным развитием облачных вычислений – технологии удаленного доступа к вычислительным ресурсам по компьютерным сетям, все более актуальным при построении различных программных систем и, в том числе, систем управления базами данных, является применение так называемой трехзвенной или трехуровневой архитектуры, предполагающей наличие в программном комплексе трех компонентов: приложения пользователя (клиента), сервера приложений (к которому подключено клиентское приложение) и сервера баз данных (с которым работает сервер приложений).

В статье рассматриваются принципы построения данной архитектурной модели, проводится ее сравнение с традиционными клиент-серверной или файл-серверной архитектурами, обсуждаются области ее применения и возможные направления дальнейшего развития, а также приводится пример успешной практической реализации трехзвенной архитектуры в программном комплексе, разработанном авторами для нужд Федеральной таможенной службы Российской Федерации.

Целью работы является демонстрация преимуществ трехзвенной архитектуры и популяризация использования данной технологии при разработке различных программных продуктов.

### **Архитектурные решения многопользовательского доступа к данным**

По мере развития информационных технологий довольно быстро возникла необходимость одновременного доступа к одному и тому же информационному массиву (базе данных) нескольких пользователей. Так возникла концепция многопользовательских или распределенных систем управления базами данных (СУБД). Хронологически первой многопользовательской технологией работы с данными стала централизованная архитектура. При использовании этой технологии база данных, СУБД и прикладная программа (клиентское приложение) располагаются на одном и том же компьютере [1]. При этом многопользовательский режим работы обеспечивается либо за счет разделения вычислительных ресурсов между пользователями, либо за счет разделения времени доступа клиентских

приложений к этим ресурсам. Понятным недостатком этой архитектуры является значительное снижение производительности системы при увеличении числа пользователей [2].

Развитие компьютерных сетей и массовое внедрение персональных компьютеров дало возможность появления нового типа архитектуры, получившим название «файл-сервер». Эта технология организации совместной работы в вычислительной сети предполагает выделение одного из компьютеров исключительно под задачи ввода-вывода и хранения данных. Клиентские приложения пользователей при такой организации программной архитектуры самостоятельно выполняют всю необходимую обработку данных, а ресурсы компьютера-сервера используют для хранения информации в виде отдельных файлов [2, 3]. Существенным недостатком такой архитектуры также является небольшое число клиентов, способных одновременно работать с базой данных без заметного снижения производительности системы из-за физических ограничений на количество одновременного возможных сеансов доступа к одному и тому же файлу. Также к недостаткам данной архитектуры относят ее низкую надежность и безопасность [3].

Пришедшая на смену архитектуре «файл-сервер» архитектура «клиент-сервер» предполагает наличие в сети выделенного компьютера-сервера, на котором располагается СУБД и хранятся базы данных. Клиентские приложения не могут обращаться непосредственно к данным, монопольным правом на доступ к информации обладает СУБД. Сервер обеспечивает интерпретацию запросов клиентов на доступ к данным, их выполнение за счет взаимодействия с базой данных, формирование результатов их выполнения и передачу этих результатов приложениям-клиентам. Взаимодействие приложений-клиентов и СУБД стандартно реализуется на структурном языке запросов SQL (Structured Query Language), а соответствующие базы данных принято называть реляционными [4]. Поскольку выполнение запроса происходит на сервере, там же, где хранятся данные, то нет необходимости в пересылке больших объемов информации, по сети передаются только запросы клиентов и результаты их выполнения, что значительно повышает быстродействие системы и снижает время ожидания результата запроса. Дополнительным преимуществом архитектуры является обеспечение высокой надежности механизма поддержания целостности базы данных и безопасности при одновременной работе большого числа пользователей за счет системы транзакций и разграничения доступа [4, 5].

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Сегодня клиент-серверная технология является фактически стандартом работы с данными и реализована в значительном количестве СУБД. Однако в процессе эксплуатации систем, основанных на данной архитектуре, был выявлен ряд существенных недостатков:

- недостаточная масштабируемость, т.е. ограниченная способность системы увеличивать свою производительность с увеличением нагрузки за счет добавления ресурсов, а также недостаточная надежность, выраженная в невозможности продолжения работы при отказе сервера;

- необходимость привлечения системного администратора – высококвалифицированного технического специалиста, занимающегося обеспечением корректной и стабильной работы сервера;

- высокая стоимость серверного оборудования, связанная с необходимостью обеспечения обработки сервером большого количества запросов в единицу времени, а также необходимость обеспечения достаточно высокой пропускной способности сети передачи данных.

### Трехзвенная архитектура «клиент-сервер»

В результате развития технологии «клиент-сервер» была предложена новая, трехзвенная архитектурная модель программного комплекса (рисунк 1) [6].

Трехзвенная (трехуровневая, а также иногда многозвенная или многоуровневая) архитектура подразумевает наличие в системе трех основных компонентов:

- клиентский уровень, на котором обеспечивается интерфейс с пользователем путем передачи запросов пользователя на следующий уровень и представлении полученных от этого уровня результатов;

- уровень сервера приложений, на котором реализуется вся бизнес-логика, ранее входившая в состав клиентских приложений: обрабатываются запросы клиентов, выполняется логическая и математическая обработка данных,

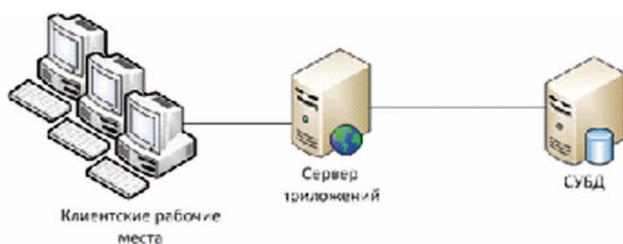


Рис. 1. Концепция трехзвенной архитектуры «клиент-сервер» [6]

осуществляется передача данных между двумя окружающими уровнями;

- уровень данных (сервер баз данных), на котором обеспечивается хранение данных, извлечение необходимой информации по запросу от сервера приложений и передача ему этих данных для обработки. Доступ к этому уровню возможен только с уровня сервера приложений.

К основным преимуществам трехзвенной архитектуры относятся:

- возможность распределения функций системы по нескольким компонентам – разным физическим устройствам – клиентской рабочей станции, сервера приложений и сервера базы данных, что позволяет повысить надежность, безопасность и производительность системы в целом;

- масштабируемость, под которой понимают возможность оперативного увеличения производительности системы в зависимости от планируемой нагрузки за счет изменения конфигурации сервера приложений;

- конфигурируемость, т.е. возможность произвести изменение системы на любом из ее уровней при возникновении сбоев или в процессе планового обслуживания при неизменности всех остальных уровней, что достигается за счет изолированности уровней друг от друга. Таким образом, возможно осуществить, например, модификацию программного обеспечения отдельного уровня или наращивание вычислительной мощности компьютерного комплекса без какого либо воздействия на другие уровни обработки данных;

- значительно более низкие требования к пропускной способности канала передачи данных между клиентом и сервером приложений по сравнению с классической архитектурой «клиент-сервер»;

- минимальные требования к производительности и техническим характеристикам клиентского оборудования, что позволяет использовать в их качестве так называемые «тонкие» клиенты – мобильные устройства, вычислительных ресурсов которых достаточно лишь для запуска необходимого сетевого приложения через web-интерфейс [7].

### Пример использования трехзвенной архитектуры при построении информационной системы

Трехзвенная архитектура построения многопользовательской программной системы для работы с базами данных была успешно ис-

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

пользована нами при реализации программной задачи (ПЗ) «Контроль исполнения» из состава комплекса программных средств (КПС) «Инспекторские проверки», разработанной для нужд Федеральной таможенной службы Российской Федерации.

Клиентское программное обеспечение разрабатывалось в виде Windows Forms приложений с использованием языка программирования C# в среде инструментальной разработки Microsoft Visual Studio 2010 и языка серверной части PL/SQL СУБД Oracle.

Программное обеспечение сервера приложений разрабатывалось с использованием языка программирования C# в среде инструментальной разработки Microsoft Visual Studio 2010.

В соответствии с требованиями технического задания на разработку ПЗ «Контроль исполнения» в качестве СУБД в системе применялись:

- на сервере баз данных – ORACLE Database Server версии 10g или выше
- на сервере приложений – ORACLE Client версии 10g или выше и MS .NET Data Provider for Oracle.

В соответствии с трехзвенной архитектурой общая концепция обработки данных в ПЗ «Контроль исполнения» предполагает разделение его составляющих на три уровня:

- уровень клиента;
- уровень доступа к данным;
- уровень данных.

Далее подробно рассмотрим каждый из уровней.

Уровень клиента – реализация интерфейсного компонента, приложение для конечного пользователя. Этот уровень в целях безопасности не имеет прямых связей с базой данных, однако помимо интерфейса здесь реализуются некоторые несложные операции с загруженными данными, проверка введенных значений и реализации правил и ограничений автоматизируемых операций, а также при необходимости алгоритмы шифрования данных.

Уровень доступа к данным (уровень сервера приложений). На этом уровне процедуры, реализованные через технологию провайдера DataAdapter возвращают данные от источника данных (Data Source), в качестве которого применяется СУБД Oracle, в виде структурированных наборов данных (DataSet) и изменяют данные в соответствии со значениями параметров системного класса OracleCommand, в котором отражаются изменения наборов данных DataSet. В качестве шаблона (т.е. прототипа DataSet) используются классы описатели данных – наследники класса DataSet.

Уровень данных – реализация самой СУБД. На этом уровне операции с базой данных выполняются с помощью хранимых процедур и триггеров СУБД, а также с помощью встроенных SQL-утверждений в программном коде сервера приложений.

Использование хранимых процедур диктуется следующими причинами:

- применение хранимых процедур в большинстве случаев повышает производительность, так как помогает оптимизировать план доступа к данным, используемым процедурой, и кэшировать эти данные для дальнейшего применения;

- использование хранимых процедур позволяет защищать их индивидуально на уровне базы данных. Клиенту можно выдать разрешения на выполнение хранимой процедуры, не предоставляя разрешения на доступ к используемым процедурой таблицам, что повышает защищенность данных;

- реализация бизнес-логики через хранимые процедуры позволяет упростить сопровождение системы, так как обычно легче изменить хранимую процедуру, чем «жестко зашитый» в развертываемый компонент оператор SQL;

- хранимые процедуры создают дополнительный уровень абстракции от схемы базы данных. Клиенту хранимой процедуры не требуется что-либо знать ни о деталях работы хранимой процедуры, ни о схеме базы данных;

- хранимые процедуры уменьшают сетевой трафик, так как в этом случае операторы SQL выполняются в пакетном режиме, а не путем передачи многократных запросов от клиента.

Использование встроенных в программный код SQL-утверждений позволяет воспользоваться более мощными средствами обработки параметров и генерации динамических SQL-запросов, а также, при необходимости, большей независимостью от используемых СУБД.

Для выполнения ряда специальных общесистемных функций в модель данных введен ряд общесистемных таблиц базы данных. В частности они используются:

- для хранения регистрационных параметров КПС;

- для выполнения задач организации разграничения доступа к ресурсам системы;

- для описания перечня таблиц базы данных (сущностей предметной области) и основных атрибутов этих сущностей;

- для организации мониторинга действий пользователей;

- для организации протоколирования изменений базы данных.

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

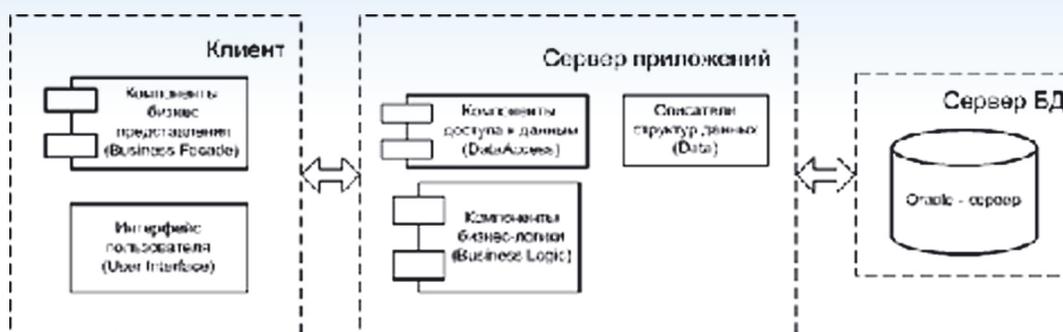


Рис. 2. Структура функционирования программной задачи «Контроль исполнения»

На уровне базы данных реализуется ряд общесистемных хранимых процедур и триггеров БД. В частности они обеспечивают:

- запись в протокол изменений БД;
- формирование уникальных ключей экземпляра БД;
- организацию каскадного удаления данных и другие действия служебного характера.

Модель, указывающая варианты реализации и размещения программных компонентов, приводится на *рисунке 2*.

В процессе работы системы возникают следующие потоки данных:

- со стороны клиента на сервер приложений передаются тип операций (запросов) и параметры, необходимые для выполнения этих операций;
- со стороны сервера приложений на клиента передаются результаты выполнения операций.

Это могут быть коды выполнения операций, наборы данных (Data Set), тексты сообщений, сложные объекты, содержащие специализированную информацию, а также любые другие данные, сформированные в результате работы сервера приложений с сервером баз данных.

Взаимодействие сервера приложений с сервером баз данных осуществляется либо вызовом хранимых процедур с получением результатов выполнения этих процедур, либо непосредственным выполнением SQL запросов.

Ядром ПЗ «Контроль исполнения» является сервер приложений, который выполняет следующие функции:

- получение запросов клиентских приложений на аутентификацию и идентификацию пользователей, и выполнение этих процедур;
- получение запросов клиентских приложений на выполнение специализированных функций, их выполнение и передача результатов выполнения клиентским приложениям;
- ведение сессий пользователей – информации о пользователе, его правах, идентификаторе сессии, время запуска сессии, время послед-

него обращения пользователя, выполняемые запросы и т.д.;

- организация доступа к базе данных;
- сервисные функции, такие как упаковка (распаковка) объектов данных, формирование SQL-запросов на основе набора параметров, очистка поисковых таблиц (таблиц, временно хранящих результаты выполнения поисковых запросов) и т.д.

### Перспективы использования трехзвенной архитектуры «клиент-сервер»

На сегодняшний день распределенные СУБД являются одним из наиболее значимых направлений развития современного рынка программных продуктов. В связи с постоянным ростом объемов обрабатываемых данных, интенсивным развитием информационных сетей, в том числе беспроводных, повсеместным распространением мобильных гаджетов в качестве тонких клиентов, необходимость широкого внедрения трехзвенной архитектуры технологии «клиент – сервер» становится все более ощутимой. Например, подавляющее большинство из существующих на сегодняшний день мобильных устройств обладает широкими возможностями для работы с данными с помощью информационных сетей, и, стоит отметить, что эти возможности постоянно совершенствуются. Одним из основных способов доступа к данным с использованием таких устройств в качестве клиентских терминалов становится концепция облачных вычислений («cloud computing»), которая предполагает обеспечение удаленного динамического доступа пользователей к услугам, вычислительным ресурсам и приложениям (включая операционные системы и инфраструктуру) через информационные сети.

В последнее время активно развивается многоуровневая архитектура (M-tier), которая предполагает еще больший уровень абстракции, в результате чего вышеописанные три уровня мо-

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

гут быть разбиты еще на несколько составляющих. В качестве примера можно привести архитектуру, в которой уровень базы данных может быть разделен на составляющую, ответственную исключительно за хранение данных, а также интерфейсный комплекс, обеспечивающий построение запросов к базе данных. Таким образом, многоуровневая архитектура является частным случаем трехуровневой, но при этом обладает большей степенью детализации.

Очевидно, что использование именно многоуровневой архитектуры является идеальным вариантом реализации облачных технологий обработки данных.

### Заключение

Трехзвенная архитектура позволяет реализовать работоспособные и эффективные информационные системы, которые успешно используются, в том числе, и в современных реалиях постоянно увеличивающихся информационных потоков и повсеместного использования в качестве основного рабочего инструмента мобильных устройств – типичных «тонких» клиентов.

При этом, дальнейшее продолжение трехзвенной технологии в виде многоуровневой ар-

хитектуры обработки информации помогает существенно расширить ее возможности, в том числе и в рамках облачных технологий. Таким образом, трехуровневая технология обработки данных не только соответствует всем современным требованиям, но и обладает значительными возможностями для развития, что позволяет сделать вывод о безусловной перспективности многозвенной архитектуры в области современных технологий обработки информации.

### Литература

1. Мартин Дж. Организация баз данных в вычислительных системах. М.: Мир, 1980.
2. Кренке Д. Теория и практика построения баз данных. 8-е изд. СПб.: Питер, 2003.
3. Бэгг К., Конноли Т., Страчан А. Базы данных: проектирование, реализация и сопровождение. Теория и практика. 2-е изд. М.: Вильямс, 2000.
4. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных. 8-е изд. М.: Вильямс, 2005.
5. Карпова Т. Базы данных. Модели, разработка, реализация. СПб.: Питер, 2001.
6. Microsoft Developer Network – Chapter 5: Layered Application Guidelines. <http://msdn.microsoft.com/>.
7. Воронин В.В., Семченко П.Н. Концепция клиент – серверной среды динамических экспертных систем // Интеллектуальные системы, 2010. №3. С. 95-100.

# ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 519.6

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОМПЛЕКСНОЙ ПРЕДСТАРТОВОЙ КАЛИБРОВКИ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ С НЕЛИНЕЙНОЙ ОПТИМАЛЬНОЙ ОЦЕНКОЙ ИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ПОДВИЖНОЙ ТОЧКЕ РАЗЛОЖЕНИЯ И БЕЗ АПРИОРНОЙ ИНФОРМАЦИИ THE MATHEMATICAL MODEL OF THE COMPLEX PRELAUNCH CALIBRATION OF ACCELEROMETERS WITH NONLINEAR OPTIMAL ESTIMATION OF PARAMETERS IN THE MOBILE POINT OF DECOMPOSITION AND WITHOUT A PRIORI INFORMATION

**Виктор Ефимович Аксёнов**

заслуженный деятель науки РФ  
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)35-23-92

**Алексей Юрьевич Порядин**

адъюнкт  
ВА РВСН имени Петра Великого  
(филиал в г. Серпухове)  
Адрес: 142210, Московская обл.,  
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17  
Тел. +7(987)319-30-77

### Аннотация

В статье рассматриваются содержания основных этапов разработки математической модели комплексной предстартовой калибровки акселерометров с нелинейной оптимальной оценкой их параметров при подвижной точке разложения и без априорной информации. Определены условия остановки итерационного процесса и оценки точности оптимальной нелинейной оценки, проанализированы погрешности нелинейной оценки параметров акселерометров – случайная и систематическая.

**Ключевые слова:** математическая модель комплексной предстартовой калибровки акселерометров, система нелинейных уравнений наблюдения, нелинейная оптимальная оценка параметров с подвижной точкой разложения без априорной информации.

### Summary

The article discusses the content of the main stages of the development of mathematical models of complex prelaunch calibration of accelerometers with nonlinear optimal estimation of their parameters when the mobile point of decomposition and without a priori information. The conditions for stopping the iterative process and assess the accuracy of optimal nonlinear estimation, analyzed the errors of the nonlinear estimates of the parameters of accelerometers – random and systematic.

**Key words:** a mathematical model of a complex prelaunch calibration of accelerometers, system nonlinear equations of tracing, nonlinear optimum valuation of parameters with a mobile point of the decomposition without a priori parameters information.

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Для повышения точности инерциальных командно-измерительных приборов (КИП) в установленном режиме необходимо проводить эксплуатационные мероприятия, заключающиеся в периодическом определении значений статических погрешностей акселерометров, запоминании этих значений и их последующим учете при полете ракеты на активном участке траектории. Такой процесс определения статических погрешностей акселерометров называется их предстартовой калибровкой. Наиболее предпочтительной с точки зрения точности калибровки по дисперсии акселерометрической составляющей отклонения точки падения боевых блоков (ББ) по дальности является комплексная предстартовая калибровка акселерометров, основанная на общей системе нелинейных уравнений наблюдения (СНУН) и предусматривающая вычисление оптимальных линейных оценок параметров акселерометров. Однако, точность получаемой оценки, существенно уступает потенциально возможной точности из-за линеаризации исходной СНУН. Таким образом, в настоящее время, в условиях постоянного продления срока эксплуатации межконтинентальных баллистических ракет (МБР), когда отклонения действительных значений параметров акселерометров от их расчетных значений могут выходить за установленные пределы, эффективность применения оптимальной линейной оценки с точки зрения точности калибровки и использования информационного ресурса значительно снижается, что в свою очередь приводит к снижению точности наведения ББ МБР. Повысить точность калибровки, а соответственно и точность наведения ББ, можно путем проведения комплексной предстартовой калибровки акселерометров с оптимальной нелинейной оценкой их параметров.

Рассмотрим содержание основных этапов разработки математической модели комплексной предстартовой калибровки акселерометров.

### 1. Общая система нелинейных уравнений наблюдения для акселерометров при их комплексной калибровке.

Калибровка акселерометров основывается на общей системе нелинейных уравнений наблюдения для акселерометров [1, 2]. Акселерометры установлены на вращающейся платформе, с помощью которой можно изменять положения их осей чувствительности в вертикальной плоскости.

Совокупность измерений частоты позволит составить СНУН:

$$\begin{cases} f_{\alpha i}^{изм} = \overbrace{K_{\alpha} \cdot g \cdot \sin \alpha i + U(0)_{\alpha}}^{f_{\alpha i}} + \delta f_{\alpha i} \\ f_{\beta i}^{изм} = \underbrace{K_{\beta} \cdot g \cdot \sin(\alpha i + \gamma) + U(0)_{\beta}}_{f_{\beta i}} + \delta f_{\beta i} \\ i = \overline{1, \chi} \end{cases} \quad (1)$$

или

$$F(K_{\alpha}, K_{\beta}, \alpha 1, \dots, \alpha \chi, \gamma) + \Delta Y = Y 1,$$

где

$$F(K_{\alpha}, K_{\beta}, \alpha 1, \dots, \alpha \chi, \gamma) = \begin{bmatrix} f_{\alpha i} \\ f_{\beta i, i=\overline{1, \chi}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{\alpha} \cdot g \cdot \sin \alpha i + U(0)_{\alpha} \\ K_{\beta} \cdot g \cdot \sin(\alpha i + \gamma) + U(0)_{\beta}, i = \overline{1, \chi} \end{bmatrix}$$

– математическая модель системы нелинейных функций (СНФ);

$K_{\alpha}, K_{\beta}$  – расчетные значения масштабных коэффициентов акселерометров;

$g$  – заданное ускорение силы тяжести;

$\gamma$  – постоянный в процессе калибровки, но не известный угол между осями чувствительности, расположенных в одной вертикальной плоскости калибруемых акселерометров;

$\Delta Y = \begin{bmatrix} \delta f_{\alpha i} \\ \delta f_{\beta i}, i = \overline{1, \chi} \end{bmatrix}$  – вектор случайных ошибок определения частоты импульсов на выходе акселерометров "α" и "β";

$Y 1 = \begin{bmatrix} f_{\alpha i}^{изм} \\ f_{\beta i}^{изм}, i = \overline{1, \chi} \end{bmatrix}$  – вектор результатов определения (измерения) частоты импульсов на выходе калибруемых акселерометров;

$U(0) = \begin{bmatrix} U(0)_{\alpha} \\ U(0)_{\beta} \end{bmatrix}$  – вектор смещения нуля акселерометров "α" и "β", определяется заблаговременно.

Необходимо отметить, что углы ориентации оси чувствительности акселерометра "α" в технологических положениях должны иметь оптимальные значения, т.е.  $\alpha i^P = \alpha i^{opt}, i = \overline{1, \chi-1}$ . Эти значения определяются путем решения задачи оптимизации режима измерений.

### 2. Оптимизация режима измерений.

Оптимальным режимом измерений называется такой режим, у которого технологические параметры равны оптимальным значениям.

Оптимальные значения технологических параметров – это такие их значения, при которых дисперсия акселерометрической составляющей ошибки наведения по дальности, обусловленная

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

ошибками оценки параметров акселерометров, минимальна.

Процесс определения оптимальных технологических параметров называется оптимизацией режима измерений.

При оптимальной оценке параметров акселерометров по критерию минимума суммы квадратов отклонений обобщенная обратная матрица  $C^-$  и поправка к оценкам  $\Delta \hat{X}_{анп}$  равны:

$$C^- = C_{мин}^- = \underbrace{(C^T \cdot K_{\Delta Y}^{-1} \cdot C)^{-1}}_{K_{X_{мин}}} \cdot C^T \cdot K_{\Delta Y}^{-1} \cdot \Delta \hat{X}_{анп} = 0 \quad (2)$$

апостериорная корреляционная матрица, характеризующая ошибку оценки параметров за счет  $\Delta Y$  равна:

$$K_{X_{мин}} = (C^T \cdot K_{\Delta Y}^{-1} \cdot C)^{-1}, \quad (3)$$

где  $K_{\Delta Y}^{-1}$  – корреляционная матрица, характеризующая точность вектора измерений  $Y$  или случайную составляющую  $\Delta Y$  в векторе измерений  $Y$ .

Доказано [1, 2], что элементы матрицы  $C$  в формуле (3) зависят от технологических параметров  $ai, i = 1, \chi - 1$ . Поэтому формулу (3) необходимо записать следующим образом:

$$K(Q)_{\hat{X}} = [C(X1^p, Q)^T \cdot K_{\Delta Y}^{-1} \cdot C(X1^p, Q)]^{-1}, \quad (4)$$

где  $Q = \{ai, i = 1, \chi - 1\}$ .

С учетом формулы (4) дисперсия акселерометрической составляющей ошибки наведения по дальности при оптимальной оценке параметров акселерометров по МНК равна:

$$D(Q)_{\Delta L} = L \cdot K(Q)_{\hat{X}} \cdot L^T, \quad (5)$$

где  $L$  – заданная матрица-строка коэффициентов влияния оцениваемых параметров на отклонение по дальности точки падения боевого блока.

Условие оптимальности режима измерений имеет вид:

$$\min_{по Q \in Q^{дон}} D(Q)_{\Delta L}^{МНК} \quad (6)$$

или с учетом формулы (6)

$$Q^{opt} = \arg \min_{по Q \in Q^{дон}} L \cdot K(Q)_{X_{мин}} \cdot L^T \quad (7)$$

где  $Q^{дон} = \{ai^{дон}, i = 1, \chi - 1\}$  – допустимое множество углов разворота ГСП относительно ее внешней оси подвеса.

### 3. Преобразование общей системы нелинейных уравнений наблюдения в эквивалентную систему нелинейных алгебраических уравнений специального вида.

С учетом проведения оптимизации режима измерений расчетные (заданные) значения оцениваемых параметров представляются в виде:

$$X1^p = [K_{\alpha}^p \ K_{\beta}^p \ \alpha 1^{opt} \ \alpha(\chi - 1)^{opt} \ \alpha \chi^p \ \gamma^p]^T, \quad (8)$$

Произведем разложение СНФ в точке  $X1^p$  по формуле Тейлора первого порядка, тогда получим:

$$F(X1) = F(X1^p) + C(X1^p) \cdot X + R_1(X, F(X1^p + \Phi \cdot X)), \quad (9)$$

где  $F(X1^p)$  – вектор значений функций из СНФ при  $X1 = X1^p$ , определенный в заданной области;

$$C(X1^p) = \left[ \frac{\partial F(X1)}{\partial X1} \right]_{X1=X1^p}$$

прямоугольная матрица Якоби размером  $[m \times n]$ , элементы которой вычисляются при  $X1 = X1^p$ ;  $R_1(X, F(X1^p + \Phi \cdot X))$  – остаточный член формулы Тейлора первого порядка в форме Лагранжа ( $0 < \Phi < 1$ )

Подставим (9) в (1) и после несложных преобразований получим псевдолинейную систему уравнений наблюдения следующего вида:

$$C(X1^p) \cdot X + \Delta Y = Y1^{изм} - F(X1^p) - R_1(X, F(X1^p + \Phi \cdot X)). \quad (10)$$

Оптимальное решение псевдолинейной системы уравнений наблюдения (10) без априорной информации или по критерию оптимальности метода наименьших квадратов (МНК) записывается в виде:

$$X = C_{МНК}^{-1}(X1^p) \cdot [Y1^{изм} - F(X1^p) - R_1(X, F(X1^p + \Phi \cdot X))], \quad (11)$$

где:

$C_{МНК}^{-1}(X1^p) = [C^T(X1^p) \cdot K_{\Delta Y}^{-1} \cdot C(X1^p)]^{-1} \cdot C^T(X1^p) \cdot K_{\Delta Y}^{-1}$  – обобщенная обратная матрица, в которой существуют указанные обратные матрицы,  $K_{\Delta Y}$  – заданная корреляционная матрица вектора случайных ошибок измерения  $\Delta Y$ .

Уравнение (11) – это эквивалентная СНАУ относительно искомого вектора  $X$ . Это уравнение, как правило, не имеет аналитического решения, к тому же и параметр  $\Phi$  неизвестен, но единственное решение существует, если ранг матрицы  $C(X1^p)$  равен числу оцениваемых параметров. Поэтому решить уравнение (11) можно только численным методом, исключив из итерационного процесса остаточный член из-за того, что коэффициент  $\Phi$  неизвестен.

**4. Решение эквивалентной системы нелинейных алгебраических уравнений специального вида численным методом использующим принцип метода Ньютона (разложение нелинейной функции в СНУН в подвижной точке).**

Разработаем итерационную процедуру численного решения СНАУ. Для этого исключим из СНАУ (11) остаточный член, а вместо  $X$  подставим  $(X1-X1^p)$ , тогда получим:

$$X1 = X1^p + C_{МНК}^{-1}(X1^p) \cdot [Y1^{изм} - F(X1^p)], \quad (12)$$

Введем обозначения:

$X1^p = X1^{(0)}$  – заданное начальное приближение оцениваемых параметров;

$X1 = X1^{(1)}$  – первое приближение оцениваемых параметров;

тогда  $C_{МНК}^{-1}(X1^p) \cdot [Y1^{изм} - F(X1^{(0)})] = X^{(0)}(X1^{(0)})$  – начальная оптимальная оценка отклонения действительного значения искомых параметров  $X1$  от заданного значения  $X1^p$ . Подставив введенные обозначения в уравнение (12), получим:

$$X1^{(1)} = X1^{(0)} + X^{(0)}(X1^{(0)}), \quad (13)$$

Вычисленный вектор первого приближения  $X1^{(1)}$  подставляется в правую часть уравнения (13) вместо  $X1^{(0)}$  и вычисляется второе приближение  $X1^{(2)}$  и т.д. Этот итерационный процесс записывается следующим образом:

$$X1^{(k+1)} = X1^{(k)} + X^{(k)}(X1^{(k)}), \quad K = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (14)$$

где  $X^{(k)}(X1^{(k)}) = C_{МНК}^{-1}(X1^{(k)}) \cdot [Y1^{изм} - F(X1^{(k)})]$  – вектор приращений.

Итерационный процесс (14) продолжается до выполнения условия

$$\| X1^{(k+1)} - X1^{(k)} \| \leq \epsilon, \quad (15)$$

где  $\| X1^{(k+1)} - X1^{(k)} \|$  – норма разности двух векторов  $X1^{(k+1)}$  и  $X1^{(k)}$ ;

$\epsilon$  – заданная точность вычисления искомого вектора параметров  $X1$ .

При выполнении условия (15) получаем нелинейную оптимальную оценку искомого вектора параметров  $X1^{opt} \approx X1^{(k+1)}$  с заданной точностью.

Структура итерационного процесса (14) аналогична структуре итерационного процесса метода Ньютона решения системы нелинейных алгебраических уравнений, а содержание формулы для вычисления вектора приращений  $X^{(k)}(X1^{(k)})$ , существенно отличается от формулы для вычисления вектора приращений в методе Ньютона.

Точность численного метода оптимальной нелинейной оценки параметров без априорной информации с подвижной точкой разложения зависит от двух погрешностей, одна из которых случайная, а другая систематическая. Случайная погрешность обусловлена случайной составляющей

$\Delta Y$ , содержащейся в результатах измерений  $Y1^{изм}$ , а систематическая погрешность обусловлена бесконечностью итерационного процесса. Систематическая погрешность  $\epsilon^{(k)}$  зависит от числа итераций и при этом  $\lim_{k \rightarrow \infty} \epsilon^{(k)} = 0$ . Уменьшение систематической составляющей достигается увеличением количества итераций.

Числовой вероятностной характеристикой случайной погрешности оптимальной нелинейной оценки вектора искомых параметров  $X1^{opt}$  без априорной информации с подвижной точкой разложения является апостериорная корреляционная матрица  $K_{X1^{opt}}$ , определяемая формулой [1]:

$$K_{X1^{opt}} = [C^T(X1^{opt}) \cdot K_{\Delta Y}^{-1} \cdot C(X1^{opt})]^{-1}. \quad (16)$$

Абсолютная величина случайной погрешности  $\delta X(\Delta Y)$ , содержащейся в  $X1^{opt}$  и непосредственно зависящей от  $\Delta Y$ , равна:

$$\delta X(\Delta Y) = C_{МНК}^{-1}(X1^{opt}) \cdot \Delta Y. \quad (17)$$

Уменьшение абсолютной величины случайной погрешности  $\delta X(\Delta Y)$  достигается по двум направлениям:

1. Повышением точности измерений, т.е. уменьшением  $\Delta Y$ .

2. Увеличением количества измерений  $m$ .

Таким образом, цель данной статьи достигнута. Разработана математическая модель комплексной предстартовой калибровки акселерометров с оптимальной нелинейной оценкой их параметров с подвижной точкой разложения без априорной информации о параметрах, определены условия остановки итерационного процесса и оценки точности оптимальной нелинейной оценки, проанализированы погрешности нелинейной оценки параметров акселерометров – случайная и систематическая ошибки.

## Литература

1. Аксёнов В.Е. Эксплуатационная калибровка КИП автономных систем управления ракет: монография в 3-х ч. Ч. 1 / В.Е. Аксёнов. Серпухов: ВА РВСН им. Петра Великого (филиал в г. Серпухове), 2014. 383 с.
2. Аксёнов В.Е. Эксплуатационная калибровка КИП автономных систем управления ракет: монография в 3-х ч. Ч. 2 / В.Е. Аксёнов, Л.М. Жебрак. Серпухов: ВА РВСН им. Петра Великого (филиал в г. Серпухове), 2014. 334 с.
3. Аксёнов В.Е. Эксплуатационная калибровка КИП автономных систем управления ракет: монография в 3-х ч. Ч. 3 / В.Е. Аксёнов, Е.В. Пискулин. Серпухов: ВА РВСН им. Петра Великого (филиал в г. Серпухове), 2014. 180 с.
4. Аксёнов В.Е. Надёжность систем управления ракет: учебник в 3-х ч. Ч. 1 / В.Е. Аксёнов. Серпухов: ВА РВСН им. Петра Великого (филиал в г. Серпухове), 2013. 408 с.
5. Аксёнов В.Е. Надёжность систем управления ракет: учебник в 3-х ч. Ч. 2 / В.Е. Аксёнов, Л.М. Жебрак

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Серпухов: ВА РВСН им. Петра Великого (филиал в г. Серпухове), 2013. 331 с.

6. Аксёнов В.Е. Надёжность систем управления ракет: учебник в 3-х ч. Ч.3 / В.Е. Аксёнов, Е.В. Пискулин. Серпухов: ВА РВСН им. Петра Великого (филиал в г. Серпухове), 2013. 125 с.

7. Аксёнов В.Е. Численный метод оптимальной нелинейной оценки параметров и его приложение для калибровки инерциальных командно-измерительных приборов // Известия Института инженерной физики, 2007. №3(5), С. 2-6.

8. Аксёнов В.Е. Нелинейная оптимальная оценка параметров с подвижной точкой разложения без априорной информации о параметрах // Известия Института инженерной физики, 2011. №4(22). С. 14-20.

9. Аксёнов В.Е. Нелинейная оптимальная оценка параметров с подвижной точкой разложения и с априорной информацией о параметрах. // Известия Института инженерной физики, 2012. №3(25), С. 54-62.

10. Аксёнов В.Е. Оптимизация режима измерения с оптимальным распределением заданного временного ресурса между положениями ГСП для комплексной предстартовой калибровки акселерометров без априорной информации об оцениваемых параметрах // Известия Института инженерной физики, 2012. №1(27). С. 30-33.

11. Пирумов У.Г. Численные методы: учебник и практикум для академического бакалавриата. М.: Издательство Юрайт, 2014. 421 с.

УДК 004.056

## УЯЗВИМОСТЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЮ ВИРТУАЛИЗАЦИИ THE VULNERABILITY OF INFORMATION SYSTEMS USING VIRTUALIZATION TECHNOLOGY

**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

**Валерий Станиславович Стецевич**

*научный сотрудник*

Московский институт новых  
информационных технологий

Адрес: 121552, Москва, ул. Ярцевская, д. 30  
Тел.: +7(495)141-20-96  
E-mail: merphy2@yandex.ru

### Аннотация

В статье описываются возможные (известные) уязвимости информационных систем, построенных с использованием технологий виртуализации. При раскрытии темы, рассматриваются способы вредоносного воздействия на различные уровни виртуальной инфраструктуры, проводится анализ уязвимостей. Также предлагаются организационные и технические меры защиты вычислительной системы.

**Ключевые слова:** виртуализация, виртуальные системы, уязвимости информационной системы, защита информационной системы.

### Summary

The article describes possible (known) vulnerabilities of information systems built using virtualization technologies. In disclosing the topics discussed ways harmful effects on different levels of the virtual infrastructure, an analysis of vulnerabilities. It also offers organizational and technical measures to protect the computer system.

**Key words:** virtualization, virtual systems, the vulnerability of the information system, the protection of information systems.

### Введение

Несмотря на то, что виртуализация, как технология, существует уже достаточно давно, и что пользы от ее практического применения во всех направлениях развития IT-технологий очень много, широкое распространение она получила относительно недавно [5]. Подчас, виртуализацию понимают, как панацею для решения многих проблем, связанных с уменьшением затрат на развертывание облачных вычислений, дата-центров, а также различных корпоративных сетей обработки и передачи данных [7]. В силу того, что при виртуализации множество виртуальных машин (ВМ) находятся на одной физической «защищенной» машине, в сознании многих пользователей виртуальная инфраструктура понимается как наиболее безопасная информационная среда. Практика показывает, что виртуальные системы подчас даже более уязвимы по

сравнению с физическими, так как помимо стандартных, уже выявленных «дыр» в защите, присутствуют и новые еще неисследованные [3].

Для защиты ВМ не всегда могут быть применены традиционные методы и средства защиты, подходящие для физических сред. Иногда действия, направленные на предотвращение вторжения или деструктивного воздействия могут принести больше вреда, чем пользы [9]. Так, например, при массовом детектировании наличия вредоносного программного кода на группе ВМ, проведение одновременной антивирусной проверки файловых систем всего множества виртуальных машин, в разы увеличивает нагрузку на физическое оборудование, что может явиться следствием недоступности всех виртуальных ресурсов [7].

Дополнительную опасность может вызывать и сам гипервизор как очередной программный слой взаимодействия систем, который может

# ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

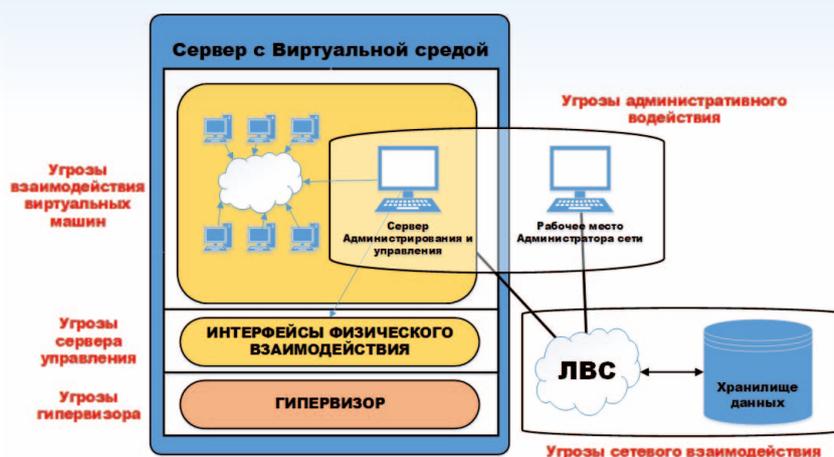


Рис. 1

быть изменен или нарушен в деструктивных целях [9]. А получение злоумышленником доступа к гипервизору или вывод его из сетевого взаимодействия может привести к непоправимым последствиям.

## Угрозы виртуальной инфраструктуре

Рассмотрим возможные угрозы виртуальной среде, вызванные преднамеренными или непреднамеренными действиями потенциальных нарушителей.

При этом, как и в физической среде, безопасность в виртуальной требует комплексного подхода к решению вопросов, связанных с предотвращением внутренних и внешних угроз.

По объектам воздействия и возможным последствиям можно выделить несколько уровней угроз безопасности виртуальных систем [8] (*рис. 1*):

1. Уровень гипервизора.
2. Уровень сервера управления.
3. Уровень взаимодействия виртуальных машин.
4. Уровень сетевого взаимодействия.
5. Административный уровень (Уровень аудита и учета).

### Уровень гипервизора

Гипервизор – управляющий центр виртуальных машин, находящихся на физическом носителе. Гипервизор предоставляет работающим под его управлением виртуальным машинам средства связи и взаимодействия между собой. Он обладает всей информацией о функционирующих на данный момент системами [1].

Чаще всего гипервизор это «урезанная» версия минимальной операционной системы с открытым кодом (Linux, BSD, ESXi). Существующие hardened-версии гипервизоров не могут

обеспечить полной защиты от существующих и еще не выявленных угроз. На «голом железе» гипервизора, как правило, реализован встроенный контроль доступа, к оборудованию, но его программная оболочка, в силу его отсутствия такового, представляет объект атаки [3].

Другой уязвимостью виртуальной среды является возможность запуска на одном уровне с гипервизором программного кода сторонних разработчиков, представляющего собой неподписанные драйверы устройств, приложения, псевдо-обновления, дополнения и т.д.

Последствиями могут быть как обычные нарушения в функционировании гипервизора и, следовательно, всей виртуальной инфраструктуре сети, так и создание клонов виртуальных станций, их «утечка», а также протоколирование всех действий администратора гипервизора, и передача сведений об этом злоумышленнику.

### Уровень сервера администрирования

Сервер администрирования и управления виртуальной инфраструктурой также является программным кодом, находящимся на одной и виртуальных машин, и имеет удаленный (сетевой) доступ к функциям управления платформами. Стандартные средства защиты не всегда применимы для виртуального сервера.

Гипервизор осуществляет управление сетевым взаимодействием ВМ, при этом сетевой трафик также виртуализируется. Его очень сложно идентифицировать, так как он выполняется гипервизором и не покидает физический сервер [3].

Атака на гипервизор может быть реализована за счет несанкционированного доступа или эксплуатации уязвимостей программного обеспечения виртуализации. Получение злоумышленником доступа к серверу администрирования может стать причиной компрометации всех вирту-

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

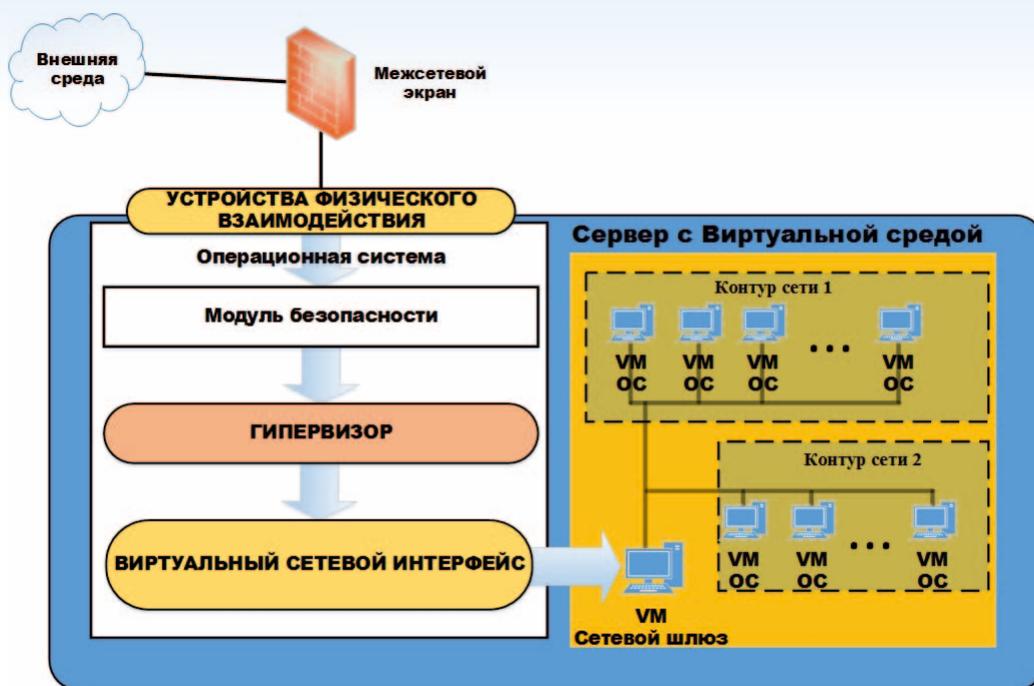


Рис. 2

альных машин. Утечка пароля администратора, или получение его злоумышленниками может быть обнаружена только посредством тщательного анализа аудита действий пользователей на всех VM инфраструктуры. Во избежание путаницы, а также для обеспечения одновременного выполнения задач на клиентских машинах реализовать подключение к единому NTP-серверу.

### *Уровень виртуальной машины и приложений*

Данный уровень представляет из себя динамическую систему и возлагает на себя выполнение спектра задач, который только может быть возложен на всю информационную систему. С точки зрения обеспечения безопасности, система должна иметь возможность осуществления защиты всех рабочих станций со всем многообразием выполняемых ею служб и сервисов. Примерами таких станций могут быть вполне обычные элементы корпоративной сети – сервер «внутренних» баз данных, web-сервер, сервер Active Directory, почтовый сервер и т.д. Стоит помнить, что при развертывании данных сервисов в виртуальной среде необходимо руководствоваться теми же принципами безопасности, что и в физической [9].

Поэтому, первостепенной задачей на данном уровне является применение соответствующей политики безопасности, установки соответствующего антивирусного программного обеспечения. Выбирать стоит из технологий

«безагентной» защиты и технологии «легкого клиента».

В силу выполнения виртуальными машинами разносторонних задач, направленных на осуществление как внутрисетевого, так и «внешнего» взаимодействия, постоянно присутствует необходимость разделения зон доступа машин. А точнее ставится вопрос «изоляции» некоторых из них. Существуют комплексные средства защиты, позволяющие создать профили и политики безопасности, ограничивающие определенным машинам взаимодействие с системами, не входящими в зоны «доверия». При перемещении машины на другой сервер такой профиль может предотвратить ошибочное подключение внутренней системы к внешней сети.

Еще одной угрозой безопасности виртуальной инфраструктуры является простота в осуществлении переноса VM с одного гипервизора на другой, или ее копирования на любой внешний носитель информации. Подобная утечка может привести к получению злоумышленником паролей учетных записей с различным уровнем доступа.

Также не стоит пренебрегать защитой хранилища моментальных снимков (snapshot) VM. Снимки содержат конфиденциальные данные, такие как личные данные и пароли, в том же виде как эти данные хранятся на физическом жестком диске. Любые ненужные или дополнительные изображения могут действительно причинить проблемы. Все снимки, которые были

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

сохранены с вредоносными программами, в будущем могут быть перезагружены и станут причиной хаоса.

При возвращении ВМ к исходным настройкам посредством моментальных снимков, любые изменения конфигурации будут потеряны, в том числе и примененные политики безопасности. Журналы аудита будут утеряны, что исключит запись изменений, которые были проделаны на ВМ.

### *Уровень сетевого взаимодействия*

Взаимодействие виртуальной машины, находящейся на одном физическом сервере, происходит по принципу взаимодействия системы в локальной вычислительной сети одного ранга (частной сети) – весь сетевой трафик циркулирует внутри замкнутой физической среды и не подвергается фильтрации традиционными средствами обнаружения вторжений. Данная концепция делает конечные рабочие станции наиболее подверженными сетевым угрозам. К примеру, злоумышленник посредством технологий туннелирования может получить псевдолегитимный удаленный доступ к одному из виртуальных серверов. Результатом может стать атака на соседние серверы и рабочие станции, и такие атаки не могут быть обнаружены [6].

Для организации защиты на данном уровне необходимо проводить разделение рангов сети на физическом сервере (рисунки 2). В инфраструктуре виртуальной среды необходимо ввести специальную виртуальную машину, выполняющую роль сетевого шлюза и занимающейся обработкой всего сетевого трафика, поступающего во внутреннюю сеть виртуализации. По сути создается виртуальный аналог межсетевого экрана, который можно также наделять дополнительным функционалом, включив механизмы антивирусной защиты. Подобным сетевым шлюзом внутренняя сеть виртуальной среды может быть разделена на контуры защиты, между которыми определяются правила безопасности межсетевого взаимодействия. Таким образом, виртуальная АВС становится двухранговой, а внутреннее взаимодействие в рамках виртуального сервера разделено политиками безопасности [2].

### *Административный уровень (Уровень аудита и учета)*

Большинство проектов по внедрению платформы виртуализации на стадиях планирования и разработки архитектуры начинаются без привлечения специалистов по информационной безопасности. В результате нередко встречаются ситуации, когда подразделения информаци-

онной безопасности не могут обеспечить защиту развернутых систем. Еще один риск – нарушение принципа разделения полномочий; например, клонирование, копирование и другие манипуляции с виртуальными машинами, содержащими продуктивные данные, нередко проводятся без согласований и даже уведомления служб информационной безопасности. Значит, велика вероятность утечки конфиденциальной информации. Для организации защиты на этом уровне требуется к проектам по внедрению системы виртуализации привлекать сотрудников службы информационной безопасности, а требования по защите виртуальной инфраструктуры обязательно включать в техническое задание проекта [5].

Также необходимо реализовать разделение полномочий при доступе к административным функциям. Здесь первоочередная задача – понимание и формализация того, кто и за управление какими рисками несет ответственность; например, управление сетевой инфраструктурой платформы виртуализации должно осуществляться подразделением, отвечающим за физические сети. Это справедливо и применительно к средствам защиты, установки обновлений, проведению аудита настроек на соответствие стандартам и политикам безопасности и т.д. Комплексные средства защиты виртуальных сред позволяют реализовать ролевое управление административными функциями и тем самым минимизировать вероятность предоставления избыточных привилегий.

Для осуществления административного контроля необходимо проводить постоянный аудит настроек и анализ лог-файлов платформы виртуализации. При этом главной рекомендацией является соблюдение тех же принципов разделения полномочий, что и для физической среды. Злоумышленник с административным доступом к серверу управления при недостаточном контроле настроек и журнальных файлов практически не ограничен в действиях. Для организации защиты на этом уровне требуется осуществлять анализ настроек платформы виртуализации на соответствие принятым политикам безопасности. Кроме того, необходимо проводить мониторинг событий информационной безопасности и корреляцию событий для выявления потенциально опасных действий и, безусловно, учитывать, что проблемы с производительностью платформы виртуализации затронут все работающие на ней системы, поэтому анализ загруженности виртуальных машин и всей платформы в целом необходим для обеспечения ее непрерывной работы – это позволит своевременно обна-

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

ружить и устранить узкие места оборудования и ПО, создающее чрезмерную нагрузку.

### Требования и рекомендации к защите виртуальной инфраструктуры

Для защиты виртуальной инфраструктуры необходимо учитывать вычислительную мощность серверного оборудования, пропускную способность сетевых интерфейсов, объемы трафика на каждом из уровней сетевого взаимодействия. А также задачи всей вычислительной системы.

Для организации защиты от угроз различных уровней воздействия рекомендуется комплексно расставлять элементы защиты и соблюдать следующие рекомендации:

- Необходимо провести изоляцию сети администрирования виртуальной инфраструктуры с последующей защитой периметра сети для ограничения возможности доступа нарушителей к гипервизору по открытым сетевым протоколам, а также физического доступа в помещение, в котором установлен гипервизор.

- Требуется создать условия для невозможности внесения изменений в конфигурацию гипервизора без соответствующего решения или разрешения администратора.

- Обеспечить возможность запуска гипервизора с неизменяемого раздела жесткого диска или съемного носителя информации с постоянной проверкой контрольных сумм и целостности областей загрузки и файлов, находящихся в них.

- Всесторонне проверять устанавливаемые сторонние коды (установка приложений, сертифицированных разработчиками платформы виртуализации, тщательная проверка цифровых подписей драйверов оборудования).

- Установить на виртуальную инфраструктуру антивирусную защиту с безагентными модулями и планировщиком нагрузки на ресурсы системы.

- Провести разделение виртуальных машин по зонам доверия, изолировав предназначенные для внутрисетевого взаимодействия.

- Проводить своевременное обновление антивирусного программного обеспечения, периодические проверки на предмет наличия уязвимостей, а также выполнять мониторинг действий виртуальных машин.

- Обеспечить надежную защиту местам хранения снимков состояния ВМ, а также отслеживать любые изменения в них.

- Для обеспечения безопасности системы на уровне сетевого взаимодействия необходимо установить систему защиты сетевой среды платформы виртуализации не слабее, чем устанавливается для физической среды. Наиболее эффективными средствами могут являться виртуальные модули систем предотвращения вторжений и межсетевого экранирования. Такие модули могут быть частью комплексного средства обеспечения безопасности платформы виртуализации или поставляться отдельно производителями сетевых средств защиты.

- Изолировать виртуальные машины, относящиеся к разным зонам доверия, исходя из задач сетевого взаимодействия.

### Литература

1. Самойленко А. Бесплатные серверные платформы виртуализации // URL: <http://www.ixbt.com/cm/virtualization-servers-free.shtml> (2007, 27 июня)
2. Кроста-Хартл П. Виртуализация сетей // Журнал сетевых решений/LAN, 2010. № 11. С. 120-131.
3. Terry Komperda. Virtualization Security // InfoSec Institute URL: <http://resources.infosecinstitute.com/virtualization-security-2/> (2012, 17 дек.)
4. Бойцов И. Уязвимости гипервизора – угроза виртуальной инфраструктуре и облаку // Сообщество разработчиков «Хабрахабр» <http://habrahabr.ru/company/securitycode/blog/200346/> (2013, 31 окт.)
5. Власов А. Обзор средств защиты в виртуальных средах // Информационный бюллетень компании «Инфосистемы Джет» URL: <http://www.jetinfo.ru/stati/obzor-sredstv-zaschity-v-virtualnykh-sredakh> (2012, март)
6. Ширманов А. Безопасность виртуальной инфраструктуры // Официальный сайт компании ООО «Код Безопасности» URL: [http://www.securitycode.ru/upload/iblock/aac/Bezopasnost\\_virtualnoy\\_infrastruktury.pdf](http://www.securitycode.ru/upload/iblock/aac/Bezopasnost_virtualnoy_infrastruktury.pdf) (2009, сент.)
7. Ледовской В. Обзор средств защиты виртуальных сред на базе VMware vSphere. // Официальный сайт аналитического центра Anti-Malware.ru URL: [http://www.anti-malware.ru/analytics/Virtualization\\_Security](http://www.anti-malware.ru/analytics/Virtualization_Security) (2014, 12 февр.)
8. Блог компании «КРОК». Защита в виртуальной среде: чеклист угроз // Сообщество разработчиков «Хабрахабр» URL: <http://habrahabr.ru/company/croc/blog/140044/> (2012, 15 марта)
9. Касперский Е. Очень сложный выбор: 3 способа защитить виртуальную машину // Сообщество разработчиков «Хабрахабр» URL: <http://habrahabr.ru/company/kaspersky/blog/223729/> (2014, 22 мая)

# ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 629.039.58; 623; 625

## ПОДХОД К ОЦЕНКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕВОЗОК ЭЛЕМЕНТОВ РАКЕТНОГО ВООРУЖЕНИЯ ПО ТЕРРИТОРИЯМ И ОТДЕЛЬНЫМ МАРШРУТАМ СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ THE APPROACH TO ASSESSING THE SAFETY OF THE TRANSPORT ELEMENTS OF MISSILE WEAPONS ON THE TERRITORIES OF SOME ROUTES AND RAIL NETWORK

**Александр Евгеньевич Попов**

*кандидат технических наук, доцент*

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

Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,  
ул. Бригадная д. 17

**Данила Петрович Мотасов**

войсковая часть 31600  
Москва

### Аннотация

Рассматривается подход к решению задачи оперативной оценки безопасности перевозок элементов ракетного вооружения по территориям и отдельным маршрутам сети железных дорог в условиях неустойчивой внешней обстановки и осуществить выбор рациональных вариантов формирования маршрутов перевозки ЭРВ.

**Ключевые слова:** элементы ракетного вооружения, транспорт, организация, перевозка, маршрут, безопасность, негативный фактор, опасное событие.

### Summary

The approach is considered to decision of the problem of the operative estimation to safety of transportation missile arms element on territory and separate route to network of the railways in condition of the unstable external situation and realize the choice rational variant shaping route transportation EMA.

**Key words:** elements of the missile arms, transport, organization, transportation, route, safety, the negative factor, dangerous event.

Безопасное функционирование элементов железной дороги является основой для обеспечения своевременных и безаварийных перевозок элементов ракетного вооружения (ЭРВ). Вместе с тем транспортная система страны при современной интенсивности движения является потенциальным источником многообразия факторов, приводящих к возникновению аварийных и чрезвычайных ситуаций. При сохранении необходимости в перевозках ЭРВ по дорогам общего назначения и прогнозируемом их увеличении в условиях многообразия возникающих негативных факторов, а также возможном их комбинированном сочетании, возникает объективное противоречие между повышающимися требованиями к безопасности перевозок элементов ракетного вооружения, и практической невозможностью обеспечить требуемый уровень без-

опасности перевозок элементов ракетного вооружения по всем возникающим негативным факторам, что потребовало бы средства, соизмеримые со стоимостью самой транспортной системы.

Поэтому особую актуальность приобретает разработка комплексного научно обоснованного подхода к оценке и управлению безопасностью, охватывающего процесс организации перевозок ЭРВ, выбора рациональных маршрутов транспортирования ЭРВ с учетом состояния элементов транспортной системы и возможного их «поражения» при возникновении негативных факторов.

На основе анализа исследований в области управления безопасностью с учетом современных требований управление безопасностью перевозок ЭРВ должно отвечать следующим принципам:

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

- управление безопасностью процесса организации перевозок ЭРВ должно носить системный характер;

- управление безопасностью процесса организации перевозок ЭРВ должно базироваться на необходимом объеме достоверной информации;

- при организации перевозок ЭРВ принимаемые решения должны учитывать объективные характеристики среды, в которой организация осуществляет свою деятельность (перевозки ЭРВ);

- управление безопасностью процесса организации перевозок ЭРВ должно предполагать текущий анализ эффективности принятых решений и оперативную корректировку набора используемых сил и средств при организации перевозок ЭРВ.

В настоящее время основная работа железнодорожной транспортной системы по доставке ЭРВ реализована путем выбора кратчайшего расстояния для маршрутов следования железнодорожного транспорта – эшелона. Такие маршруты сложились экономически обоснованно как логическое звено технологической цепочки от отправителя до получателя исторически. При этом достоверная информация о состоянии работы железнодорожной транспортной системы, состоянии ее элементов с точки зрения безопасности учитывалась в меньшей мере. Информация о состоянии работы элементов железнодорожной транспортной системы, как правило, поступает в виде сигналов датчиков контроля или от личного состава, работающего на этой системе и т.д. Поступающая информация имеет дискретный и субъективный характер и в конечном итоге информация о состоянии оборудования системы достаточна нечеткая и несвоевременная. Следует так же учитывать, что с течением времени исходя из объективных обстоятельств, с течением времени происходит обесценивание данной информации.

В рамках рассматриваемой задачи оценки безопасности перевозок элементов ракетного вооружения по территориям и отдельным маршрутам сети железных дорог с учетом разработанной обобщенной пространственно-графической модели организации перевозки элементов ракетного вооружения (ЭРВ) [1] рассмотрим следующие вопросы.

### **Категорирование территориальных зон сети железной дороги**

Категорирование территориальных зон осуществляется с целью дифференциации требований по их защите и охране, а также определе-

ния соответствия созданной системы безопасности транспортирования ЭРВ требуемому уровню достаточности мероприятий по защите и охране ЭРВ при транспортировании. Категорирование территориальных зон сети железных дорог – это условный индекс, характеризующий степень их потенциальной опасности и определяемый величиной социально-экономических последствий аварий на объекте. Принимая во внимание, что каждый конструктивный элемент и участок маршрута транспортирования ЭРВ имеет свою специфику, определяемую его составом, структурой и особенностями функционирования возникает необходимость в классификации (категорировании) по степени их потенциальной опасности.

При этом учитываются следующие характеристики и их комбинации:

- характеристики географического пространства (рельеф окружающей местности и участков маршрутов; природно-климатические условия; удаленность от других опасных объектов, населенных пунктов; численность задействованных людей и населения в прилегающей территории);

- структурные, пространственные характеристики объекта и характеристика его безопасности.

Общая последовательность определения категории территориальных зон (участков), маршрута транспортирования ЭРВ может быть представлена в следующей последовательности:

- сбор и анализ исходной информации о каждом конструктивном элементе в территориальной зоне маршрута транспортирования ЭРВ;

- формирование множества факторов, влияющих на безопасность эшелона на маршруте транспортирования ЭРВ;

- оценка возникновения опасной ситуации на конструктивном элементе территориальной зоны маршрута транспортирования ЭРВ;

- присвоение категории опасности территориальной зоне маршрута транспортирования ЭРВ.

Формирование множества факторов, влияющих на безопасность транспорта на маршруте транспортирования ЭРВ осуществляется с применением декомпозиции маршрута (территориальных зон), подвижного состава с ЭРВ, объектов прилегающей инфраструктуры, технологических процессов протекающих в ней и состояния окружающей среды. Каждая территориальная зона есть территориальный объект, в состав которой входят различные конструктивные элементы и проводятся соответствующие мероприятия. При этом источниками негативных и

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

других факторов могут выступать конструктивные элементы и объекты территориальных зон транспортной системы, объекты прилегающие к ним, а также производственные, технологические процессы, протекающие в них. Взаимное положение возможных источников негативных (поражающих) факторов относительно маршрута движения может быть различным. Эшелон может с определенной вероятностью попасть в зону поражения негативных факторов, которая зависит от относительного положения областей возможного возникновения опасного явления их частоты и площади зоны действия негативных факторов. Так как эшелон является перемещающимся объектом, то необходимо учитывать временной фактор действия негативных факторов от возможных источников. Для возможно действующих негативных факторов на эшелон временной фактор определяется временем, в течение которого эшелон может находиться в зоне действия негативных факторов (опасного события), и ограничен временем необходимым для обслуживания эшелона на каждой станции или перегоне. Для источников опасности, реализующихся в виде опасных событий, временный фактор учитывается как вероятность того что эшелон находится в зоне действия негативного фактора. В результате может быть сформировано множество

$$F_{Mi} = \{f_1, f_2, \dots, f_n\} \quad n=1, N$$

всех возможных негативных и других факторов, приводящих с нежелательным событиям при движении по территориальным зонам маршрута.

Оценка возникновения опасного события на конструктивном элементе территориальной зоны маршрута транспортирования ЭРВ, при-

водящей к возможному поражению транспорта с ЭРВ проводится на основе использования экспертно-статистического метода. Используя выше полученные сведения, рассмотрим процедуру оценки возникновения опасного события в территориальной зоне маршрута транспортирования ЭРВ на примере территориальной зоны – станции, включающей конструктивные элементы и участки транспортной инфраструктуры сети железной дороги, на которых эшелон находится не в движении и с ним производятся работы, предусмотренные условиями организации перевозок и нормативными документами.

Введем понятие коэффициента принадлежности  $r_{ij}$ , под которым будем понимать оцениваемую экспертным путем относительную частоту проявления  $n$ -го фактора на  $i$ -й территориальной зоне. Данная процедура выполняется группой  $K$  экспертов. Для наглядного представления результаты опроса группы из  $K$  экспертов формализуются в таблицу. Число столбцов таблицы равно числу возможных опасных ситуаций по множеству факторов

$$F_{Mi} = \{f_1, f_2, \dots, f_n\} \quad n=1, N,$$

влияющих на безопасность эшелона. Число строк данной таблицы определяется произведением  $N=K \cdot I$ , где  $I$  – конструктивные элементы и участки транспортной инфраструктуры территориальной зоны. Организационно таблица содержит  $K$  повторяющихся областей из строк, где  $k$ -ая область из  $I$  строк содержит результаты оценки  $k$ -ым экспертом ( $k \in \overline{1, K}$ ). В выбранной  $k$ -ой области на пересечении  $i$ -й строки и  $j$ -го столбца указывается оценка  $r_{ij}^k$ , данная  $K_i$  экспертом, возможности (условной вероятности) возникновения опасного события на дан-

Таблица 1

$M_j$ маршрут	$\mathcal{A}_i$ территориальная зона	Множество факторов $F_{Mi}$						Семантическая нагрузка, $C_{\mathcal{A}_i}$
		$f_1$	$f_2$	...	$f_n$	...	$f_N$	
$M_1$	$\mathcal{A}_1$	$w_{11}$	$w_{12}$	...	$w_{1n}$	...	$w_{1N}$	$C_{\mathcal{A}_1}$
	$\mathcal{A}_2$	$w_{21}$	$w_{22}$	...	$w_{2n}$	...	$w_{2N}$	$C_{\mathcal{A}_2}$
	...	...	...	...	...	...	...	...
	$\mathcal{A}_i$	$w_{i1}$	$w_{i2}$	...	$w_{in}$	...	$w_{iN}$	$C_{\mathcal{A}_i}$
	...	...	...	...	...	...	...	...
	$\mathcal{A}_I$	$w_{I1}$	$w_{I2}$	...	$w_{In}$	...	$w_{IN}$	$C_{\mathcal{A}_I}$
Информационная нагрузка		$C_{f1}$	$C_{f2}$	...	$C_{fn}$	...	$C_{fN}$	

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

ном участке или элементе пути по множеству факторов  $F_{Mi}$ .

Для получения групповой оценки необходимо получить усредненную оценку  $w_{ij}$  по каждой  $i$ -й территориальной зоне маршрута транспортирования ЭРВ, которая может быть рассчитана по формуле:

$$w_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^K r_{ij}}{K}. \quad (1)$$

В результате обработки результатов экспертного оценивания группы  $K_i$  экспертов возможности наступления опасного события по  $n$ -му фактору из множества

$$F_{Mi} = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}, n=1, N,$$

влияющего на безопасность эшелона формируются *таблица 1*.

На основе анализа таблицы будет сформирована матрица  $W$  «территориальная зона – опасное событие», которая формируется на результатах экспертного опроса:

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} \dots w_{1n} \dots w_{1N} \\ \dots \dots \dots \\ w_{i1} \dots w_{in} \dots w_{iN} \\ \dots \dots \dots \\ w_{I1} \dots w_{In} \dots w_{IN} \end{bmatrix}.$$

Информационная нагрузка  $C_{fn}$   $n$ -го фактора определяется общим количеством территориальных зон, на которых проявляется данный фактор независимо от его частоты:

$$C_{fn} = \sum \alpha \quad (2)$$

$\alpha = 0$ , если  $w_{in} = 0$ ,  $\alpha = 1$ , если  $w_{in} > 0$ .

Информационная нагрузка по  $n$ -му фактору дает возможность ранжировать факторы и в дальнейшем обосновать требования к повышению эффективности защиты эшелона по данному фактору.

Семантическая нагрузка  $C_{\vartheta_i}$  территориальной зоны дает возможность ранжировать территориальные зоны по частоте проявления факторов в этой зоне, что в свою очередь позволит оптимизировать состав территориальных зон маршрута транспортирования ЭРВ и в дальнейшем определить (скорректировать) значение уровня опасности территориальной зоны в процессе диагностирования маршрута транспортирования ЭРВ.

На основе полученных значений оценок  $w_{ij}$  для каждой  $i$ -й территориальной зоны маршрута транспортирования ЭРВ можно рассчитать семантическую нагрузку по множеству

$$F_{Mi} = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$$

по следующей формуле:

$$C_{\vartheta_i} = (\sum w_{in} \cdot \mu_{ni}) / N, \quad (3)$$

где  $N$  – мощность множества  $F_{Mi} = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$ ;  $w_{in}$  – значение усредненной оценки возможности наступления опасного события по  $f_n$  фактору из множества  $F_{Mi} = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$   $n=1, N$ , данная группой  $K_L$  экспертов.

$\mu_{ni}$  – оценка наличия (проявления)  $f_n$  фактора на  $i$ -ой территориальной зоне маршрута, т.е. характеризует факт его наличия или отсутствия. При наличии  $f_n$  фактора  $\mu_{ni} = 1$ , при его отсутствии 0.

Следует предположить, что в случае если в  $i$ -ой территориальной зоне маршрута проявляются все возможные  $f_n$  факторы из множества  $F_{Mi}$ , и значение усредненной оценки  $w_{in}$  по каждому фактору будет иметь значение 1, то данная  $i$ -ая территориальная зона маршрута будет иметь максимальную семантическую нагрузку  $C_{\vartheta_i}^{max}$ , т.е. иметь максимальный уровень опасности.

Рассматривая маршрут транспортирования ЭРВ как последовательное сочетание различных территориальных зон данная процедура оценки применяется и для территориальной зоны, на которой железнодорожный эшелон с ЭРВ находится в движении.

На основе полученных результатов по расчету семантической нагрузки территориальных зон маршрута проведем их упорядочивание (ранжирование) по уровню опасности. Ранжирование территориальных зон маршрута проводится с целью выделения для рассматриваемого варианта более высокий относительный вес по сравнению с другими территориальными зонами маршрута, участвующими в формировании маршрута. На основе полученных результатов экспертного опроса располагаем территориальные зоны в порядке возрастания их семантических нагрузок, т.е. по уровню их опасности  $C_{\vartheta_i}$ . Следует предположить, что среди всех территориальных зон по сравниваемому показателю –  $C_{\vartheta_i}$  могут быть эквивалентные, менее опасные и более опасные. Тогда упорядочивание всех территориальных зон по возрастанию их уровня опасности может иметь следующий вид:

$$\vartheta_1 \approx \vartheta_2 < \dots \vartheta_i < \dots \vartheta_I \\ C_{\vartheta_1} \approx C_{\vartheta_2} < \dots C_{\vartheta_i} < \dots C_{\vartheta_I}$$

При наличии возможных вариантов (альтернатив) маршрутов для организации перевозок ЭРВ необходимо оценить опасность каждого из этих маршрутов, путем получения семантической нагрузки маршрута  $C_{Mj}$ . Для этого будем использовать следующую формулу:

$$C_{Mj} = \Pi C_{\vartheta_i}^j, \quad (4)$$

где  $C_{\vartheta_i}$  – семантическая нагрузка (уровень опас-

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

ности)  $i$ -ой территориальной зоны, входящей в  $j$ -й маршрут транспортирования ЭРВ.

Тогда ранжирование всех маршрутов для организации перевозок ЭРВ по возрастанию их уровня опасности может иметь следующий вид:

$$M_1 > M_2 > M_3 > M_j > M_j \\ C_{m1} > C_{m2} > C_{m3} > C_{mj} > C_{m5}$$

Уровень безопасности  $j$ -го маршрута транспортирования ЭРВ, как величина обратная семантической нагрузки (уровню опасности)  $C_{mj}$ , может быть определен по следующей формуле:

$$Y_{mj} = 1 - C_{mj}, \quad (5)$$

### Оценка рисков и ущерба при транспортировании ЭРВ по территориям и отдельным маршрутам

Противоречивый момент в различных подходах к оцениванию рисков заключается в множестве определений самого понятия «риск». Риск толкуется и как опасность, и как вероятность неблагоприятного события (возможность потери), и как ожидаемый ущерб от неблагоприятного события, и как векторная величина, составляющими которой являются вероятность события и ущерб от события, и др. Применительно к решаемой задаче в качестве показателя используется величина риска  $R$  получения ущерба  $W$  при возникновении опасной ситуации при перевозке ЭРВ

$$R = P_{в.ос} \cdot W, \quad (6)$$

где  $P_{в.ос}$  – вероятность возникновения опасного события при транспортировке ЭРВ по маршруту;  
 $W$  – возможный ущерб при возникновении опасного события на маршруте транспортирования ЭРВ.

Оценка риска перевозки ЭРВ по конкретному маршруту  $R^{mj}$ , рассматриваемого как некоторую последовательность элементов и опасных участков, подверженных различным воздействиям, осуществляется по формуле:

$$R^{mj} = P_{в.ос}^{mj} \cdot W_j, \quad (7)$$

где  $P_{в.ос}^{mj}$  – вероятность возникновения опасного события при транспортировке ЭРВ по  $j$ -му маршруту транспортирования ЭРВ.

$W_j$  – возможный ущерб в случае возникновения и реализации опасного события на  $j$ -м маршруте транспортирования ЭРВ;

Для определения возможного ущерба  $W$  в случае наступления события, связанного с реализацией  $f_n$  фактора необходимо отметить следующее:

- ущерб  $W$  носит переменный характер, т.е. значение ущерба зависит от характеристик элемента или участка маршрута транспортирования ЭРВ на котором произошла аварийная ситуация, условий ее реализации, от характеристик стойкости ЭРВ к воздействию опасному фактору, времени действия, а также от состояния структуры окружающей среды;

- возможный ущерб  $W$  включает в себя: ущерб от потери ЭРВ и средств эксплуатации –  $W_{эrb}$ , ущерб транспортной системе ОАО «РЖД» –  $W_{эрт}$ , ущерб прилегающей инфраструктуре –  $W_u$ , ущерб от гибели людей (людских потерь) –  $W_z$  и т.д.;

- расчет ущерба для каждого события производится отдельно с учетом статистических данных о потерях.

Реализация рассмотренного подхода к оценке безопасности позволит на основе оперативной оценки безопасности маршрута транспортирования ЭРВ в условиях неустойчивой внешней обстановки, интенсификации перевозочного процесса, усложнения технического состояния железной дороги общего назначения осуществить выбор рациональных вариантов формирования маршрутов перевозки ЭРВ и выработать практические решения по обоснованию комплекса мероприятий по защите транспортного средства и ЭРВ, способствующих снижению риска и смягчению последствий возможных аварийных ситуаций.

### Литература

1. Попов А.Е., Мотасов Д.П. Обобщенная пространственно-графическая модель организации перевозки элементов ракетного вооружения по железным дорогам общего назначения // Известия Института инженерной физики, 2015. №1(35). С. 52-55.
2. Фомин Г.П. Математические методы и модели в коммерческой деятельности: учебник/ Г.П. Фомин. - 3-е изд., перераб. и доп. М.: Финансы и статистика, ИНФРА-М., 2009. 640 с.

# ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 621.59

## ОСОБЕННОСТИ АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КРИОГЕННЫХ СИСТЕМ И УСТАНОВОК С РЕЗЕРВНЫМИ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ FEATURES OF THE ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF CRYOGENIC SYSTEMS AND INSTALLATIONS BACKUP MODES

### Виктор Васильевич Редькин

*почетный работник науки и техники РФ,  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник*

ведущий научный сотрудник  
МОУ «ИИФ»

Адрес: 142210, Московская обл.,  
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а  
Тел.: +7(926)860-73-37  
E-mail: oniokr@mail.ru

### Максим Васильевич Кулик

научный сотрудник  
МОУ «ИИФ»

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

### Алексей Александрович Коробков

*кандидат технических наук, доцент  
начальник отдела планирования НИОКР  
МОУ «ИИФ»*

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

### Михаил Васильевич Козлов

*кандидат физико-математических наук, доцент  
доцент*

МГУ им. М.В. Ломоносова  
Адрес: 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1  
Тел.: +7(495)939-12-44  
E-mail: mmmf@mech.math.msu.su

### Анатолий Иванович Смородин

*доктор технических наук, профессор*

профессор

МГТУ им. Н.Э. Баумана  
Адрес: 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1  
Тел.: +7 (499) 263-63-91  
E-mail: smorodin38@rambler.ru

#### Аннотация

Современные криогенные системы, как и любые другие сложные системы повышенной опасности предъявляют высокие требования к надежности функционирования. В статье рассматривается один из способов повышения надежности – резервирование основных элементов системы, подразделяемый на резервирование идентичными или неидентичными элементами. В отличие от идентичного резервирования, где дублирование элементов осуществляется аналогичными, равнонадежными элементами, неидентичное резервирование подразумевает дублирование основных эффективных, но, зачастую, ненадежных элементов, резервными высоконадежными, но, часто менее эффективными элементами, что приводит к снижению фактической производительности системы. В результате термодинамический анализ криогенных систем необходимо проводить с учетом вероятностного анализа процесса функционирования.

**Ключевые слова:** вероятностный анализ эффективности функционирования, интенсивность отка-

зов, надежность, резервные режимы работы, эксергетическая производительность.

#### Summary

Modern cryogenic systems, like any other increased risk complex systems, impose high requirements for reliability. The article is focused on one of the ways to increase reliability – it is backing the major system components up, broken down by backing up with identical items and with non-identical ones. Unlike backing up with identical items, where redundancy is implemented by use of analogous equipment with the same level of reliability, backing up with non-identical items envisages backing up of major highly effective, but possibly non-reliable items with often less effective, but high reliable ones. This reduces effective capacity of systems. The result is that thermodynamic analysis of cryogenic systems shall be conducted accounting for the probabilistic analysis of performance efficiency.

**Key words:** probabilistic analysis of performance efficiency, failure rate, reliability, standby operation modes, exergy efficiency.

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

В создаваемых в настоящее время криогенных системах (КС) и криогенных установках (КУ), наряду с традиционными способами повышения надежности, используются резервные режимы работы [1, 5, 6, 8, 14, 15]. Особенность такого способа повышения надежности состоит в том, что он осуществляется за счет дублирования основных подсистем и элементов высоконадежными неидентичными подсистемами и элементами. Например, в криогенной установке КГУ-500/4,5-140 [14] термодинамически эффективный поршневой детандер дублируется дросселем, который, хотя и невыгоден с термодинамической точки зрения, однако значительно превосходит поршневой детандер по надежности.

В результате термодинамическая эффективность системы при переходе с основного (номинального) режима работы на резервные значительно падает [14, 15]. В связи с этим фактическая производительность системы будет ниже номинальной. Отметим также, что существенное влияние на эффективность функционирования системы оказывают и условия обслуживания. Следовательно, применяющиеся в термодинамическом анализе показатели эффективности функционирования, такие, как эксергетический КПД, эксергетическая производительность, холодопроизводительность и другие [2, 7, 10, 18], для КС и КУ с резервными режимами работы должны определяться с учетом возникающих из-за отказов оборудования случайных спадов производительности при работе системы в резервных (неоптимальных) режимах. Для этого необходимо термодинамический анализ дополнить процедурой вероятностного анализа процесса функционирования КС и КУ

Рассмотрению особенностей анализа эффективности функционирования КС и КУ, основанного на сочетании термодинамического и вероятностного аппаратов исследования систем, и посвящена настоящая работа.

Пусть рассматриваемая система (КС или КУ) имеет  $n$  возможных состояний (режимов функционирования)  $S_0, S_1, \dots, S_n$ . Назовем вероятностью  $i$ -го состояния вероятность  $P_i$  того, что в момент времени  $t$  система будет находиться в состоянии  $S_i$ , причем каждое состояние определяется как совокупность состояний элементов системы. При этом для любого момента времени эти состояния образуют полное поле событий, так что сумма всех вероятностей состояний  $S_0, S_1, \dots, S_n$ , равна единице [5]

$$\sum_{i=0}^n P_i = 1 \quad (1)$$

Тогда выходной эффект системы согласно работам [3-6, 9, 12] оценивается величиной его математического ожидания

$$\bar{\Phi} = \sum_{i=0}^n P_i \cdot \Phi_i, \quad (2)$$

где  $P_i$  – вероятность нахождения системы в  $i$ -м состоянии (режиме);

$\Phi_i$  – выходной эффект, соответствующий  $i$ -му состоянию (режиму);

$n$  – число возможных состояний (режимов) системы (простой системы можно рассматривать как режим функционирования с нулевой производительностью).

Вероятность  $P_i$  легко найти в случае длительной эксплуатации системы, когда можно полагать, что она вышла на стационарный режим [4, 5]. В этих условиях вероятность пребывания системы в  $i$ -м состоянии не зависит от момента времени, то есть  $P_i$  является стационарной вероятностью.

В качестве выходного эффекта  $\Phi$  при анализе КС и КУ обычно используют следующие характеристики: производительность по продуктам разделения исходной газовой смеси, производительность по сжиженному газу, а также эксергетическую производительность. Последняя характеристика является единым обобщенным показателем выходного эффекта КС, поскольку она учитывает качество и количество получаемых продуктов как в виде работы, теплового потока, так и потоков рабочего тела при заданных параметрах [2]. Для математического ожидания эксергетической производительности КС  $\bar{N}_{ex}$  с учетом (2) можно записать:

$$\bar{N}_{ex} = \sum_{i=0}^n P_i \cdot (N_{ex})_i, \quad (3)$$

где  $(N_{ex})_i$  – эксергетическая производительность (выходной эффект) КС в  $i$ -м режиме; состояние  $i=0$  отвечает основному (номинальному) режиму;

$P_i$  – стационарная вероятность  $i$ -го состояния.

Введем коэффициент средних потерь эксергетической производительности КС или КУ из-за случайных отклонений режима ее работы от номинального. Обозначим его через  $\sigma_n$

$$\sigma_n = \frac{(N_{ex})_0 - \bar{N}_{ex}}{(N_{ex})_0}, \quad (4)$$

где  $(N_{ex})_0$  – эксергетическая производительность КС при работе в номинальном режиме.

Если обозначить долю эксергетической производительности системы, которую она реализует в  $i$ -м режиме, через  $D_i$

# ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

$$D_i = (N_{ex})_i / (N_{ex})_0, \quad (5)$$

то выражение (3) примет вид

$$\bar{N}_{ex} = (N_{ex})_0 \cdot \sum_{i=0}^n D_i \cdot p_i, \quad (6)$$

На основании выражений (4) и (6) можно записать

$$\sigma_n = 1 - \sum_{i=0}^n D_i \cdot p_i, \quad (7)$$

величина  $(1 - \sigma_n)$ , в соответствии с общим подходом к оценке эффективности сложных систем в стохастических условиях функционирования [6], может быть названа коэффициентом сохранения термодинамической эффективности криогенных систем и установок ( $K_{смз}$ ):

$$K_{смз} = 1 - \sigma_n \quad (8)$$

Теперь введем средний эксергетический КПД ( $\bar{\eta}$ )

$$\bar{\eta} = \frac{\bar{N}_{ex}}{\bar{A}_{ex}}, \quad (9)$$

где  $\bar{A}_{ex}$  – средние затраты эксергии в единицу времени.

В свою очередь,

$$\bar{A}_{ex} = \sum_{i=0}^n p_i \cdot (A_{ex})_i, \quad (10)$$

С помощью  $\bar{A}_{ex}$  можно найти среднегодовые затраты КС на электроэнергию

$$\bar{E} = \tau \cdot u_{ex} \cdot \bar{A}_{ex}, \quad (11)$$

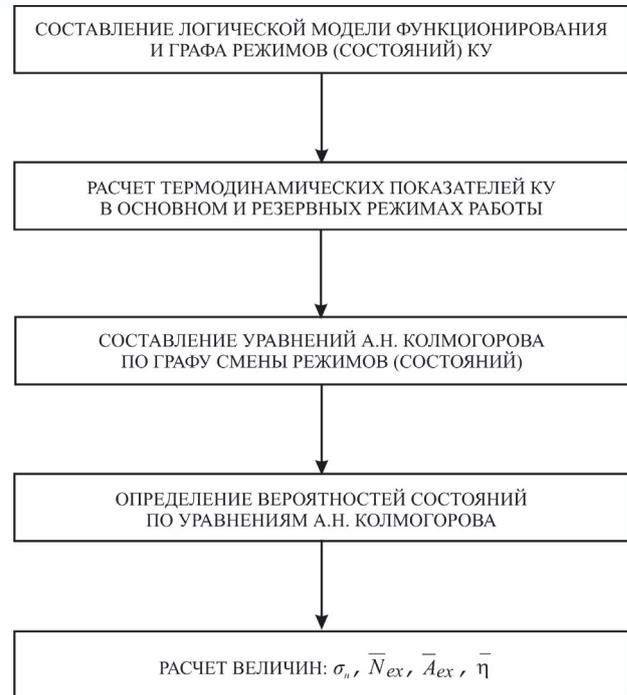
где  $\tau$  – время работы КС в течение года;  
 $u_{ex}$  – цена 1 кВт·ч.

С помощью полученных выражений для  $\sigma_n$ ,  $\bar{\eta}$ ,  $\bar{N}_{ex}$ ,  $\bar{A}_{ex}$ ,  $\bar{E}$ , а также методики расчета вероятностей состояний КС и КУ по схеме марковских случайных процессов [4, 5], применимой в рамках сравнительного анализа подобных вариантов КС [11], была составлена и реализована формализованная процедура комплексного термодинамического и вероятностного анализа КС и КУ, блок-схема которого дана на рисунке 1.

На примере анализа эффективности рефрижератора с влажно-паровым детандером в степени окончательного охлаждения [16] было показано, что в зависимости от интенсивностей отказов и восстановлений, а также условий обслуживания средние внеплановые потери эксергетической производительности установки могут колебаться в диапазоне от 8 до 33 % от номинала. Соответственно будет ниже и значение  $\bar{\eta}$ .

В заключение отметим, что для принятия окончательного решения о выборе того или иного варианта КС, кроме величин  $\bar{\eta}$ ,  $\bar{N}_{ex}$ ,  $\bar{A}_{ex}$ , должны быть сопоставлены и другие показатели качества сравниваемых вариантов системы, в

том числе показатели живучести [6] и теплотехнической надежности [17].



**Рис. 1.** Алгоритм анализа эффективности функционирования КУ с резервными режимами работы (по схеме марковских случайных процессов).

## Выводы

1. Для оценки эффективности функционирования криогенных систем с резервными режимами работы предложено термодинамический анализ проводить с учетом возникающих из-за отказов оборудования случайных спадов производительности при работе системы в резервных режимах, а также с учетом условий обслуживания системы.

2. В работе получены зависимости, устанавливающие связь вероятностей состояний криогенных систем и установок со средней эксергетической производительностью, средними затратами эксергии, среднегодовыми затратами на энергию, средним эксергетическим КПД, коэффициентом сохранения термодинамической эффективности КУ.

## Литература

1. Беляков В.П. Криогенная техника и технология. М.: Энергоиздат, 1982. 272 с.
2. Бродянский В.М., Семенов АМ. Термодинамические основы криогенной техники. М.: Энергия, 1980. 448 с.
3. Бусленко Н.В. Исследование сложных систем. М.: Наука, 1971. 400 с.
4. Вентцель Е.С. Исследование операций. М.: Сов. радио, 1972. 552 с.

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

5. Гнеденко Б.В., Соловьев А.Д., Беляев Ю.К. Математические методы в теории надежности. М.: Наука, 1966. 524 с.
6. Надежность технических систем: Справочник / Ю.К. Беляев и др. Под ред. И.А. Ушакова. М.: Радио и связь, 1985. 608 с.
7. Криогенные системы: Учебник. В 2 т. Т. 1. Основы и теории расчета / А.М. Архаров, И.В. Марфенина, Е.И. Микулин. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1996. 576 с.
8. Криогенные системы: Учебник. В 2 т. Т. 2. Основы проектирования аппаратов, установок и систем / А.М. Архаров, И.А. Архаров, В.П. Беляков и др.: Под общей ред. А.М. Архарова и А.И. Смородина. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1999. 720 с.
9. Кафаров В.В., Мешалкин В.П. Надежность оборудования и технологических схем химических и нефтехимических производств: Итоги науки и техники. М.: 1979, №7. 129 с.
10. Мартыновский В.С. Анализ действительных термодинамических циклов. М.: Энергия, 1972. 215 с.
11. Методические указания по оценке технического уровня и качества промышленной продукции (РД-50-149-79). М.: Изд-во стандартов, 1979. 124 с.
12. Ильичев А.В. и др. Эффективность проектируемых элементов сложных систем: Учебное пособие. М.: Высшая школа, 1982. 280 с.
13. Соловьев А.Д. Основы математической теории надежности. Вып. 1-3. М.: Знание, 1975.
14. Криогенное оборудование: Каталог. М.: ЦНИИхимнефтемаш, 1980. 88 с.
15. Vander P.C. Helium Refrigeration System for Fermilab Energy Doubler – Advances in Cryogenics Engineering, 1978, v. 23, p. 420- 430.
16. Редькин В.В., Козлов М.В., Матюхин В.Г. Основные положения методики анализа эффективности многорежимных криогенных систем с учетом спадов производительности. Рукопись деп. в ЦИНТИхимнефтемаш 24 авг. 1982, №867. Деп. 11 с.
17. Дмитриев С.М., Баринов А.А., Бородин В.Е., Хробостов А.Е. К вопросу о методологии обоснования теплотехнической надежности активных зон водяных энергетических реакторов. Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева, 2014. №2(104). С. 98-107.
18. Микулин Е.И., Козлов М.В., Лагутин М.Б., Редькин В.В. Выбор принципиальных структурных схем азотных и воздушных рефрижераторных установок для реконденсации паров и охлаждения больших количеств криогенных жидкостей // Известия Института инженерной физики, 2011. №4(22). С. 69-73.

УДК 612.017.3

## ПАТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ОСТРОЙ АНАФИЛАКСИИ PATHOGENETIC MECHANISMS OF ACUTE ANAPHYLAXIS

**Николай Антонович Дидковский**

заслуженный врач России  
доктор медицинских наук, профессор  
заведующий лабораторией клинической  
иммунологии  
НИИ физико-химической медицины  
ФМБА России  
Адрес: 119435, Москва,  
ул. Малая Пироговская, д. 1а  
Тел.: +7(499)246-44-09  
E-mail: didkovskinic@gmail.com

**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

**Ирина Константиновна Малашенкова**

кандидат медицинских наук  
начальник лаборатории иммунологии  
и вирусологии  
НИЦ «Курчатовский институт»  
Адрес: 123098, Москва,  
пл. Академика Курчатова, д. 1  
Тел.: +7(499)196-96-39  
E-mail: malashenkova.irina@bk.ru

**Сергей Андреевич Крынский**

ординатор лаборатории клинической  
иммунологии  
НИИ физико-химической медицины  
ФМБА России  
Адрес: 119435, Москва,  
ул. Малая Пироговская, д. 1а  
Тел.: +7(499)246-44-09  
E-mail: srgkr002@gmail.com

### Аннотация

В статье представлены патогенетические механизмы развития тяжелых анафилактической и анафилактоидной (псевдоаллергической) реакций, требующих оказания неотложной медицинской помощи. Представлены современные данные о генетической предрасположенности к анафилаксии и приводятся основные классы лекарственных средств, применение которых может осложняться развитием анафилактоидных реакций.

**Ключевые слова:** анафилаксия; анафилактоидная реакция; гистамин; псевдоаллергия; комплемент-зависимая реакция; триптаза; генетические полиморфизмы анафилаксии.

### Summary

The article presents the pathogenetic mechanisms of anaphylactic and anaphylactoid (pseudoallergic) reactions, which require urgent medical assistance. Modern data on genetic susceptibility to anaphylaxis and basic classes of drugs, the use of which may be complicated by the development of anaphylactoid reactions.

**Key words:** anaphylaxis; anaphylactoid reactions; histamine; pseudoallergy; complement-dependent reaction; tryptase; Genetic polymorphisms of anaphylaxis.

## СОВРЕМЕННАЯ МЕДИЦИНА И ФАРМАЦЕВТИКА

Термин «анафилаксия» происходит от греческих корней «анна» и «филаксис» и переводится как «противозащита». Согласно рекомендации номенклатурного Комитета Европейской Академии Аллергологии и Клинической Иммунологии (ЕААСИ), анафилактический шок явля-

ется тяжелой, угрожающей жизни генерализованной или системной реакцией гиперчувствительности немедленного типа. В основе анафилаксии могут лежать как иммунологические (IgE-зависимый, иммунный комплекс / комплемент-опосредованный), так и неиммунологи-

**Таблица 1**

Генетические полиморфизмы, ассоциированные с риском развития анафилактических реакций

Функция	Ген	Влияние на частоту анафилаксии
Компоненты физиологических барьеров	Филаггрин	Повышен риск аллергических реакций, в том числе анафилаксии
Гены врожденного иммунитета	NLRP3: SNPs (rs4612666 и rs10754558)	Достоверная связь с пищевой анафилаксией
Гены врожденного иммунитета, регулирующие функции тучных клеток	C-KIT	Мутации ассоциированы с анафилаксией при укусах перепончатокрылых и, возможно, с идиопатической анафилаксией
	SWAP-70	У мышей с мутациями данного гена резко повышена склонность к анафилаксии
	PAF V279F обнаруживается более чем у 30% больных из Японии	Мутации повышают риск различных воспалительных заболеваний у жителей Японии
	Sphk1	Рецепторы сфингозин-1-фосфата играют важную роль в регуляции дегрануляции базофилов
	Rcan	Кодирует белок Rcan1, недавно открытый отрицательный регулятор FcεRI-зависимой активации тучных клеток
	CCRL2	Повышает отек тканей и лейкоцитарную инфильтрацию
Гены адаптивного иммунитета	STAT-6 (13/15-GT)	Полиморфизмы встречаются чаще у детей из Японии с аллергическими заболеваниями
	IL-4 (Ile75Val)	Отмечена связь с аллергическими заболеваниями, особенно у женщин
	IL-4-C590T	Связь с анафилактическими реакциями, вызванными физической нагрузкой, с сенсibilизацией к антигенам злаковых
	IL-10 (819 C > T)	Ассоциируется с аллергическими реакциями на бета-лактамы антибиотики
	IL-13, 18 (IL13 -1055, IL18 -607 и IL18 -656)	Полиморфизмы ассоциируются с аллергией на латекс
Функция неизвестна	DOCK8	Отсутствие экспрессии DOCK8 ассоциируется с тяжелыми аллергическими реакциями и анафилаксией

## СОВРЕМЕННАЯ МЕДИЦИНА И ФАРМАЦЕВТИКА

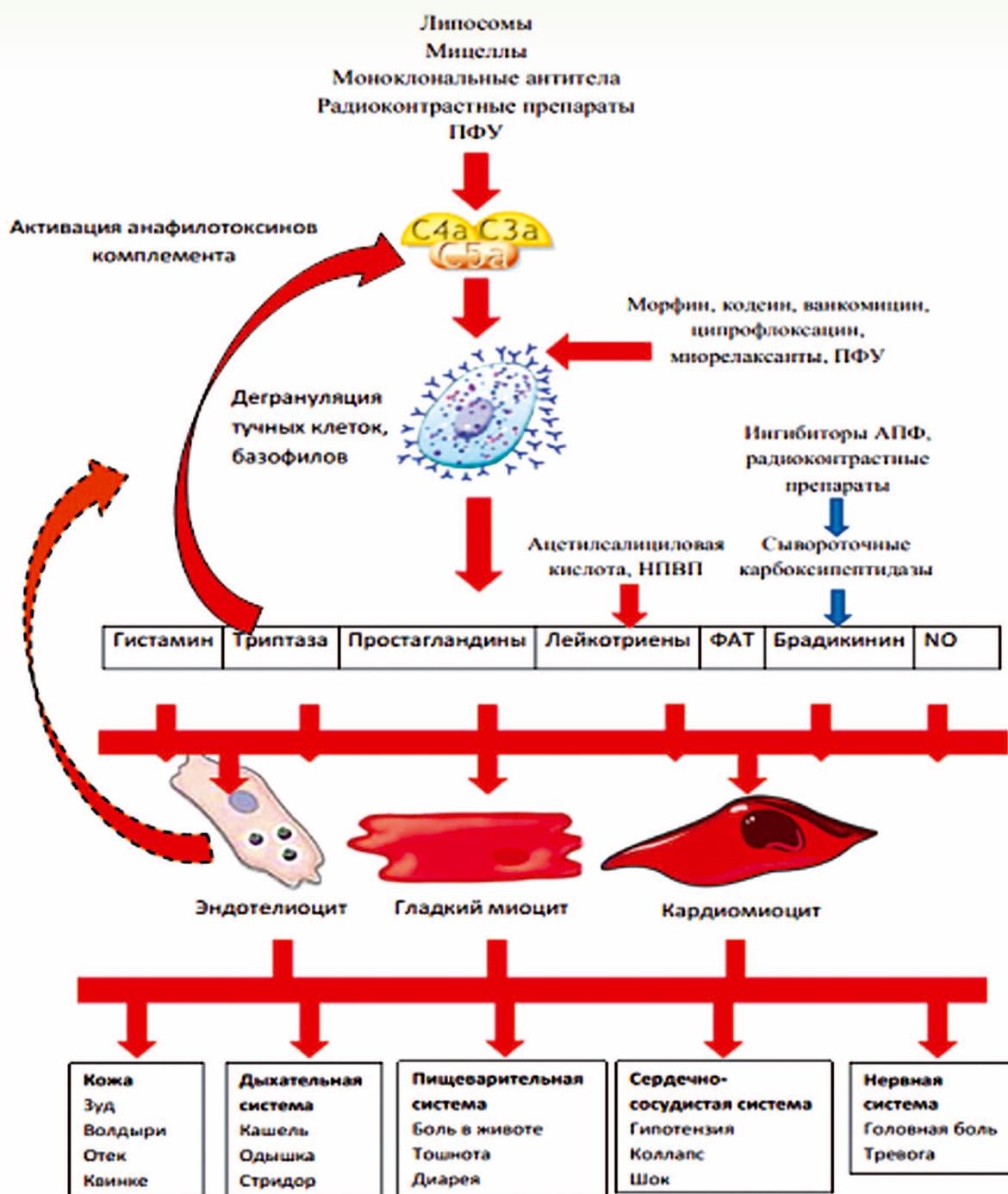


Рис. 1. Патогенез анафилактоидных реакций

ческие механизмы (псевдоаллергия). В последнем случае анафилаксия вызывается агентами или событиями, которые приводят к внезапной и массовой дегрануляции тучных клеток или базофилов без участия иммуноглобулинов. По классификации, основанной на времени наступления и ходе развития анафилактической реакции, выделяют однофазную, двухфазную или длительную анафилаксию. В качестве триггеров

для анафилаксии описаны разнообразные факторы, однако, наиболее часто выявляются пищевые, лекарственные препараты и яды.

Первый зарегистрированный эпизод анафилаксии относится к иероглифической записи 2640 г. до н.э. – смерти египетского фараона после укуса осы. По данным рабочей группы «Эпидемиология анафилаксии» (Американский колледж аллергии, астмы и иммунологии), об-

## СОВРЕМЕННАЯ МЕДИЦИНА И ФАРМАЦЕВТИКА

**Таблица 2**

Лекарственные препараты, вызывающие псевдоаллергические реакции

Липосомы	Мицеллы	Антитела	ПЭГилиро- ванные белки	Контрастные среды	Ферменты / белки / пептиды	Прочие
Абелсет	Циклоспорин	Авастин	Адаген	Диатризоат	Аббокиназа	Ингибиторы АПФ
Амбизом	Элитек	Кэмпас	Неуласта	Йодипанид	АСН	Блокаторы АР
Амфотек/ Амфоцил	Этопозид	Эрбитукс	Онкаспар, Пегаспаргас	Йодиксанол	Актиммун	Аспирин
Даунозом	Фастурек	Герцептин		Йохенол	Активаз	Кансидас
Доксил, Келикс	Таксол	Инфликсимаб		Йопамидол	Алдуразим	Копаксон
Миосет	Таксотер	Мурономаб		Йопромид	Авонекс	Кортикостероиды
Визудин	Вумон	Милотарг		Йоталамат	Фастуртек	Циклофлоксацин
		Ремикейд		Йоверсол	Неуласта	Элоксатин
		Ритуксан		Йоксаглат	Нейпоген	Интралипид
		Вектибикс		Йоксилан	Пленакис	Опиаты
		Ксолар		Магневист	Протамин	Абатацепт
				Метризамид	Урокиназа	Салицилаты
				Соновью	Зевалин	Ванкомицин

щая частота эпизодов анафилаксии колеблется в широких пределах – от 30 до 950 случаев на 100 000 человек в год.

Ряд генетических полиморфизмов, определяющих состояние врожденного и адаптивного иммунитета, регулирующих функции тучных клеток, ассоциированные с риском развития анафилаксии (M. Ben-Shoshan, A.E. Clarke, 2011), представлены в *таблице 1*.

Аллергическая реакция I типа, IgE-опосредованная реакция, инициируется взаимодействием антигена (аллергена) с Fc рецептором аллерген-специфического IgE на мембране тучных клеток и/или базофилов. Дифференцировка В-лимфоцитов в IgE-продуцирующие клетки происходит под воздействием интерлейкинов (ИЛ-4 и ИЛ-13), продуцируемых CD4-Т-хелперами (Th2 клетки). Взаимодействие аллергена с молекулой IgE, специфичной для данного аллергена инициирует внутриклеточный сигналинг в тучных клетках и базофилах и вызывает их дегрануляцию с выделением первичных медиаторов аллергии, таких как гистамин, гепарин, серотонин, химаза, триптаза, хемотак-

сический фактор эозинофилов, хемотаксический фактор нейтрофилов. Эти посредники, действуя либо непосредственно на ткани, либо косвенно, активируя эозинофилы, ответственны за симптомы аллергии.

Диагноз анафилаксии большей частью основан на клинических данных (Н.А. Дидковский, И.К. Малашенкова, 2011). Однако он может быть подтвержден рядом лабораторных тестов. В настоящее время существует два лабораторных маркера анафилаксии: повышение уровня триптазы сыворотки и уровня гистамина в плазме.

Патогенез комплемент-зависимых реакций гиперчувствительности (Complement activation-related pseudoallergy (CARPA) без участия IgE или иммунных комплексов связан с выраженными анафилотоксическими свойствами компонентов комплемента C3a и C5a. (*рисунок 1*).

Начиная с 2000 года обнаружилось, что комплемент-зависимые реакции свойственны таким новым лекарственным формам, как липосомы, мицеллы, ПЭГилированные белки. Так, активация комплемента в отсутствие образования иммунных комплексов была впервые выяв-

## СОВРЕМЕННАЯ МЕДИЦИНА И ФАРМАЦЕВТИКА

лена при развитии арахис-индуцированной анафилаксии. Прямая активация тучных клеток и / или базофилов описана как «синдром красного человека» при реакции на ванкомицин. Прямую дегрануляцию тучных клеток могут вызывать опиаты. Лекарственные препараты из группы ингибиторов ангиотензин-превращающего фермента (капроприл, лизиноприл, периндоприл, рамиприл, моексиприл и др.) в ряде случаев при длительном применении вызывают анафилактоидные реакции или изолированный отек Квинке вследствие чрезмерного синтеза и / или накопления брадикинина. В 2008 году FDA США определило «пересульфатированный хондроитин сульфат» в качестве загрязнителя гепарина, выпускаемого в Китае. Указанный загрязнитель вызвал прямую активацию калликреин-кининового пути с генерацией брадикинина, C3a и C5a.

Еще раньше было обнаружено, что комплемент-зависимую гиперчувствительность могут вызывать рентгеноконтрастные вещества. В *таблице 2* приведен список препаратов, наиболее часто вызывающих комплемент-зависимую гиперчувствительность.

### Заключение

В настоящее время имеется достаточно оснований считать, что развитие псевдоаллергических (анафилактоидных) реакций нередко встречается в клинической практике при применении современных препаратов, разработанных с использованием наномедицинских технологий (J. Szebeni, 2014): магнитных липосом для адресной доставки лекарств, солюбилизиро-

ванных мицелл, ПЭГилированных белков и др. Анафилактоидная реакция при использовании эмульсий перфторуглеродов может быть связана со следующими механизмами. Во-первых, в результате применения искусственных эмульгаторов (сурфактантов) может развиваться реакция анафилаксии с активацией комплемента. Во-вторых, гидрофобное действующее вещество эмульсии (перфторуглерод) непосредственно после введения может вызывать активацию тучных клеток и других клеток РЭС посредством встраивания перфторуглеродов в цитоплазматические мембраны и изменения проницаемости ионных каналов, результатом чего может быть выброс гистамина и провоспалительных цитокинов. Кроме того, анафилактоидные реакции при введении перфторуглеродов могут быть частично опосредованы прямой активацией компонентов комплемента действующим веществом. Необходимы дальнейшие исследования по уточнению механизмов развития анафилаксии, роли генетической предрасположенности при применении перфторуглеродов, для разработки эффективных методов профилактики этого грозного осложнения.

### Литература

1. Дидковский Н.А., Малашенкова И.К. Лоратадин (Кларидол) в терапии аллергических и псевдоаллергических заболеваний // Российский медицинский журнал, 2011. №18. С. 1156-1158.
2. Ben-Shoshan M., Clarke A.E. Anaphylaxis: past, present and future // Allergy. 2011. №66, P. 1-15.
3. Szebeni J. Complement activation-related pseudo-allergy: a stress reaction in blood triggered by nanomedicines and biologicals // Mol Immunol. 2014. №61(2), P. 163-73.



УДК 615.038

## ПОБОЧНЫЕ ЭФФЕКТЫ ВНУТРИВЕННОГО ВВЕДЕНИЯ ПЕРФТОРАНА SIDE EFFECTS INTRAVENOUS ADMINISTRATION «PERFTORAN»

**Наталья Борисовна Кармен**

*доктор медицинских наук*

старший научный сотрудник  
Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки «Институт теоретической и  
экспериментальной биофизики»  
Российской академии наук

Адрес: 142290, Московская обл., г. Пущино,  
ул. Институтская, д. 3  
Тел.: +7(495)632-78-69

старший научный сотрудник  
Федеральное казенное учреждение  
здравоохранения «Главный клинический  
госпиталь МВД РФ»

Адрес: 123060, Москва,  
ул. Народного Ополчения, д. 35  
Тел.: +7(499)192-06-16 E-mail: n.karmen@yandex

**Амин Магомедович Закаров**

*кандидат медицинских наук*

младший научный сотрудник  
Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки «Институт теоретической и  
экспериментальной биофизики»  
Российской академии наук

Адрес: 142290, Московская обл., г. Пущино,  
ул. Институтская, д. 3  
Тел.: +7(495)768-68-38 E-mail: 7686838@mail.ru

**Людмила Андреевна Богданова**

*кандидат медицинских наук*

старший научный сотрудник  
МОУ «ИИФ»

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

старший научный сотрудник  
Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки «Институт теоретической и  
экспериментальной биофизики» РАН

Адрес: 142290, Московская обл., г. Пущино,  
ул. Институтская, д. 3  
Тел.: +7(495)632-78-69 E-mail: milabog24@yandex.ru

### Аннотация

В статье рассматриваются причины развития осложнений при внутривенном введении перфторана, алгоритмы профилактики проявлений этих осложнений и условия безопасного внутривенного введения препарата.

**Ключевые слова:** перфторан, реактогенность, осложнения, профилактика.

### Summary

The article examines the causes of complications when administered intravenously «Perftoran», algorithms preventing manifestations of these complications and conditions of safe intravenous administration of the drug.

**Key words:** : «Perftoran», reactogenicity, complications, prevention.

Реактогенность перфторана и возможность профилактики осложнений при внутривенном введении препарата остаются насущными проблемами при оказании экстренной и плановой медицинской помощи. Острота и актуальность проблемы особенно велики в связи с широтой показаний к использованию препарата в клинической медицине: это, прежде всего, шоки различного генеза, кровопотеря, множественная,

сочетанная и комбинированная травмы, заболевания и повреждения центральной и периферической нервной систем, облитерирующие заболевания сосудов (атеросклероз, сахарный диабет), полиорганная недостаточность, жировая эмболия сосудов, перфузионная защита органов и тканей (кардиохирургия, трансплантология), острые отравления, циррозы печени различного генеза, длительно незаживающие раны и про-

## СОВРЕМЕННАЯ МЕДИЦИНА И ФАРМАЦЕВТИКА

лежни, реконструктивная челюстно-лицевая хирургия, наркология и т.п. [1-10].

Многолетнее общение с профессиональной медицинской аудиторией, активно использующей перфторан при оказании экстренной и плановой медицинской помощи, и собственный опыт клинического использования перфторана свидетельствуют о том, что среди большинства врачей при положительном опыте его использования и, тем более, без такового, основным препятствием в широком использовании перфторана является опасность развития побочных реакций (реактогенности). Относительно высокий процент развития побочных реакций – от 1-до 7%, становится непреодолимым препятствием, стимулируют поиск и использование более безопасных, хотя и существенно менее эффективных препаратов. Среди побочных эффектов перфторана наиболее часто встречается гиперемия кожных покровов (98,4%). К более редким видам осложнений относятся головная боль (8,1%) и повышение температуры тела (2,4%). Еще более редкий вид осложнений – боли в грудной клетке и затруднение дыхания (1,1%), боли в пояснице пульсирующего характера (0,6%), резкое снижение артериального давления (0,3%).

Собственный 15-летний опыт использования перфторана при различной патологии показал, что кратковременное изменение цвета кожных покровов (гиперемия) наблюдается практически у всех больных, что связано в расширением сосудов микроциркуляторного русла и не может быть отнесено к нежелательным побочным эффектам препарата, т.к. является прямым следствием воздействия препарата на микроциркуляцию и тонус сосудов. В учтенной практике внутривенного использования перфторана у 427 больных нами зарегистрированы следующие побочные реакции: затруднение дыхания у 2 больных (0,47%), боли в пояснице у 3 больных (0,70%).

С целью профилактики побочных эффектов внутривенного введения перфторана мы использовали специальный алгоритм «премедикации». Непосредственно перед введением перфторана внутривенно капельно вводили 200-400 мл 0,9% раствора натрия хлорида с 10-20 мл 10% раствора хлорида кальция. При наличии в анамнезе больного сведений об имеющейся аллергии (пищевая, поллиноз, медикаментозная и пр.) внутривенно или внутримышечно вводили любой противоаллергический антигистаминный препарат (супрастин, тавегил и т.п.) и/или дексаметазон (1-2 мл).

Перед введением препарата **всегда** (!) должна проводиться биологическая проба (согласно

приказа МЗ РФ от 25 ноября 2002 г. № 363 «Об утверждении инструкции по применению компонентов крови»). Надо отметить, что, как правило, реакции на введение перфторана появляются уже при первых введенных в сосудистое русло каплях препарата, что дает возможность принять безотлагательные меры по купированию этих реакций. На основании анализа опыта трансфузиологов и реаниматологов мы пришли к заключению, что вероятность развития тяжелых реакций уменьшается, если плеторическое введение перфторана (на фоне сохранного объема циркулирующей крови) проводить с малой скоростью не более 10-16 капель в минуту. В некоторых случаях (статистики по этим эпизодам нет) на фоне штатно протекающей инфузии наблюдалось появление симптомов, характеризующихся как признаки реактогенности препарата. В таких ситуациях дополнительно положительно сказывались следующие меры: введение 2-4 мл дексаметазона и снижение скорости введения перфторана до 3-5 капель в минуту, при отсутствии положительного эффекта введение препарата прерывалось на несколько минут, после чего можно было продолжить инфузию с малой скоростью порядка 10-12 капель в минуту. Если симптомы реактогенности препарата не купируются или резко выражены, то введение перфторана необходимо прекратить, провести комплекс мероприятий, предписываемых для купирования анафилактических реакций, стимуляции дыхательного центра и поддержания сердечной деятельности.

Единственная категория больных, у которых перфторан не должен вводиться **внутривенно** ни при каких условиях – это больные с активными аутоиммунными заболеваниями, у которых на введение препарата могут наблюдаться очень тяжелые анафилактические реакции вплоть до остановки дыхания.

Анализ сообщений врачей различных ЛПУ РФ о наблюдаемых побочных эффектах при внутривенном введении перфторана свидетельствует о том, что подавляющее большинство реакций развивалось в тех случаях, когда использовали некондиционный препарат: помутневший, белесоватого цвета вместо голубоватого опалесцирующего после размораживания, или с легким осадком. Это визуально определяемые отклонения во внешнем виде являются следствием нарушения условий хранения, транспортировки, результатом многократного оттаивания и повторного замораживания с интервалом между сеансами замораживания в несколько часов и излишней тряской размороженного препарата, поспешного размораживания и перегрева

препарата, то есть элементарных условий подготовки к внутривенному введению, изложенных в инструкции по применению перфторана, утвержденной Департаментом Государственного контроля лекарственных средств и медицинской техники МЗ РФ от 24 декабря 2002 г. и нарушении требований приказа МЗ РФ от 25 ноября 2002 г. № 363. Соблюдение условий хранения и транспортировки, а также несложных в исполнении условий согласно инструкции является залогом безопасного введения препарата. В этом отношении клинический опыт врачей ГБУЗ НИИ скорой помощи им. И.И. Джанелидзе в Санкт-Петербурге и ФГБУ «Центр реабилитации» Управления делами Президента РФ в Кубинке может быть образцом scrupulous соблюдения инструкции, позволившем практически полностью избежать появления сколь угодно серьезных нежелательных реакций при многолетнем применении перфторана для лечения облитерирующих заболеваний сосудов.

### Литература

1. Багненко С.Ф., Мойсюк Я.Г., Резник О.Н. Противоишемическая защита почек у асистолических доноров с применением перфторана «in situ» // Перфторуглеродные соединения в медицине и биологии. Пушино, 2004. С. 76-88.
2. Бурякова Л.В., Цепков А.А., Шлык И.В. и др. Эффективность применения перфторана у больных с тяжелой термической травмой // Перфторуглеродные соединения в медицине и биологии. Пушино, 2004. С. 69-76.
3. Вершигора А.В., Гирина О.Н., Киржнер Г.Д. Результаты годичного наблюдения за пациентами, перенесшими острый инфаркт миокарда и получившими на догоспитальном этапе стандартное лечение, дополненное перфтораном // Перфторуглеродные соединения в медицине и биологии. Пушино, 2004. С. 105-108.
4. Гвак Г.В., Ковальчук Д.А., Еременко В.Г. и др. Перфторан в коррекции интраоперационной кровопотери у детей // Перфторуглеродные соединения в медицине и биологии. Пушино, 2004. С. 116-121.
5. Дурново Е.А., Фурман И.В., Ипполитов В.П. и др. Опыт применения перфторана в комплексном лечении одонтогенных флегмон челюстно-лицевой области // Перфторуглеродные соединения в медицине и биологии. Пушино, 2004. С. 93-97.
6. Жартыбаев Р.И., Рыс-Улы М.Р. Клинико-цитологические исследования применения перфторана для лечения заболеваний пародонта у больных сахарным диабетом // Перфторуглеродные соединения в медицине и биологии. Пушино, 2004. С. 137-139.
7. Клигуненко Е.Н., Мариноха Г.Д., Гусакова О.А., Верзунина Е.В. Перфторан – как средство для профилактики СПОН у больных с массивными гемотрансфузиями // Перфторуглеродные соединения в медицине и биологии. Пушино, 2004. С. 56-59.
8. Ковеленов Ю.А., Войтенков Б.А., Маевский Е.И. и др. Перспективы лечебного применения перфторуглеродных соединений при ВИЧ-инфекции // Перфторуглеродные соединения в медицине и биологии. Пушино, 2004. С. 147-154.
9. Расулов К.М., Хамад З., Гаджиев М.Г. и др. Нарушение микроциркуляции пародонта при экспериментальных пародонтитах легкой степени и их коррекция перфтораном // Перфторуглеродные соединения в медицине и биологии. Пушино, 2004. С. 171-174.
10. Усенко Л.В., Болтянский С.В. Продвинутое острая нормоволемическая гемодилюция с использованием перфторана у больных пожилого возраста при абдоминальных операциях // Перфторуглеродные соединения в медицине и биологии. Пушино, 2004. С. 175-181.

## СОВРЕМЕННАЯ МЕДИЦИНА И ФАРМАЦЕВТИКА

УДК 615.038

### ВЛИЯНИЕ НАНОЭМУЛЬСИЙ ПЕРФТОРУГЛЕРОДОВ НА СИСТЕМУ ФАГОЦИТОВ INFLUENCE OF NANOEMULSIONS PFC AT THE SYSTEM OF PHAGOCYTES

**Ирина Константиновна Малашенкова**

*кандидат медицинских наук*

начальник лаборатории иммунологии  
и вирусологии

НИЦ «Курчатовский институт»

Адрес: 123098, Москва,

пл. Академика Курчатова, д. 1

Тел.: +7(499)196-96-39

E-mail: malashenkova.irina@bk.ru

**Людмила Андреевна Богданова**

*кандидат медицинских наук*

старший научный сотрудник

МОУ «ИИФ»

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

Большой Ударный пер., д. 1а

Тел.: +7(4967)35-31-93

старший научный сотрудник

Федеральное государственное бюджетное

учреждение науки «Институт теоретической и  
экспериментальной биофизики» РАН

Адрес: 142290, Московская обл., г. Пущино,

ул. Институтская, д. 3

Тел.: +7(495)632-78-69 E-mail: milabog24@yandex.ru

**Николай Антонович Дидковский**

*заслуженный врач России*

*доктор медицинских наук, профессор*

заведующий лабораторией клинической  
иммунологии

НИИ физико-химической медицины

ФМБА России

Адрес: 119435, Москва,

ул. Малая Пироговская, д. 1а

Тел.: +7(499)246-44-09

E-mail: didkovskinic@gmail.com

**Сергей Андреевич Крынский**

ординатор лаборатории клинической  
иммунологии

НИИ физико-химической медицины

ФМБА России

Адрес: 119435, Москва,

ул. Малая Пироговская, д. 1а

Тел.: +7(499)246-44-09

E-mail: srgkr002@gmail.com

#### Аннотация

В статье представлен обзор научных исследований проведенных к настоящему времени по различным аспектам влияния перфторуглеродов на клеточном уровне и при его клиническом применении. Основное внимание уделяется обсуждению собственных и литературных данных по исследованию влияния перфторуглеродов на систему фагоцитов.

**Ключевые слова:** перфторуглероды, эмульсии перфторуглеродов, система фагоцитов, эндотелиоциты, оксид азота, цитокины, иммунитет.

#### Summary

The article provides an overview of research conducted to date on various aspects of the impact of perfluorocarbon emulsions at the cellular level and its clinical application. The focus is on the discussion of the authors of their own data and literature data on the effect of PFC at the system of phagocytes.

**Key words:** perfluorocarbons, PFCs emulsion, system of phagocytes, endothelocytes, nitric oxide, cytokines, immune system.

Идея создания искусственной крови возникла в начале 1950-х годов, и актуальность этой проблемы остается несомненной по сей день. В настоящее время исследования по созданию искусственных кровезаменителей фокусируются в основном на двух направлениях: создание искусственных аналогов гемоглобина и негемо-

глобиновых переносчиков кислорода, в частности, на основе наноэмульсий перфторуглеродов (ПФУ). Бурное развитие нанотехнологий позволило ввести в медицинскую практику формы препаратов с новыми свойствами, расширяющими возможности фармакотерапии. К ним относятся наноэмульсии, наносuspensions, на-

носферы, нанокапсулы, дендримеры, нанотрубки. Наноэмульсии (НЭ) состоят из мельчайших (менее 1 мкм, обычно 0,1-500 нм) капель, взвешенных в дисперсионной среде, стабилизированных определенным сурфактантом. Важной особенностью НЭ является зависимость физических и реологических свойств от размера частиц. Для НЭ характерна низкая склонность к осаждению, что приводит к высокой стабильности, которая повышается с уменьшением размера частиц. Наноэмульсии для внутривенного введения позволяют вводить парентерально липофильные препараты в обычной форме недоступные для внутривенного применения.

Перфторуглеродные наноэмульсии (ПФУ НЭ) являются дисперсными системами, состоящими из наноразмерных капель жидких ПФУ, стабилизированных эмульгатором, обычно фосфолипидной природы. ПФУ НЭ это химически инертные и нетоксичные вещества, которые могут удаляться с выдыхаемым воздухом. Они были впервые исследованы в качестве искусственных носителей кислорода. Экспериментальные исследования и клинические испытания доказали эффективность ПФУ НЭ в транспортировке и доставке кислорода к тканям. В настоящее время большое значение придается исследованиям по оптимизации терапевтических характеристик НЭ и уменьшения выраженности побочных эффектов за счет оптимального подбора размера частиц НЭ и действующего вещества [1]. В целом, исследования направлены на уменьшение размера частиц эмульсии и на использование биологически нейтральных эмульгаторов [2]. В последние годы удалось добиться определенного успеха в создании ПФУ НЭ, обладающих высокой кислородтранспортной способностью, связанной с малым (100-300 нм) размером частиц и большим соотношением площадь/объем, высокой стабильностью, делающей возможной длительное хранение эмульсий [3]. Основным эффектом наноэмульсий ПФУ является кислородтранспортный. Однако экспериментально показаны другие клинически значимые эффекты: гемодинамический [4], детоксикационный, мембраностабилизирующий [5], сурфактантный, иммуотропный.

В настоящее время за рубежом активно изучаются возможности применения ПФУ при геморрагическом шоке, при аортокоронарном шунтировании, для лечения острой травмы мозга, для лечения ДСВ синдрома [6], газовой эмболии [7]. Кроме того, в зарубежной литературе обсуждается возможность применения ПФУ в качестве компонентов культуральной среды, в том числе при создании искусственных тканей. Показано,

что перфторан снижает тяжесть реперфузионного синдрома при инфаркте миокарда у человека, экспериментальной ишемии кишечника и экспериментальной ишемии головного мозга у крыс [8, 9]. Помимо гемодинамического и кислородтранспортного действия препарата, существенную роль при этом играет иммуномодулирующее действие, снижающее повреждение тканей нейтрофилами [10], а также непосредственное действие на эндотелиоциты. Использование ПФУ позволяет добиться улучшения доступа кислорода к культивируемым клеткам, а также избежать ограничений, создаваемых эффектом контактного ингибирования при выращивании клеточных культур [11]. В частности, среды с добавлением ПФУ применяются при создании хрящевых биопротезов, предусматривающих культивацию хондроцитов на полимерной матрице [12]. Исследований, посвященных влиянию ПФУ на иммунитет, в мировой литературе немного. Имеются единичные данные о способности ПФУ уменьшать повреждение легких в модели РДСВ на крысах за счет уменьшения экспрессии нейтрофилами CD11b и миелопероксидазы и снижения экспрессии ICAM-1 эндотелиоцитами [13]. Известно, что ПФУ НЭ модулируют функцию макрофагов, временно блокируя фагоцитоз.

Функции фагоцитов, в том числе нейтрофилов и моноцитов, чрезвычайно важны для эффективного естественного и адаптивного иммунитета. Однако при чрезмерной активации фагоцитов, дефиците противовоспалительного и антиоксидантного потенциала многие свойства клеток оказывают местное и системное повреждающее действие, поддерживая хроническое воспаление (рисунки 1).

ПФУ захватываются клетками ретикуло-эндотелиальной системы, макрофагами, влияя при этом на их антиген-представляющие функции и на фагоцитоз.

В ряде исследований было показано, что ПФУ оказывают защитный эффект на эндотелиоциты *in vitro* и, возможно, *in vivo* [14, 15]. Одна из методик сохранения органов для трансплантации, так называемый метод двух слоев, предполагает использование для консервации органа ПФУ. При этом благоприятное действие ПФУ связывают с более хорошей оксигенацией тканей и с уменьшением гибели эндотелиоцитов. Защитный эффект на эндотелиоциты, кроме антигипоксического действия, может связан со способностью ПФУ транспортировать оксид азота NO, который вызывает вазодилатацию и снижает повреждение эндотелия. ПФУ способны связывать NO [16], и было показано, что *in*



**Рис. 1.** Роль нейтрофилов в патогенезе воспаления

*in vitro* они проникают в эндотелиальные клетки сосудов [17], поэтому в условиях ишемии ПФУ могут выступать в качестве «депо» NO для микроциркуляторного русла. Интересно, что способность макрофагов к поглощению ПФУ НЭ позволила начать исследование новой области их применения. ПФУ стали использовать в качестве маркеров в 19F магнитно-резонансной томографии (19F МРТ) пока в экспериментальных работах.

Таким образом, ПФУ являются перспективным инструментом для очень специфической и неинвазивной визуализации воспаления через 19F МРТ при разных патологических состояниях: воспалении легких, отторжении трансплантата, образовании абсцессов, внутриопухолевом воспалении или нейровоспалении. По-видимому, ПФУ НЭ обладают многообразными и еще неизученными свойствами.

Выведение частиц ПФУ НЭ происходит путем транспорта нагруженных препаратом макрофагов в легкие и выведения их в альвеолы. Следовательно, применение перфторана может, в частности, влиять на состояние местного иммунитета дыхательных путей. Предполагают, что ПФУ оказывают сложное влияние на функцию макрофагов печени. В экспериментах на мышах наблюдали кратковременное (около 3 суток) угнетение функций макрофагов, а затем – их акти-

вацию, которая сопровождалась ускорением выведения эндотоксина и повышением его LD50 [18]. В экспериментальной модели достижение гипоактивации макрофагов позволяло модифицировать течение индуцированного гепатита, снижая цитолиз гепатоцитов или (при профилактическом введении) предотвращая развитие гепатита. В литературе имеется лишь единичные сообщения о применении ПФУ при хронических вирусных инфекциях, полученные на малых выборках больных. Так, в одной из работ было показано положительное действие Перфторана у пациентов со СПИД: на фоне применения препарата удавалось добиться снижения вирусной нагрузки и роста числа CD4+ лимфоцитов, а также снижения проявлений оппортунистических инфекций. Есть отдельные работы по применению Перфторана при хроническом вирусном гепатите В. Большой интерес представляют данные о положительном влиянии Перфторана на течение тяжелой формы вирусного гепатита В при недельном применении внутривенно 400 мл 1-2 раза в сутки. Важными представляются результаты работ о влиянии Перфторана на факторы естественного иммунитета. Иммуномодулирующий эффект Перфторана проявлялся в снижении чрезмерной секреции макрофаги провоспалительных цитокинов ИЛ-1бета, ИЛ-6, ИЛ-8, ФНО-а. Кроме того, препарат проявлял антиоксидантную активность, стабилизировал мембраны эритроцитов, препятствовал тканевой гипоксии. Таким образом, ПФУ могут ограничивать провоспалительные функции макрофагов и снижать активность воспалительного процесса [19]. С учетом вышеизложенного, становится очевидной необходимость исследования влияния Перфторана на течение вирусных инфекций, изучение молекулярных и клеточных механизмов его действия и возможных побочных эффектов.

Нами было исследовано влияние Перфторана на продукцию активных форм кислорода нейтрофилами/моноцитами (Нф/Мц) кошек с хронической вирусной инфекцией. Активные радикалы кислорода (синглетный кислород, супероксид аниона, гидроксильный радикал, перекись водорода) обеспечивают кислородзависимую бактерицидность фагоцитов, но при гиперпродукции могут оказать повреждающее и провоспалительное действие. Количественная оценка продукции активных форм кислорода проводилась с помощью теста восстановления нитросинего тетразолия (НСТ-тест). После инкубации крови с Перфтораном дозозависимо снижались уровни спонтанного и индуцированного НСТ-теста. Влияние Перфторана на показатели

спонтанного НСТ-теста было статистически значимым ( $F_{3,74}$ ,  $F_{крит} 2,45$ ,  $p < 0,05$ ). Снижение исходно повышенных показателей НСТ-теста под влиянием инкубации с Перфтораном в дозах 5, 10 и 20 мкл Перфторана на мл крови до близких к нормальным и нормальным значением может рассматриваться в контексте хронического воспаления как позитивное влияние на свободно-радикальные процессы.

В исследованиях по разработке искусственных переносчиков кислорода на основе ПФУ большое значение придается проблеме биобезопасности. При использовании ПФУ возможны как острые, так и отложенные нежелательные эффекты. Серьезным препятствием к их использованию являются возможность возникновения острых и отсроченных побочных эффектов: транзиторной гипотензии, тромбоцитопении, гриппоподобных симптомов, сыпи, лихорадки, генез которых полностью не расшифрован. Кроме того, использование ПФУ НЭ может приводить к развитию острых анафилактических реакций, механизмы которых также остаются неясными.

Актуально изучение иммуотропных эффектов ПФУ на молекулярном уровне, как с целью разработки на основе полученных сведений новых режимов введения ПФУ, позволяющих минимизировать побочные эффекты, так и для определения дополнительных показаний к применению ПФУ, основанных на неокислородтранспортных эффектах ПФУ. Также для уточнения показаний к использованию ПФУ НЭ и их дальнейшего клинического внедрения большую важность имеют многосторонние междисциплинарные исследования стабильности и биобезопасности создаваемых препаратов. Необходимо комплексное изучение механизмов развития побочных эффектов ПФУ НЭ, способов их преодоления и профилактики, разработка методов предсказания нежелательных реакции, исследование детоксицирующих, противовирусных и других свойств ПФУ.

### Литература

1. Fraker C.A., Mendez A.J., Inverardi L., et al. Optimization of perfluoro nano-scale emulsions: the importance of particle size for enhanced oxygen transfer in biomedical applications // *Colloids Surf B Biointerfaces*. 2012. №98. P. 26-35.
2. Riess J.G. Perfluorocarbon-based oxygen delivery // *Artif Cells Blood Substit Immobil Biotechnol*. 2006. №34(6). P. 567-80.
3. Sutradhar K.B., Amin M.D. Nanoemulsions: increasing possibilities in drug delivery // *Eur. J. Nanomed*. 2013. №5(2). P. 97-110.
4. Habler O., Pape A., Meier J., Zwissler B. [Artificial oxygen carriers as an alternative to red blood cell transfusion]. [Article in German] // *Anaesthesist*. 2005. №54(8). P. 741-54.
5. Paxian M., Rensing H., Geckeis K., et al. Perflubron emulsion in prolonged hemorrhagic shock: influence on hepatocellular energy metabolism and oxygen-dependent gene expression // *Anesthesiology*. 2003. №98(6). P. 1391-9.
6. Castro C.I., Briceno J.C. Perfluorocarbon-based oxygen carriers: review of products and trials // *Artif Organs*. 2010. №34(8). P. 622-34.
7. Torres L.N., Spiess B.D., Torres F., et al. Effects of perfluorocarbon emulsions on microvascular blood flow and oxygen transport in a model of severe arterial gas embolism // *J Surg Res*. 2014. №187(1). P. 324-33.
8. Pilarek M., Grabowska I., Ciemerych M.A., et al. Morphology and growth of mammalian cells in a liquid / liquid culture system supported with oxygenated perfluoro-decalin. // *Biotechnol Lett*. 2013. №35(9). P. 1387-94.
9. Pilarek M., Grabowska I., Senderek I., et al. Liquid perfluorochemical-supported hybrid cell culture system for proliferation of chondrocytes on fibrous polylactide scaffolds // *Bioprocess Biosyst Eng*. 2014. №37(9). P. 1707-15.
10. Hou S., Ding H., Lv Q., et al. Therapeutic effect of intravenous infusion of perfluorocarbon emulsion on LPS-induced acute lung injury in rats // *PLoS One*. 2014. №9(1). e87826. doi: 10.1371/journal.pone.0087826.
11. Kozhura V.L., Basarab D.A., Timkina M.I., et al. Reperfusion injury after critical intestinal ischemia and its correction with perfluorochemical emulsion «perftoran» // *World J Gastroenterol*. 2005. № 7(11). P. 7084-90.
12. Шувалов С.С., Ушаков В.Ю. Перспективы использования препарата «Перфторан» для профилактики развития реперфузионного синдрома у больных острым инфарктом миокарда // *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*, 2006. №5(4). С. 82-85.
13. Forman M.B., Ingram D.A., Murray J.J. Role of perfluorochemical emulsions in the treatment of myocardial reperfusion injury // *Am Heart J*. 1992. №124(5). P. 1347-57.
14. Fujino Y. Two-layer cold storage method for pancreas and islet cell transplantation // *World J Gastroenterol*. 2010. №16(26). P. 3235-8.
15. Шайдаков Е.В., Булатов В.Л., Царев О.И. и др. Жизнеспособность эндотелия при кратковременном хранении сегментов вен в перфторане и других средах консервации // *Новости хирургии*, 2013. №21(5). С. 40-44.
16. Lowe K.C., Davey M.R., Power J.B. Perfluorochemicals: their applications and benefits to cell culture // *Trends Biotechnol*. 1998. №16(6). С. 272-7.
17. Mathy-Hartert M., Krafft M.P., Deby C., et al. Effects of perfluorocarbon emulsions on cultured human endothelial cells // *Artif Cells Blood Substit Immobil Biotechnol*. 1997. №25(6). P. 563-75.
18. Kovelonov A.Yu., Mikhaltsov A.N., Malkov A.N. Perftoran as a means modulating the functional activity of liver macrophages // *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. 2002. №134(6). P. 551-553.
19. Лобзин Ю.В. и др. Применение перфторуглеродной эмульсии «Перфторан» в комплексной интенсивной терапии больных тяжелыми формами вирусного гепатита В и микст-гепатитов. Метод. рекомендации // *МО РФ: Воен.-мед. акад. им. С.М. Кирова; СПб.*, 2003.

## ТЕХНИКА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

УДК 615.4

### ПРИНЦИП ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ТЕРМОКОНТЕЙНЕРАХ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ТЕРМОЛАБИЛЬНОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ПРОДУКЦИИ АККУМУЛЯТОРОВ ХОЛОДА И ТЕПЛА КАРТРИДЖНОГО ТИПА THE PRINCIPLE OF USING IN COLD BOXES FOR THE TRANSPORTATION OF THERMOLABILE MEDICAL PRODUCTS ICE PACKS AND HEAT CARTRIDGES

#### Олег Владимирович Кемаев

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

#### Виктор Васильевич Редькин

почетный работник науки и техники РФ,  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник  
ведущий научный сотрудник  
МОУ «ИИФ»  
Адрес: 142210, Московская обл.,  
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а  
Тел.: +7(926)860-73-37  
E-mail: oniokr@mail.ru

#### Александр Янович Лапковский

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

#### Алексей Александрович Коробков

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

#### Аннотация

В статье освещается подход по использованию в термоконтейнерах для транспортировки термолabileй медицинской продукции нового вида аккумуляторов холода и тепла картриджного типа.

**Ключевые слова:** транспортировка термолabileй медицинской продукции, пассивный термоконтейнер, аккумулятор холода, хладоэлементы картриджного типа.

#### Summary

The article is focused on the approach for use of brand new cartridge type cold and heat accumulators inside insulated shipping containers for transportation of heat labile health care products.

**Key words:** transportation of heat labile health care products, passive insulated shipping container, cold accumulator, cartridge type cold packs.

Из всей совокупности медицинской продукции можно выделить класс термонеустойчивой (термолabileй) продукции. Термолabileйными называются препараты, для хранения и транспортировки которых требуется постоянная температура, в отсутствие которой теряются свойства таких препаратов. К термолabileй-

ной медицинской продукции можно отнести: донорскую кровь; иммунобиологические препараты (вакцины); различные медицинские растворы; анализы и др.

В настоящее время, для транспортировки термолabileйной продукции используются изо-термические термоконтейнеры различных ти-

пов и видов. Условно их можно разделить всего на два типа – активные и пассивные.

К активным можно отнести все термоконтейнеры, для поддержания температурных режимов в которых используются компрессорные установки или элементы Пельтье. Для работы таких термоконтейнеров необходимо их подключение к сети или использование в их составе аккумуляторных батарей. Такое требование ограничивает сферу их применения (мобильность).

В термоконтейнерах так называемого пассивного типа для поддержания температурного режима используются аккумуляторы холода (хладоэлементы) и тепла различные по составу рабочей среды (гелевые и жидкостные). Такие аккумуляторы требуют предварительного охлаждения или нагрева и специальной процедуры подготовки к использованию. К примеру, в медицинских термоконтейнерах необходима предварительная заморозка аккумуляторов в течение 24 часов.

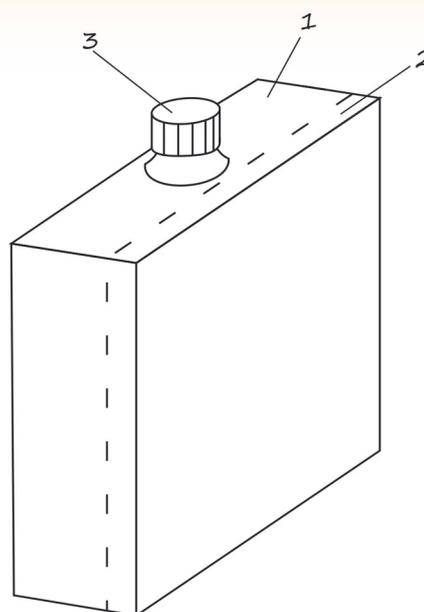
Практика транспортировки термолабильной медицинской продукции показала, что часто возникают ситуации, когда необходимо обеспечить температурный режим транспортировки термонеустойчивой продукции с сохранением мобильности (автономности) и нет времени на подготовку термоконтейнера (предварительную заморозку, нагрев аккумуляторов).

Практическая необходимость послужила предпосылкой для постановки задачи по исследованию и разработке возможных способов транспортировки термолабильной продукции для использования (применения) да базе термоконтейнеров пассивного типа, причём стоимость транспортировки таким способом должна быть приемлемой в условиях рынка.

В ходе решения задачи был разработан принцип проектирования, изготовления и использования аккумуляторов холода (АХКТ) и тепла (АТКТ) картриджного типа, сочетающих в себе как процесс выработки, так и сохранения холода и тепла, необходимых для поддержания температурного режима внутри термоконтейнера.

Устройство аккумуляторов холода и тепла картриджного типа представлено на *рисунке 1*.

Конструкция АХКТ и АТКТ включает в себя две камеры. 1 – рабочую камеру, 2 – термостабилизирующую щелевую камеру. В камере 1 осуществляется экзотермическая или эндотермическая химические реакции специально подобранных химических реагентов. Использование камеры 2 позволяет не допустить заморозки или перегрева рабочего объёма термоконтейнера. А так же служит для сохранения холода или теп-



**Рис. 1.** Составные части конструкции АХКТ и АТКТ

ла путём использования вещества с необходимой температурой фазового перехода в разные состояния. Горловина 3 служит для загрузки реагентов и последующей выгрузки отработавшего раствора.

В ходе проведённых исследований было выявлено, что для использования в термостабилизирующей камере целесообразно использовать предельные углеводороды. Поскольку эти вещества имеют значительную скрытую теплоту плавления (теплоту фазового перехода), химически пассивны, доступны по стоимости. Также они имеют широкий диапазон температур фазовых переходов, а полная обратимость рабочего цикла обеспечивает неограниченный срок службы в составе АХКТ и АТКТ.

К примеру, для обеспечения поддержания во внутреннем объёме термоконтейнера температуры в диапазоне  $+2...+8^{\circ}\text{C}$  возможно использовать тетрадекан  $\text{C}_{14}\text{H}_{30}$  с температурой фазового перехода  $+5,86^{\circ}\text{C}$  [1], а для диапазона  $+32...+38^{\circ}\text{C}$  – эйкозан  $\text{C}_{20}\text{H}_{42}$  с температурой фазового перехода  $+36,8...+36,9^{\circ}\text{C}$  [1, 2].

Для отбора реагентов эндотермической и экзотермической реакций были проведены ряд термохимических исследований и экспериментов. Подбор реагентов осуществлялся по таким параметрам как изменение энтальпии при растворении реагента в воде, степень растворимости в воде, стоимость, масштаб производства, безопасность использования и экологические характеристики.

Для использования в АХКТ была подобрана смесь из следующих солей: аммонит азотнокис-

## ТЕХНИКА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ



**Рис. 2.** Термоконтейнер с комплектом АХКТ и АТКТ



**Рис. 3.** Комплект реагентов для перезагрузки АХКТ и АТКТ



**Рис. 4.** Комплект аккумуляторов холода картриджного типа



**Рис. 5.** Комплект аккумуляторов тепла картриджного типа

лый ( $\text{NH}_4\text{NO}_2$ ); аммонит роданистый ( $\text{NH}_4\text{SCN}$ ); мочевины  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ . Для экзотермической реакции в АТКТ использовался кальций хлористый  $\text{CaCl}_2$  [2]. В результате проведенных термохимических экспериментов подобраны оптимальные составы по частям (долям) солей и воды.

Процесс работы АХКТ и АТКТ можно описать следующим образом. В горловину предварительно засыпается необходимый состав солей для активации реакции добавляется требуемый объем воды (подготовленного раствора). В результате теплообмена между рабочей и стабилизирующей камерами аккумулятора стабилизирующее вещество меняет своё фазовое состояние: тетрадекан в АХКТ охлаждается и переходит в твердое состояние; эйкозан в АТКТ нагревается и из твердого состояния переходит в жидкое. По окончании времени нестационарного охлаждения (нагрева), температура в рабочем объеме термоконтейнера стабилизируется и сохраняется в течение требуемого времени.

В ходе исследований были изготовлены опытные образцы АХКТ и АТКТ и проведены их испытания на базе термоконтейнера ТМ-8 производства фирмы ООО «Термоконт – МК».

Испытания показали следующие результаты:

- при использовании АХКТ была подтверждена возможность поддержания температурного диапазона  $+2\dots+8^\circ\text{C}$  в течение 12 часов при внешней температуре  $+43^\circ\text{C}$ ; в течение 24 часов

при внешней температуре  $+25^\circ\text{C}$ , в качестве модельной среды использовалась вода для инъекций;

- при использовании АТКТ была подтверждена возможность поддержания температурного диапазона  $+15\dots+25^\circ\text{C}$  в течение 12 часов при внешней температуре  $-20^\circ\text{C}$ , температурного диапазона  $+5\dots+12^\circ\text{C}$  в течение 12 часов при внешней температуре  $-40^\circ\text{C}$ .

Внешний вид термоконтейнера и аккумуляторов холода и теплоты картриджного типа представлен на рисунках 2-5.

Таким образом, конструкция разработанных аккумуляторов холода и тепла картриджного типа обеспечивает выработку и накопление тепла и холода за счёт эндотермической и экзотермической химических реакций специально подобранных безопасных смесей реагентов. Не требуется предварительная подготовка (заморозка, обогрев) аккумуляторов. Использование АХКТ и АТКТ в составе термоконтейнера позволяет подготовить контейнер к использованию в течение 15-20 минут.

### Литература

1. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. Изд. 2-е. М.: Наука, 1972.
2. Лапковский А.Я. Разработка и исследование быстродействующих химико-термоэлектрических охладителей медицинского и биологического назначения: дисс. на соиск. канд. тех. наук: Л.: НПО «Квант», 1990, 239 с.

УДК 621.839.2

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ПЛАНЕТАРНОГО ВАРИАТОРА A MATHEMATICAL MODEL OF THE DYNAMIC BEHAVIOR OF PLANETARY VARIATOR

**Олег Фиридинович Пашаев**

адъюнкт

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

Адрес: 142210, Московская обл.,

г. Серпухов, ул. Бригадная, д.17

Тел.: +7(4967)78-92-23

#### Аннотация

В статье рассмотрена бесступенчатая механическая передача на основе планетарного вариатора в качестве трансформатора крутящего момента трансмиссий специальных колесных шасси и математическая модель движения его элементов с учетом потерь на трение и инерцию вращающихся масс.

**Ключевые слова:** трансмиссия, планетарный вариатор, кинетическая энергия, силы трения, уравнения Лагранжа.

#### Summary

In article stepless mechanical transfer on the basis of a planetary variator as the transformer of a torque of transmissions of special wheel chassis and mathematical model of the movement of its elements taking into account losses on friction and inertia of the rotating masses is considered.

**Key words:** transmission, planetary variator, kinetic energy, friction forces, Lagrange's equations.

Составной частью транспортного средства, обеспечивающей его подвижность, является трансмиссия. Каждый тип транспортной или тяговой машины имеет свою специфику, определяемую назначением машины и условиями ее работы [1]. В настоящее время на автомобилях применяются механическая, гидромеханическая, электрическая, гидрообъемная (гидростатическая) трансмиссии. Из них бесступенчатыми являются:

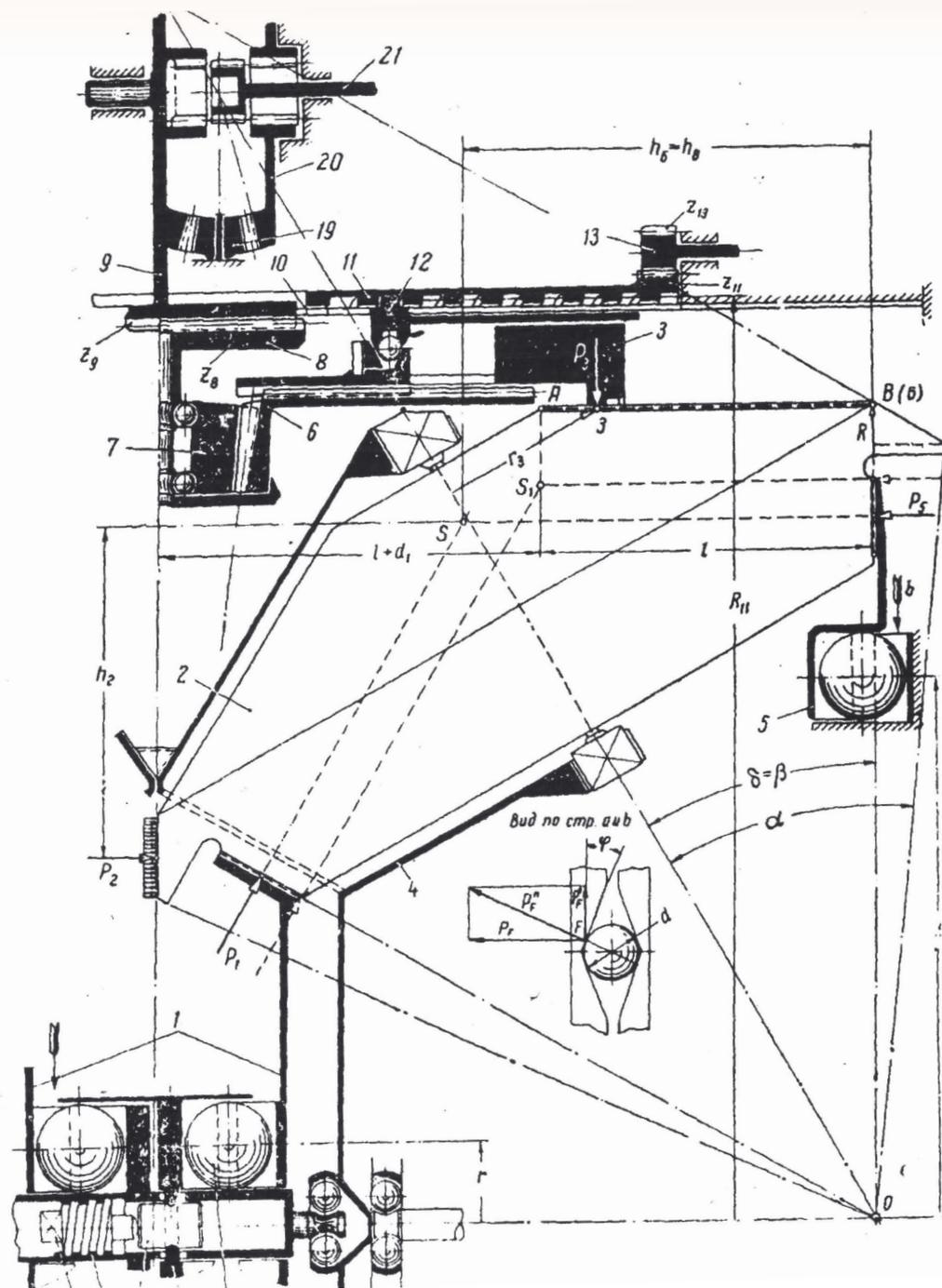
- электрическая;
- гидрообъемная;
- механическая на основе вариатора.

Аналитический обзор существующих бесступенчатых трансмиссий, указывает, что оптимальным выбором является механическая трансмиссия с вариатором. Достоинства меха-

нической бесступенчатой трансмиссии на основе клиноременной вариатора:

- простота конструкции;
- бесшумность работы;
- удобство и простота в управлении;
- плавность разгона и движения;
- сравнительно большой КПД (в зависимости от передаточного отношения до 0,95);
- дешевизна в производстве;
- более высокая топливная экономичность;
- щадящий режим работы двигателя.

Однако существующая клиноременная передача имеет существенный недостаток – ограничение передаваемого крутящего момента. Кроме того, возможности существующих и перспективных образцов специальных колесных шасси с механической ступенчатой, либо гидро-



**Рис. 1.** Принципиальная схема вариатора: 1 – ведущий конус, 2 – спутник, 3 – ведомое кольцо, 6 – ведомая шестерня, 7 – спутник дифференциала, 8 – водило дифференциала, 9 – ведомое звено.

механической трансмиссиями, с точки зрения увеличения маневренных возможностей практически исчерпаны. Данный недостаток представляется возможным устранить применив бесступенчатый механический планетарный вариатор [2]. Принципиальная схема вариатора показана на *рисунке 1*.

Механический бесступенчатый планетарный вариатор выгодно отличается от гидравлических и электрических передач. Планетарный вариатор имеет следующие главные достоинства в сравнении с другими видами передач:

- простота конструкции тел качения;
- равномерность передачи движения и, как

## ТЕХНИКА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

следствие, бесшумность работы, что делает возможным ее применение при высоких числах оборотов;

- способность преобразовывать большие крутящие моменты;
- наибольший коэффициент полезного действия в сравнении с другими видами бесступенчатых передач;
- достаточно жесткая характеристика зависимости передаточного отношения от нагрузки;
- сравнительно малый удельный объем передачи.

Существующая методика оценки параметров планетарного вариатора учитывает только кинематические характеристики передачи. Однако данная передача представляет собой систему инерционных вращающихся тел. Для того чтобы учесть инерционные массы вращающихся тел системы и знать динамику передачи, необходимо составить уравнение движения планетарного вариатора как механической системы. Так как связи в данной механической системе геометрические и число независимых координат, определяющих положение системы, совпадает с числом ее степеней свободы, воспользуемся методом Лагранжа [3]. Уравнение Лагранжа второго рода в общем виде имеет вид:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} = Q_i,$$

где  $q_i$  – обобщенная координата;

$T$  – кинетическая энергия;

$Q_i$  – обобщенная сила, соответствующая координате  $q_i$ .

Рассматриваемая механическая система имеет одну степень свободы, потенциальная энергия отсутствует. В качестве обобщенной координаты принимаем угол поворота ведущего вала  $\psi$ . При этом уравнение Лагранжа примет вид:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{\psi}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \psi} = Q_\psi. \quad (1)$$

Определим составляющие данного уравнения.

Кинетическая энергия системы (рисунк 1) складывается из кинетической энергии ведущего звена  $T_p$ , кинетической энергии сателлита  $T_c$ , кинетической энергии солнечного кольца  $T_k$ , кинетической энергии ведомой шестерни  $T_{ви}$ , кинетической энергии дифференциала  $T_\delta$ , кинетической энергии сепаратора  $T_{cen}$ , кинетической энергии ведомого звена  $T_2$ :

$$T = T_1 + T_c + T_k + T_{ви} + T_\delta + T_{cen} + T_2. \quad (2)$$

Расчетная формула для вычисления кинетической энергии каждого звена имеет вид:

$$T_i = \frac{1}{2} J_i \cdot \omega_i^2,$$

где  $J_i$  – момент инерции  $i$ -го звена;  
 $\omega_i$  – угловая скорость  $i$ -го звена.

Так как точного значения динамических характеристик звеньев, определяемых экспериментально, не имеем, то момент инерции каждого звена выражаем через массу звена и приведенный радиус инерции, т.е.:

$$J_i = m_i \cdot \rho_i^2,$$

где  $m_i$  – масса  $i$ -го звена;

$\rho_i$  – приведенный радиус инерции  $i$ -го звена.

Тогда расчетная формула кинетической энергии каждого звена примет вид:

$$T_i = \frac{1}{2} m_i \cdot \rho_i^2 \cdot \omega_i^2$$

Для определения левой части уравнения (1) необходимо выразить угловые скорости вращения каждого звена через угловую скорость вращения ведущего вала, т.е. установить зависимости  $\omega_i = \omega_i(\psi)$ .

Угловая скорость первого звена, как угловая скорость ведущего вала, принимается заданной, т.е.  $\omega_1 = \dot{\psi}$ , тогда зависимость для определения кинетической энергии ведущего звена примет вид:

$$T_1 = \frac{1}{2} m_1 \cdot \rho_1^2 \cdot \dot{\psi}^2, \quad (3)$$

где  $m_1$  – масса ведущего звена;

$\rho_1$  – приведенный радиус инерции ведущего звена.

Угловую скорость сателлита  $\omega_c$  получим из условия равенства линейных скоростей в точке контакта ведущего конуса и сателлита:

$$\omega_1 \cdot R_1 = \omega_c \cdot \frac{R_1}{\operatorname{tg}(90 - 2\beta)}, \quad (4)$$

где  $R_1$  – радиус ведущего звена.

Откуда получим:

$$\omega_c = \omega_1 \cdot \operatorname{ctg} 2\beta. \quad (5)$$

С учетом выражения (5) кинетическая энергия сателлита будет определяться по формуле:

$$T_c = \frac{1}{2} m_c \cdot \rho_c^2 \cdot \dot{\psi}^2 \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta \cdot k. \quad (6)$$

Следующей составляющей кинетической энергии системы является кинетическая энергия ведомого кольца. Выражение для определения угловой скорости кольца  $\omega_k$  имеет вид:

$$\omega_k = \dot{\psi} \cdot \frac{\operatorname{tg} \varphi_i}{\operatorname{tg} 2\beta}, \quad (7)$$

где  $\varphi_i$  – угол определяющий положение кольца на образующей конуса сателлита.

С учетом выражения (7) кинетическая энер-

## ТЕХНИКА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

гия кольца будет определяться по следующей зависимости:

$$T_{\kappa} = \frac{1}{2} m_{\kappa} \cdot \rho_{\kappa}^2 \cdot \dot{\psi}^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi_i \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta \cdot a, \quad (8)$$

где  $a$  – число ведомых колец.

Выражение для определения угловой скорости сепаратора  $\omega_{cen}$  имеет вид:

$$\omega_{cen} = \dot{\psi} \cdot \operatorname{ctg} 2\beta. \quad (9)$$

С учетом формулы (9) кинетическая энергия сепаратора равна:

$$T_{cen} = \frac{1}{2} m_{cen} \cdot \rho_{cen}^2 \cdot \dot{\psi}^2 \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta \cdot c, \quad (10)$$

Угловая скорость ведомой шестерни равна угловой скорости кольца  $\omega_{\text{ви}} = \omega_{\kappa}$ , следовательно, формула для определения кинетической энергии ведомой шестерни будет иметь вид:

$$T_{\text{ви}} = \frac{1}{2} m_{\text{ви}} \cdot \rho_{\text{ви}}^2 \cdot \dot{\psi}^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi_i \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta \cdot b, \quad (11)$$

где  $b$  – число ведомых шестерен.

Кинетическая энергия дифференциала уравнительного механизма складывается из кинетической энергии сателлитов и кинетической энергии водила дифференциала. Угловая скорость сателлита дифференциала и водила равна

угловой скорости кольца  $\omega_{\kappa}$ , учитывая вышеизложенное, запишем:

$$T_o = \frac{1}{2} m_{\text{сд}} \cdot \rho_{\text{сд}}^2 \cdot \dot{\psi}^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi_i \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta \cdot j + \frac{1}{2} m_{\text{вд}} \cdot \rho_{\text{вд}}^2 \cdot \dot{\psi}^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi_i \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta, \quad (12)$$

где  $j$  – число сателлитов дифференциала уравнительного механизма.

Для определения кинетической энергии ведомого звена выразим его угловую скорость через обобщенную координату:

$$\omega_2 = \omega_{\kappa} \cdot \frac{R_{\text{вд}}}{R_2} = \dot{\psi} \cdot \frac{\operatorname{tg} \varphi_i}{\operatorname{tg} 2\beta} \cdot \frac{R_{\text{вд}}}{R_2}, \quad (13)$$

где  $R_{\text{вд}}$  – радиус водила дифференциала;  $R_2$  – радиус шестерни ведомого звена.

С учетом полученной формулы (13) запишем выражение для определения кинетической энергии ведомого звена:

$$T_2 = \frac{1}{2} m_2 \cdot \rho_2^2 \cdot \dot{\psi}^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi_i \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta \cdot \left( \frac{R_{\text{вд}}}{R_2} \right)^2. \quad (14)$$

Таким образом, зная кинетические энергии всех составляющих, запишем формулу для кинетической энергии всей системы:

$$\begin{aligned} T = & \frac{1}{2} m_1 \cdot \rho_1^2 \cdot \dot{\psi}^2 + \frac{1}{2} m_c \cdot \rho_c^2 \cdot \dot{\psi}^2 \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta \cdot \kappa + \frac{1}{2} m_{\kappa} \cdot \rho_{\kappa}^2 \cdot \dot{\psi}^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi_i \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta \cdot a + \\ & + \frac{1}{2} m_{cen} \cdot \rho_{cen}^2 \cdot \dot{\psi}^2 \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta \cdot c + \frac{1}{2} m_{\text{ви}} \cdot \rho_{\text{ви}}^2 \cdot \dot{\psi}^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi_i \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta \cdot b + \\ & + \frac{1}{2} m_{\text{сд}} \cdot \rho_{\text{сд}}^2 \cdot \dot{\psi}^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi_i \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta \cdot j + \frac{1}{2} m_{\text{вд}} \cdot \rho_{\text{вд}}^2 \cdot \dot{\psi}^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi_i \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta + \\ & + \frac{1}{2} m_2 \cdot \rho_2^2 \cdot \dot{\psi}^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi_i \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta \cdot \left( \frac{R_{\text{вд}}}{R_2} \right)^2 \end{aligned}$$

или

$$T = \frac{1}{2} \cdot \dot{\psi}^2 \left( m_1 \cdot \rho_1^2 + m_c \cdot \rho_c^2 \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta \cdot \kappa + m_{\kappa} \cdot \rho_{\kappa}^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi_i \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta \cdot a + m_{cen} \cdot \rho_{cen}^2 \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta \cdot c + m_{\text{ви}} \cdot \rho_{\text{ви}}^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi_i \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta \cdot b + m_{\text{сд}} \cdot \rho_{\text{сд}}^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi_i \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta \cdot j + m_{\text{вд}} \cdot \rho_{\text{вд}}^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi_i \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta + m_2 \cdot \rho_2^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi_i \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta \cdot \left( \frac{R_{\text{вд}}}{R_2} \right)^2 \right). \quad (15)$$

Рассмотрим правую часть уравнения (1).

Обобщенная сила определяется из соотношения:

$$Q_{\psi} = \frac{\delta A}{\delta \psi}.$$

Элементарная работа сил сопротивления системы складывается из элементарных работ сил сопротивления: веду-

## ТЕХНИКА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

щего звена  $\delta A_1$ , сателлита  $\delta A_c$ , кольца  $\delta A_\kappa$ , сепаратора  $\delta A_{cen}$ , ведомой шестерни  $\delta A_{ви}$ , сателлита дифференциала  $\delta A_{cd}$ , водила дифференциала  $\delta A_{од}$ , ведомого звена  $\delta A_2$ .

$$\delta A = \delta A_1 + \delta A_c + \delta A_\kappa + \delta A_{ви} + \delta A_{од} + \delta A_{cd} + \delta A_{cen} + \delta A_2. \quad (16)$$

Выражение для определения элементарной работы сил сопротивления в общем виде имеет вид:

$$\delta A = \sum_{i=1}^n M_i \cdot \delta \psi_i$$

Выразим элементарный угол поворота  $\delta \psi_i$  каждого из элементов системы через обобщенную координату.

Элементарный угол поворота ведущего звена:

$$\delta \psi_1 = \delta \psi. \quad (17)$$

Элементарный угол поворота сателлита:

$$\delta \psi_c = \delta \psi \cdot ctg 2\beta. \quad (18)$$

Элементарный угол поворота ведомого кольца:

$$\delta \psi_\kappa = \delta \psi \cdot tg \varphi_i \cdot ctg 2\beta. \quad (19)$$

Элементарный угол поворота ведомой шестерни:

$$\delta \psi_{ви} = \delta \psi_\kappa = \delta \psi \cdot tg \varphi_i \cdot ctg 2\beta. \quad (20)$$

Элементарный угол поворота водила дифференциала:

$$\delta \psi_{од} = \delta \psi_\kappa = \delta \psi \cdot tg \varphi_i \cdot ctg 2\beta. \quad (21)$$

Элементарный угол поворота сателлита дифференциала:

$$\delta \psi_{cd} = \delta \psi \cdot tg \varphi_i \cdot ctg 2\beta. \quad (22)$$

Элементарный угол поворота сепаратора:

$$\delta \psi_{cen} = \delta \psi \cdot ctg 2\beta. \quad (23)$$

Элементарный угол поворота ведомого звена:

$$\delta \psi_2 = \delta \psi \cdot tg \varphi_i \cdot ctg 2\beta \cdot \frac{R_{од}}{R_2}. \quad (24)$$

С учетом уравнений (17-24), выражение элементарной работы примет вид:

$$\begin{aligned} \delta A = & M_e \cdot \delta \psi - (M_1 \cdot \delta \psi + \kappa \cdot M_c \cdot ctg 2\beta \cdot \delta \psi + a \cdot M_\kappa \cdot \frac{tg \varphi_i}{tg 2\beta} \cdot \delta \psi + \\ & + b \cdot M_{ви} \cdot \frac{tg \varphi_i}{tg 2\beta} \cdot \delta \psi + M_{од} \cdot \frac{tg \varphi_i}{tg 2\beta} \cdot \delta \psi + j \cdot M_{cd} \cdot \frac{tg \varphi_i}{tg 2\beta} \cdot \delta \psi + \\ & + c \cdot M_{cen} \cdot ctg 2\beta \cdot \delta \psi + M_2 \cdot \frac{tg \varphi_i}{tg 2\beta} \cdot \frac{R_{од}}{R_2} \cdot \delta \psi) \end{aligned}$$

или

$$\delta A = \left( M_e - (M_1 + \kappa \cdot M_c \cdot ctg 2\beta + a \cdot M_\kappa \cdot \frac{tg \varphi_i}{tg 2\beta} + b \cdot M_{ви} \cdot \frac{tg \varphi_i}{tg 2\beta} + M_{од} \cdot \frac{tg \varphi_i}{tg 2\beta} + j \cdot M_{cd} \cdot \frac{tg \varphi_i}{tg 2\beta} + c \cdot M_{cen} \cdot ctg 2\beta + M_2 \cdot \frac{tg \varphi_i}{tg 2\beta} \cdot \frac{R_{од}}{R_2}) \right) \cdot \delta \psi. \quad (25)$$

Момент  $M_e$  нам задан, необходимо найти моменты сопротивления показанные в скобках выражения (25).

Моменты сопротивления  $M_1, M_{cen}$ , – это моменты сопротивления вращению в подшипниках, следовательно их можно найти в справочных данных.

Моменты сопротивления  $M_{ви}, M_{од}, M_{cd}, M_{cen}$ , складываются в момент сопротивления вращению  $M_{ид}$  в подшипниках дифференциала, который также находим в справочных данных.

Момент сопротивления  $M_2$  есть ничто иное как момент сопротивления зубчатой передачи. КПД зубчатых передач нам известны, следовательно, его можно заменить КПД.

Момент сопротивления  $M_c$  является моментом сопротивлению качению, который находится по известной зависимости:

$$M = k_1 \cdot R,$$

где  $R$  – нормальная реакция поверхности;

$k_1$  – коэффициент трения при качении ( $k_1$  имеет размерность длины).

## ТЕХНИКА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

На спутник действуют четыре силы  $F_1, F_2, F_3, F_5$  (рисунки 1), следовательно  $M_c$  можно записать как:

$$M = k_1 \cdot (F_1 + F_2 + F_3 + F_5). \quad (26)$$

Согласно [2] силы  $F_1, F_2, F_3, F_5$  определяются по выражениям:

$$F_3 = \frac{M_e}{2 \cdot i \cdot \mu \cdot R \cdot i_{31c}}; \quad F_1 = \frac{F_3}{\sin 2\beta};$$

$F_2 = F_3 \cdot \operatorname{tg} 2\beta; \quad F_5 = F_3 \cdot (1 + \cos 2\beta),$  (27)  
где  $i$  – количество спутников в одном ряду;

$\mu$  – приведенный коэффициент трения;  
 $i_{31c}$  – передаточное отношение расчетном случае.

Подставив выражения (27) в выражение (26) запишем:

$$M_c = \frac{M_e \cdot k_1}{2 \cdot i \cdot \mu \cdot R \cdot i_{31c}} \cdot \left( \frac{1}{\sin 2\beta} + \operatorname{tg} 2\beta + \cos 2\beta + 2 \right). \quad (28)$$

Подставляя полученные формулы для моментов сопротивления элементов механизма в зависимость для определения элементарной работы, получим:

$$\delta A = \left( \begin{array}{l} M_e \cdot \eta_{zn} - M_{1табл} + \frac{M_e \cdot k_1}{\mu \cdot R \cdot i_{31c}} \cdot \left( \frac{1}{\sin 2\beta} + \operatorname{tg} 2\beta + \cos 2\beta + 2 \right) \cdot \operatorname{ctg} 2\beta - \\ - M_{нд-табл} \cdot \frac{\operatorname{tg} \varphi_i}{\operatorname{tg} 2\beta} - a \cdot M_{к-табл} \cdot \frac{\operatorname{tg} \varphi_i}{\operatorname{tg} 2\beta} - c \cdot M_{сен-табл} \cdot \operatorname{ctg} 2\beta \end{array} \right) \cdot \delta \psi. \quad (29)$$

Зная выражение для элементарной работы, определим обобщенную силу:

$$Q_\psi = \frac{\delta A}{\delta \psi} = \left( \begin{array}{l} M_e \cdot \eta_{zn} - M_{1табл} + \frac{M_e \cdot k_1}{\mu \cdot R \cdot i_{31c}} \cdot \left( \frac{1}{\sin 2\beta} + \operatorname{tg} 2\beta + \cos 2\beta + 2 \right) \cdot \operatorname{ctg} 2\beta - \\ - M_{нд-табл} \cdot \frac{\operatorname{tg} \varphi_i}{\operatorname{tg} 2\beta} - a \cdot M_{к-табл} \cdot \frac{\operatorname{tg} \varphi_i}{\operatorname{tg} 2\beta} - c \cdot M_{сен-табл} \cdot \operatorname{ctg} 2\beta \end{array} \right). \quad (30)$$

Определим члены левой части выражения (1):

$$\frac{\partial T}{\partial \psi} = 0.$$

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\psi}} = \dot{\psi} \cdot \left( \begin{array}{l} m_1 \cdot \rho_1^2 + m_c \cdot \rho_c^2 \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta \cdot \kappa + m_\kappa \cdot \rho_\kappa^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi_i \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta \cdot a + \\ + m_{сен} \cdot \rho_{сен}^2 \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta \cdot c + m_{ви} \cdot \rho_{ви}^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi_i \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta \cdot b + \\ + m_{сд} \cdot \rho_{сд}^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi_i \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta \cdot j + m_{вд} \cdot \rho_{вд}^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi_i \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta + \\ + m_2 \cdot \rho_2^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi_i \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta \cdot \left( \frac{R_{вд}}{R_2} \right)^2 \end{array} \right)$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{\psi}} \right) = \ddot{\psi} \cdot \left( \begin{array}{l} m_1 \cdot \rho_1^2 + m_c \cdot \rho_c^2 \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta \cdot \kappa + m_\kappa \cdot \rho_\kappa^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi_i \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta \cdot a + \\ + m_{сен} \cdot \rho_{сен}^2 \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta \cdot c + m_{ви} \cdot \rho_{ви}^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi_i \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta \cdot b + \\ + m_{сд} \cdot \rho_{сд}^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi_i \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta \cdot j + m_{вд} \cdot \rho_{вд}^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi_i \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta + \\ + m_2 \cdot \rho_2^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi_i \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta \cdot \left( \frac{R_{вд}}{R_2} \right)^2 \end{array} \right)$$

## ТЕХНИКА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Подставляя левые и правые части уравнения (1), получим:

$$\ddot{\psi} \cdot \left( \begin{array}{l} m_1 \cdot \rho_1^2 + m_c \cdot \rho_c^2 \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta \cdot \kappa + m_\kappa \cdot \rho_\kappa^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi_i \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta \cdot a + \\ + m_{\text{cen}} \cdot \rho_{\text{cen}}^2 \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta \cdot c + m_{\text{ви}} \cdot \rho_{\text{ви}}^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi_i \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta \cdot b + \\ + m_{\text{сд}} \cdot \rho_{\text{сд}}^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi_i \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta \cdot j + m_{\text{вд}} \cdot \rho_{\text{вд}}^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi_i \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta + \\ + m_2 \cdot \rho_2^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi_i \cdot \operatorname{ctg}^2 2\beta \cdot \left( \frac{R_{\text{вд}}}{R_2} \right)^2 \end{array} \right) = \left( \begin{array}{l} M_e \cdot \eta_{\text{зн}} - M_{1\text{табл}} + \frac{M_e \cdot k_1}{\mu \cdot R \cdot i_{31c}} \cdot \left( \frac{1}{\sin 2\beta} + \operatorname{tg} 2\beta + \cos 2\beta + 2 \right) \cdot \operatorname{ctg} 2\beta - \\ - M_{\text{нд-табл}} \cdot \frac{\operatorname{tg} \varphi_i}{\operatorname{tg} 2\beta} - a \cdot M_{\kappa\text{-табл}} \cdot \frac{\operatorname{tg} \varphi_i}{\operatorname{tg} 2\beta} - c \cdot M_{\text{cen-табл}} \cdot \operatorname{ctg} 2\beta \end{array} \right). \quad (31)$$

Таким образом, полученное выражение (31) описывает динамическое поведение механической системы или другими словами движение механизма с учетом потерь на трение и инерцию вращающихся масс. Решение данного уравнения позволяет произвести оценку таких параметров передачи, как необходимая сила сжатия фрикционных тел на всем рабочем диапазоне, коэффициент полезного действия и т.д., которые необходимо учесть при проектировании передачи.

### Литература

1. Степанченко Э.П., Фалалеев П.П. Технологическое оборудование. М.: МО СССР, 1986. 364 с.
2. Пирожков Е.И. Выбор схемы и синтез фрикционной планетарной бесступенчатой передачи с разгруженными от нормальных контактных сил валами и подшипниками. М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1960. 96 с.
3. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. М.: Высшая школа, 2007. 416 с.

УДК 629

## МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПРОКРУЧИВАНИЯ УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКОГО ТОРА METHODS FOR SOLVING THE PROBLEM OF ELASTIC-PLASTIC SCROLL TORUS

**Александр Павлович Репях**

заместитель начальника кафедры  
филиал ВА РВСН им. Петра Великого  
(г. Серпухов)  
Адрес: 142210, Московская обл.,  
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17  
Тел.: +7(916)977-43-63  
E-mail: sasha141078@mail.ru

### Аннотация

В статье рассмотрена методика решения задачи прокручивания упруго-пластического тора, построена его силовая характеристика с учетом физика механических характеристик материала и геометрических размеров.

**Ключевые слова:** тор, зона растяжения, зона сжатия, момент внутренних сил, момент внешних сил сопротивления, элементарная площадка.

### Summary

The article describes the methodology of the solution of the torsion elastic-plastic torus constructed their diagrams based physics mechanical properties of the material and the geometric dimensions.

**Key words:** torus, the stretch zone, compression zone, the time of the internal forces, the moment of resistance of the external forces, the elementary playground.

Рассмотрим работу тора из упруго-пластического материала (рисунк 1) достаточно малой (с точки зрения расчетных допущений) кривизны, нагруженный распределенным по периметру внешним моментом  $m$ . Допустим, что:

- 1) тор прокручивается равномерно по всему периметру, т.е. угол прокручивания  $\varphi$  в любом его сечении одинаковый;
- 2) сечение тора сохраняется плоским и недеформированным;
- 3) геометрические размеры тора остаются при прокручивании неизменными.

Препятствует прокручиванию момент упругих сил  $m_{comp}$ , возникающий в материале тора.

Прокрученное состояние тора определяется равенством внешних и внутренних моментов:

$$\left. \begin{aligned} M &= M_{comp} \\ m &= m_{comp} \end{aligned} \right\}. \quad (1)$$

Связь полного и распределенных моментов определяется равенством

$$m_{comp} = \frac{dM_{comp}}{dl}, \quad (2)$$

где  $m_{comp}$  – момент внешних сил сопротивления;  $M_{comp}$  – сопротивление прокручивания тора;  $M$  и  $m$  – распределенные моменты внешних и упругих сил сопротивления;  $l$  – периметр тора по среднему радиусу.

При постоянном значении внешнего момента

$$m_{comp} = \frac{dM_{comp}}{2\pi R_0}, \quad (3)$$

где  $R_0$  – средний радиус тора.

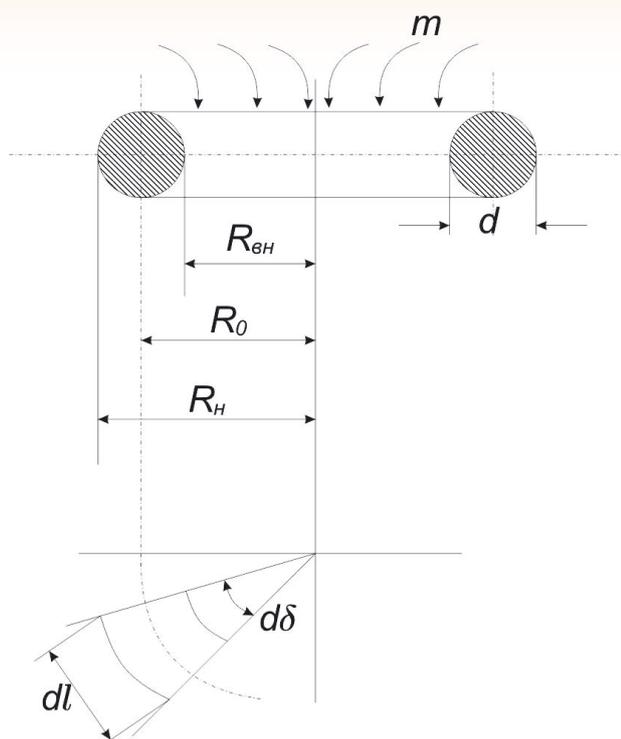
### Расчет момента внутренних сил тора $M_{comp}$

Поворот сечения тора на угол  $\varphi$  вызывает растяжение одной его половины и сжатие другой.

Область растяжения отделяется от области сжатия в поперечном сечении тора нейтральной линией  $b_1-b_1$ , отклоненной на угол  $\frac{\varphi}{2}$  от начального положения (рисунк 2) и проходящего через центр сечения 1.

Рассмотрим область растяжения тора. Начальное положение некоторых элементов пло-

## ТЕХНИКА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ



**Рис. 1.** Схема загрузки тора распределенным моментом

щадки  $dF$  на сечении тора в его непровернутом положении было в точке  $a$  (рисунк 3). После прокручивания на угол  $\varphi$  элементарная площадка переместилась в положение  $a'$ .

Положение площадки можно определить следующими уравнениями:

До прокручивания:

$$R_a = R_0 - \rho \cos\left(\frac{\varphi}{2} - \alpha\right). \quad (4)$$

В результате прокручивания:

$$R_{a'} = R_0 - \rho \cos\left(\frac{\varphi}{2} + \alpha\right), \quad (5)$$

где  $R_0$  – расстояние от оси тора до начального положения площадки;

$R_{a'}$  – расстояние от оси тора до нового измененного положения площадки;

$\rho$  – радиус, определяющий положение площадки в сечении тора;

$\alpha$  – угол радиуса  $\rho$  с нейтральной осью  $b_1-b_1$ .

Приращение радиуса при перемещении площадки из положения  $a$  в положение  $a'$  будет:

$$\Delta R = R_a - R_{a'} = \rho \left[ \cos\left(\frac{\varphi}{2} - \alpha\right) - \cos\left(\frac{\varphi}{2} + \alpha\right) \right]. \quad (6)$$

Длина кольцевой нити тора в ненапряженном состоянии:

$$l_a = 2\pi R_a. \quad (7)$$

Длина нити после проворачивания тора на угол  $\varphi$ :

$$l_{a'} = 2\pi R_{a'}. \quad (8)$$

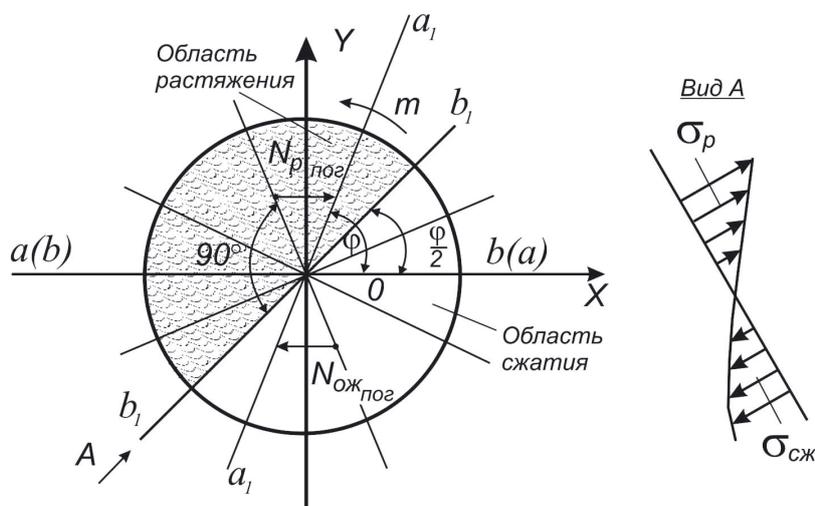
Приращение нити:

$$\Delta l = l_{a'} - l_a = 2\pi \rho \left[ \cos\left(\frac{\varphi}{2} - \alpha\right) - \cos\left(\frac{\varphi}{2} + \alpha\right) \right]. \quad (9)$$

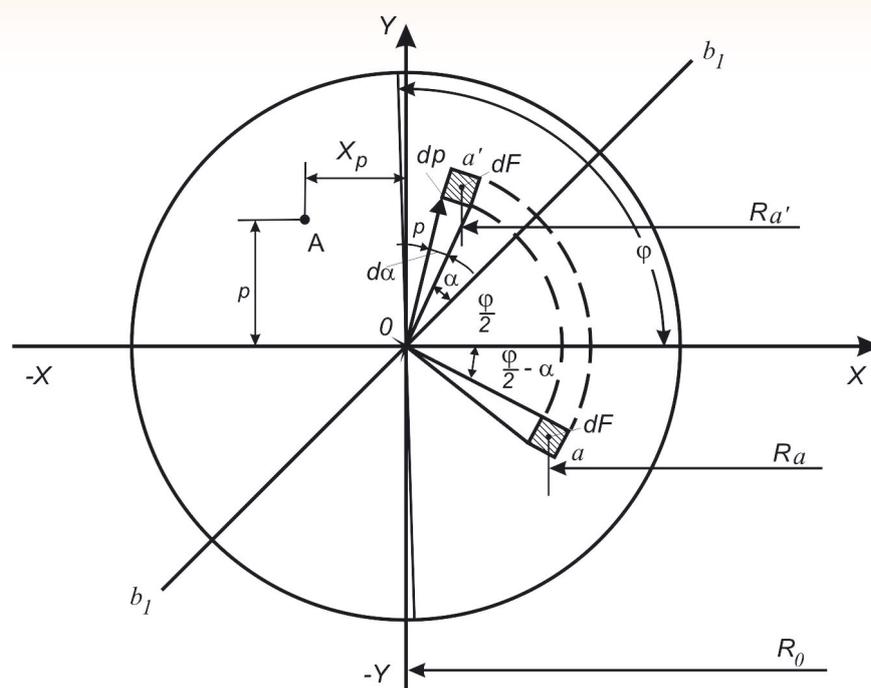
Относительное удлинение нити:

$$\varepsilon_\rho = \frac{\Delta l}{l_a} = \frac{\cos\left(\frac{\varphi}{2} - \alpha\right) - \cos\left(\frac{\varphi}{2} + \alpha\right)}{R_0 - \rho \cos\left(\frac{\varphi}{2} - \alpha\right)}. \quad (10)$$

В соответствии с критерием наибольших относительных удлинений (второй теории прочности) при наступлении предельного состояния наибольших удлинение достигает предельного



**Рис. 2.** Схема смещения нейтральной линии  $b_1-b_1$  в поперечном сечении тора при его прокручивании



**Рис. 3.** Изменение положения элементарной площадки в сечении тора при его прокручивании (область растяжения волокон)

значения, равного относительному удлинению при одноосном растяжении. Условие наступления предельного состояния записывается следующим образом:

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E}(\sigma_1 - \mu(\sigma_2 + \sigma_3)) = \varepsilon_0,$$

где  $\varepsilon_1$  – наибольшее относительное удлинение, соответствующее рассматриваемому напряженному состоянию;

$\varepsilon_0$  – предельное значение относительного удлинения определяемое из опытов при одноосном растяжении  $\varepsilon_0 = \frac{\sigma_0}{E}$ .

Величина элементарной площадки:

$$dF = \rho d\rho d\alpha$$

где  $d\rho$  и  $d\alpha$  – приращение радиуса  $\rho$  и угла  $\alpha$ .

В соответствии с гипотезой Сен-Венана о том, что в пластическом состоянии максимальное касательное напряжение имеет одно и то же постоянное значение для данного материал, такое может быть принято в качестве критерия пластичности, записанного в виде:

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{\sigma_0}{2}$$

Условие пластичности, выраженное через эквивалентное напряжение при

$$\sigma_0 = \sigma_T$$

записывается следующим образом:

$$\sigma_{\text{экв}} = \sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_T.$$

При расчете по методу предельных состоя-

ний можно записать:

$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \leq R,$$

где  $R$  – расчетное сопротивление материала при одноосном растяжении эксперимент с разными пластическими материалами свидетельствует о близости их результатов с результатами геометрического прогноза, полученным с помощью критерия наибольших касательных напряжений.

Напряжение в нити тора можно выразить формулой:

$$\sigma = \varepsilon_\rho E, \tag{11}$$

где  $E$  – модуль упругости материала тора.

После подстановки значения  $\varepsilon_\rho$  из уравнения (10) получим:

$$\sigma = E\rho \frac{\cos(\frac{\varphi}{2} - a) - \cos(\frac{\varphi}{2} + a)}{R_0 - \rho \cos(\frac{\varphi}{2} - a)}. \tag{12}$$

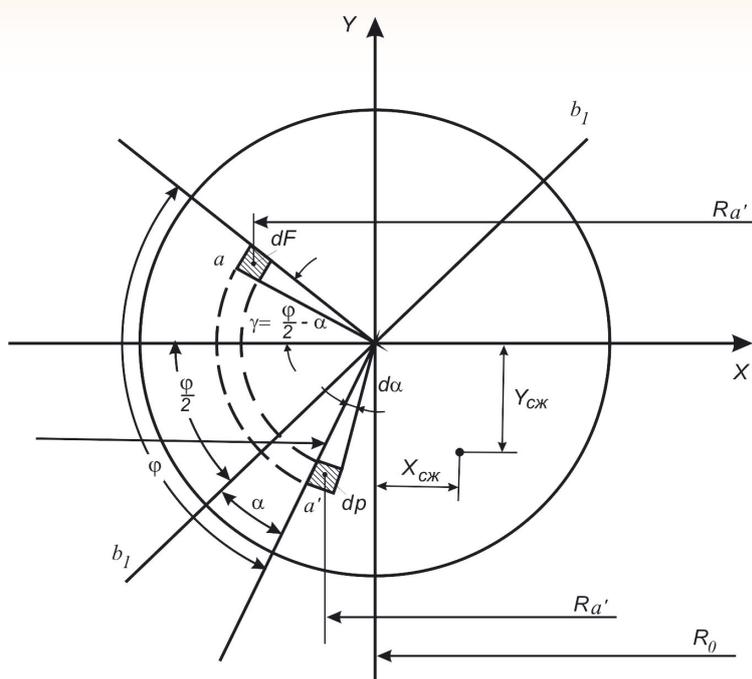
В сжатой области сечения тора при его прокручивании на угол  $\varphi$  некоторая площадка  $dF$  переместилась из начального положения  $a$  в положение  $a'$  (рисунок 4).

Для этого случая:

$$R_a = R_0 + \rho \cos(\frac{\varphi}{2} - a). \tag{13}$$

Так как

$$y = \frac{\varphi}{2} - a$$



**Рис. 4.** Изменение положения элементарной площадки в сечении тора при его прокручивании (область сжатия волокон)

а

$$R_{a'} = R_0 + \rho \cos\left(\frac{\varphi}{2} + a\right), \quad (14)$$

следовательно:

$$\Delta R = R_{a'} - R_a = \rho \left[ \cos\left(\frac{\varphi}{2} + a\right) - \cos\left(\frac{\varphi}{2} - a\right) \right], \quad (15)$$

$$\Delta l = l_{a'} - l_a = 2\pi\rho \left[ \cos\left(\frac{\varphi}{2} + a\right) - \cos\left(\frac{\varphi}{2} - a\right) \right]. \quad (16)$$

Относительное укорочение нити:

$$\varepsilon_{сж} = \frac{\Delta l}{l_a} = \rho \frac{\cos\left(\frac{\varphi}{2} + a\right) - \cos\left(\frac{\varphi}{2} - a\right)}{R_0 + \rho \cos\left(\frac{\varphi}{2} + a\right)}. \quad (17)$$

Напряжение сжатия в элементарной площадке:

$$\varepsilon_{сж} = E\rho \frac{\cos\left(\frac{\varphi}{2} + a\right) - \cos\left(\frac{\varphi}{2} - a\right)}{R_0 + \rho \cos\left(\frac{\varphi}{2} + a\right)}. \quad (18)$$

Сравнение напряжений растяжения и сжатия (смотри уравнение (12) и (18)) в элементарных площадках, симметрично расположенных относительно центра сечения тора (смотри рисунки 3 и 4) при угле прокручивания  $\varphi$ , показывает, что:

$$|\sigma_p| > |\sigma_{сж}|. \quad (19)$$

Это объясняется тем, что начальные длины волокон растянутой и сжатой зон не равны между собой (смотри равенства (4) и (13)). Сле-

довательно, не равны относительные удлинения (смотри уравнения (10) и (17)) и напряжения.

Неравенство (19) показывает нелинейность закона распределения напряжений в сечении тора при его прокручивании. Очевидно также, что чем больше относительная толщина тора  $\frac{d}{D_0} = \frac{r}{R_0}$ , тем больше будет это неравенство.

Учитывая сложность решений некоторых уравнений, а также для упрощения расчета ограничимся приближенным решением, справедливым для ограниченного количества задач с малым отношением  $\frac{d}{D_0}$ , типичным для уплотнительных колец гидропневмоустройств.

Для таких задач можно предположить начальные значения всех сжимающих и растягивающих волокон тора равными средней величине:  $l_a = 2\pi R_0$ .

И тогда в уравнениях (10), (12), (17) и (18) в знаменателе будет величина  $R_0$ .

При этом допущении в тех же симметричных точках сечения тора

$$|\sigma_p| > |\sigma_{сж}|,$$

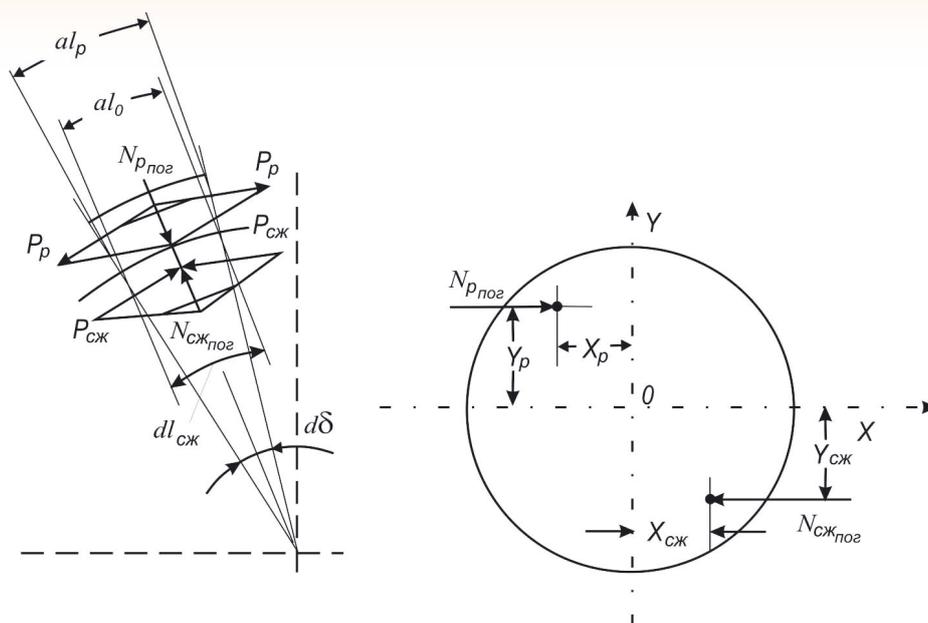
нейтральная линия будет проходить через центр круга, растягивающие и сжимающие тор силы будут равны по абсолютным значениям:

$$P_p = -P_{сж}. \quad (20)$$

Учитывая эти упрощения, находим элементарную силу на площадке:

$$\Delta dP_p = \sigma_p dF = \frac{E\rho^2}{R_0} \left[ \cos\left(\frac{\varphi}{2} - a\right) - \cos\left(\frac{\varphi}{2} + a\right) \right] dp da. \quad (21)$$

## ТЕХНИКА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ



**Рис. 5.** Схема образования радиальных сил в растянутой и сжатой зонах сечения тора

И полную силу растянутой зоны:

$$P_{\rho} = \int_0^{\pi} \int_0^r \frac{E\rho^2}{R_0} \left[ \cos\left(\frac{\varphi}{2} - a\right) - \cos\left(\frac{\varphi}{2} + a\right) \right] d\rho da. \quad (22)$$

Элементарный момент силы  $dP_{\rho}$  относительно оси  $Ox$ :

$$dM_{\rho x} = dP_{\rho} \rho \sin\left(\frac{\varphi}{2} + a\right) \quad (23)$$

или

$$dM_{\rho x} = \frac{E\rho^3}{R_0} \left[ \cos\left(\frac{\varphi}{2} - a\right) - \cos\left(\frac{\varphi}{2} + a\right) \right] \cdot \sin\left(\frac{\varphi}{2} + a\right) d\rho da. \quad (24)$$

Полный момент относительно оси  $Ox$  растягивающих сил выразится двойным интегралом:

$$M_{\rho x} = \int_0^{\pi} \int_0^r \frac{E\rho^3}{R_0} \left[ \cos\left(\frac{\varphi}{2} - a\right) - \cos\left(\frac{\varphi}{2} + a\right) \right] \cdot \sin\left(\frac{\varphi}{2} + a\right) d\rho da, \quad (25)$$

где  $r$  – радиус сечения тора.

Расстояние от точки приложения равнодействующей растягивающих сил до оси  $Ox$  (см. рисунок 5) найдем из равенства:

$$y_{\rho} = \frac{M_{\rho x}}{P_{\rho}}. \quad (26)$$

Момент силы  $P_{\rho}$  относительно оси  $Oy$ :

$$M_{\rho y} = \int_0^{\pi} \int_0^r \frac{E\rho^3}{R_0} \left[ \cos\left(\frac{\varphi}{2} - a\right) - \cos\left(\frac{\varphi}{2} + a\right) \right] \cdot \cos\left(\frac{\varphi}{2} + a\right) d\rho da. \quad (27)$$

Расстояние от оси  $Oy$  до точки приложения силы:

$$x_{\rho} = \frac{M_{\rho y}}{P_{\rho}}. \quad (28)$$

Из уравнения (20) следует, что

$$\left. \begin{aligned} M_{\rho x} &= M_{сжx} \\ M_{\rho y} &= M_{сжy} \end{aligned} \right\}. \quad (29)$$

и, следовательно:

$$\left. \begin{aligned} |y_{сж}| &= |y_{\rho}| \\ |x_{сж}| &= |x_{\rho}| \end{aligned} \right\}. \quad (30)$$

где  $M_{сжx}$  – момент сил сжатой зоны относительно  $Ox$ ;

$M_{сжy}$  – момент сил сжатой зоны относительно  $Oy$ ;  $y_{сж}$ ,  $x_{сж}$ ,  $y_{\rho}$ ,  $x_{\rho}$  – координаты точек приложения сил  $P_{\rho}$  и  $P_{сж}$  (рисунок 5).

Элементарные радиальные компоненты сил  $P_{\rho}$  и  $P_{сж}$ :

$$dN_{\rho} = -dN_{сж} = P_{\rho} d\rho. \quad (31)$$

Длины участков приложения сил  $dN_{\rho}$  и  $dN_{сж}$  (рисунок 5):

$$dl_0 \approx dl_{\rho} \approx dl_{сж} \approx R_0 d\rho. \quad (32)$$

Радиальные усилия (на единицу длины), действующие на тор:

$$-N_{сж\rho} = N_{\rho\rho} = \frac{dN_{\rho}}{dl_{\rho}} \approx \frac{P_{\rho}}{R_0}. \quad (33)$$

В результате действия сил  $N_{\rho\rho}$  и  $N_{сж\rho}$  возникает момент внутренних сил, противодействующий прокручиванию тора:

## ТЕХНИКА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

$$m_{\text{сomp}} = N_{\rho_{\text{нос}}} y_{\rho} + N_{\text{сж}_{\text{нос}}} y_{\text{сж}} = 2N_{\rho_{\text{нос}}} y_{\rho}. \quad (34)$$

Заменяя значения  $N_{\rho_{\text{нос}}}$  из уравнения (33) и учитывая выражение (26), имеем:

$$m_{\text{сomp}} = \frac{2P_{\rho} y_{\rho}}{R_0} = \frac{2M_{\rho x}}{R_0}. \quad (35)$$

Величина момента  $M_{\rho x}$  определится после интегрирования равенства (25):

$$M_{\rho x} = \frac{\pi E r^4}{8R_0} \sin \varphi. \quad (36)$$

Подставляя значение  $M_{\rho x}$  в уравнение (35), находим:

$$m_{\text{сomp}} = \frac{\pi E d^4}{64R_0^2} \sin \varphi. \quad (37)$$

И на основании равенства (3) имеем:

$$M_{\text{сomp}} = \frac{\pi^2 E d^4}{32R_0^2} \sin \varphi. \quad (38)$$

Возьмем производную  $\frac{dm_{\text{сomp}}}{d\varphi}$  и определим угол  $\varphi_{\text{кр}}$ , при котором величина  $m_{\text{сomp}}$  будет иметь максимальное значение:

$$\frac{dm_{\text{сomp}}}{d\varphi} = \frac{\pi E d^4}{64R_0^2} \cos \varphi = 0.$$

Отсюда

$$\varphi_{\text{кр}} = 90^\circ. \quad (39)$$

Оказывается, если внешние силы способны повернуть тор на  $90^\circ$ , то они будут достаточными, чтобы повернуть его на любой больший угол.

Из уравнений (1), (37) и (38) можно определить угол прокручивания:

$$\varphi = \arcsin \frac{64R_0^2 m}{\pi E d^4}$$

$$\varphi = \arcsin \frac{32R_0 M}{\pi^2 E d^4}. \quad (40)$$

### Литература

1. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. М.: Наука, 1986.
2. Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.П. Сопротивление материалов. 7-е изд. М.: Высшая школа, 2009.
3. Столяров Н.Н. Исследование упруго-пластического деформирования и оптимизация гибких оболочек и пластин разностными методами: ил РГБ ОД 71:85-1/89
4. Лейбов В.Г., Чубунов М.В. Методика расчета переменного упруго-пластического напряженно-деформированного состояния элементов конструкции // Ученые записки ЦАГИ, 1983. № 6(14). С. 84-93.
5. Репях А.П., Элоян С.М. О перспективах применения пластических торковых амортизаторов для защиты элементов конструкции мобильного рк и личного состава от столкновений агрегатов при совершении маршей // Известия Института инженерной физики, 2015. №2(36). С. 60-64.

## ТЕХНИКА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

УДК 620.97

### ВЫБОР СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРО- ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЮЖНОГО ПОДМОСКОВЬЯ SELECTING A BLOCK DIAGRAM OF THE POWER SUPPLY SYSTEM BASED ON ALTERNATIVE ENERGY SOURCES FOR THE SOUTHERN MOSCOW REGION

**Сергей Владимирович Подвигин**

*кандидат технических наук, доцент*

старший научный сотрудник  
МОУ «ИИФ»

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

**Ирина Владимировна Седова**

*кандидат педагогических наук*

старший научный сотрудник  
МОУ «ИИФ»

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

**Мария Михайловна Князева**

*аспирант*

МОУ «ИИФ»

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

#### Аннотация

В статье изложены результаты анализа по выбору альтернативных источников электроэнергии (АИЭ) для Южного Подмосковья, приведен выбор элементов для организации системы электроснабжения на основе АИЭ и разработана структурная схема такой системы, а также приводится пример расчета параметров системы электроснабжения для конкретных типов потребителей. Предложенный в статье методический подход к расчету системы электроснабжения на основе АИЭ может быть использован для проведения начального проектирования таких систем, а также позволит проводить первичную оценку их эффективности и окупаемости для определенного типа местности.

**Ключевые слова:** альтернативный источник электроснабжения, солнечные батареи, ветрогенераторы, энергетические установки, рекуперация, анализ, оценка, структурная схема, система, эффективность, преобразование энергии, объект электроснабжения.

#### Summary

The article presents the results of the analysis on the choice of alternative sources of energy (ASE) for the southern Moscow region, given the choice of elements for the organization of the power supply system based on the ASE and developed a block diagram of such a system, and also provides an example of calculation of parameters of the power supply system for specific types of consumers. Proposed in the article methodical approach to the calculation of the power supply system on the basis of the ASE can be used for initial design of such systems, and will allow for the primary assessment of their effectiveness and payback for a particular type of terrain.

**Key words:** an alternative source of power supply, solar panels, wind generators, power plants, recuperation, analysis, evaluation, block diagram, system, efficiency, energy conversion, energy supply facility.

## ТЕХНИКА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

### Экспресс-анализ альтернативных источников электроэнергии

Альтернативными источниками электроснабжения (АИЭ) называются источники получения, преобразования, хранения, распределения и передачи электрической энергии (ЭЭ), которые, в отличие от традиционных (гидроэлектростанции (ГЭС), теплоэлектростанции (ТЭС), атомные электростанции (АЭС) и др.) используют:

- другие типы возобновляемых или невозобновляемых природных ресурсов;
- другие виды источников, как правило – природных, исходной энергии для преобразования ее в ЭЭ;
- другие способы получения, преобразования, хранения, распределения и передачи ЭЭ [1, 2].

При проведении экспресс-анализа рассматривались следующие виды АИЭ для Южного Подмосковья:

- ветроэнергетические установки (ВЭУ);
- гелиоэнергетические установки (ГЭУ);
- топливные элементы;
- дизельные электростанции (ДЭС);
- малые ТЭС и ГЭС;
- геотермальные электростанции (ЭС);
- биотопливные ЭС;
- приливные и волновые ЭС.

**ВЭУ и ГЭУ** являются наиболее распространенными АИЭ с отработанной технологией и могут быть применены, как в качестве резервных, так и в качестве основных источников получения ЭЭ.

**Достоинства:** отработанная технология; автономность отдельных элементов системы АИЭ; сравнительно низкая удельная стоимость ЭЭ при длительной эксплуатации; возможность дополнительной прибыли за счет продажи избыточной ЭЭ.

**Недостатки:** неоптимальные среднегодовые показатели скорости ветра и количества солнечных дней (2,3-5,1 м/с и 114-121 дней соответственно) приведет к выбору моделей ветрогенераторов (ВГ) и солнечных батарей (СБ), адаптированных под низкие показатели входной энергии: увеличение стоимости; большие начальные финансовые вложения.

**ЭС на топливных элементах** являются перспективным видом АИЭ с постоянно развивающейся технологией получения ЭЭ.

**Достоинства:** сравнительно высокий КПД (80% и выше); постоянно оптимизируемая технология преобразования химической энергии в электрическую.

**Недостатки:** высокая удельная стоимость ЭЭ;

высокие требования к исходным химическим компонентам; дорогое и высокотехнологичное производство самих топливных элементов.

**ДЭС и малые ТЭС** обладают довольно высоким показателем «стоимость затрат/стоимость единицы полученной ЭЭ»; не являются «альтернативными» в соответствии с определением данного понятия; обладают низкими показателями экологичности; себестоимость ЭЭ напрямую зависит от стоимости используемого топлива.

Могут быть рассмотрены в качестве АИЭ для Южного Подмосковья при условии развития применяемых технологий с целью повышения экономичности и экологичности, а также уменьшения удельной стоимости ЭЭ.

**Геотермальные, приливные и волновые ЭС** не могут быть использованы в качестве АИЭ в силу географического расположения Южного Подмосковья (отсутствие геотермальных источников, побережья морей и океанов).

**Малые ГЭС**, хотя и не являются «альтернативными» в соответствии с определением данного понятия, могут быть использованы в качестве АИЭ для Южного Подмосковья. Это обусловлено наличием на территории региона двух рек: Ока и Москва, а также ряда водохранилищ.

На Оке также возможно создание средней ГЭС, однако реализация данного проекта связано с рядом трудностей:

- отсутствие на участке протекания р. Ока по Южному Подмосковью больших естественных перепадов высот в русле реки – это повлечет необходимость строительства искусственных водохранилищ и плотин;
- очень большие начальные вложения в реализацию проекта с длительным сроком окупаемости;
- для реализации проекта требуются решения на уровне государственных и федеральных органов законодательной и исполнительной власти.

**Биотопливные ЭС** являются довольно перспективным и востребованным направлением развития альтернативной энергетики.

**Достоинства:** практически неисчерпаемый источник дешевого исходного сырья; получение не только энергоносителя (в основном – газа), но и биодобров для сельского хозяйства; решение вопросов экологии – утилизации продуктов жизнедеятельности и сельского хозяйства (биоотходов); устранение одного из факторов загрязнения окружающей природной среды.

**Недостатки:** технологии переработки исходного сырья находятся на стадии разработки и оптимизации; довольно высокие затраты на строительство перерабатывающих комбинатов

## ТЕХНИКА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

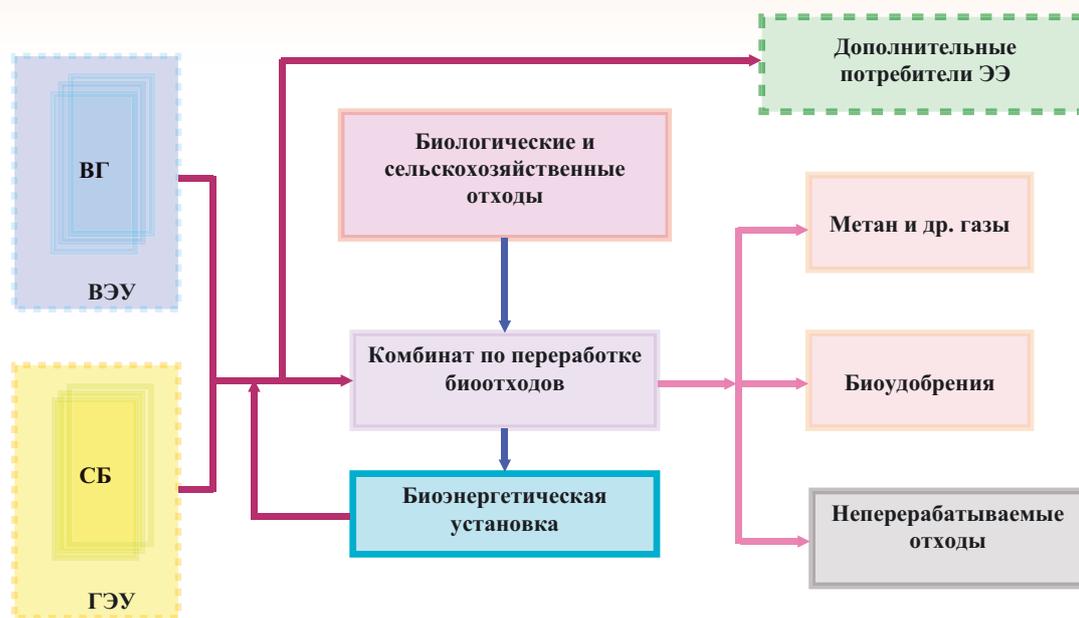


Рис. 1. Автономная самоокупающаяся биоэнергетическая система

(установок); необходимость использования традиционных источников ЭЭ на переработку биоотходов.

Однако основной целью создания биотопливных ЭС в настоящее время является все же экологичная переработка отходов, а не получение прибыли от реализации энергоносителя (электричество, метан и т.д.) [3, 4]. В таком случае, целесообразно рассмотреть возможность реализации полностью автономных самоокупающихся систем «ВЭУ+ГЭУ» → «Комбинат по переработке биоотходов» ↔ «Биотопливная ЭС» (биоэнергетические системы – см. *рисунок 1*) [5, 6].

Таким образом, для Южного Подмосковья наиболее актуальными являются следующие виды АИЭ: 1) системы «ВЭУ+ГЭУ» при условии их избыточности по производимой ЭЭ; 2) малые и средние ГЭС; 3) автономные самоокупающиеся биоэнергетические системы.

На основании вышеизложенного, далее для разработки структурной схемы системы электроснабжения на основе АИЭ и расчета ее параметров был выбран вариант «ВЭУ+ГЭУ».

### Выбор состава элементов системы электроснабжения, определение ограничений и разработка структурной схемы

Выбор АИЭ для Южного Подмосковья проводится исходя из следующих ограничений:

1) в качестве типичного населенного пункта Южного Подмосковья рассматривается город Серпухов;

2) в качестве возможных потребителей ЭЭ, вырабатываемой АИЭ, рассматриваются следующие объекты:

- объект типа «Общеобразовательное учебное заведение» (далее – «ОУЗ», школа или среднее офисное здание без производства) со среднемесячной потребностью в ЭЭ, оцениваемой в 4 000 кВт в месяц;

- объект типа «Научно-производственное предприятие» (далее – «НПП», среднее по размерам учреждение, имеющее в своем составе, как крупный офисный блок, так и небольшие опытно-промышленные и научно-производственные участки) со среднемесячной потребностью в ЭЭ, оцениваемой в 45 000 кВт в месяц.

Введение такого рода ограничений обосновано следующими факторами:

1) Серпухов по своему географическому и административно-хозяйственному положению (население, наличие производств, инфраструктура, удаленность от крупных транспортных магистралей и небольших рек, окружающего ландшафта, среднегодовой розы ветров, количества солнечных дней в году и др.), за исключением наличия довольно крупной реки почти в черте города – Ока, является типичным административным центром (населенным пунктом, городом) Южного Подмосковья;

2) выбор в качестве потребителей ЭЭ АИЭ объектов типа «ОУЗ» и «НПП» позволит экстраполировать результаты анализа практически на все типичные объекты-аналоги, в том числе и на объекты, планируемая мощность электропотре-

## ТЕХНИКА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

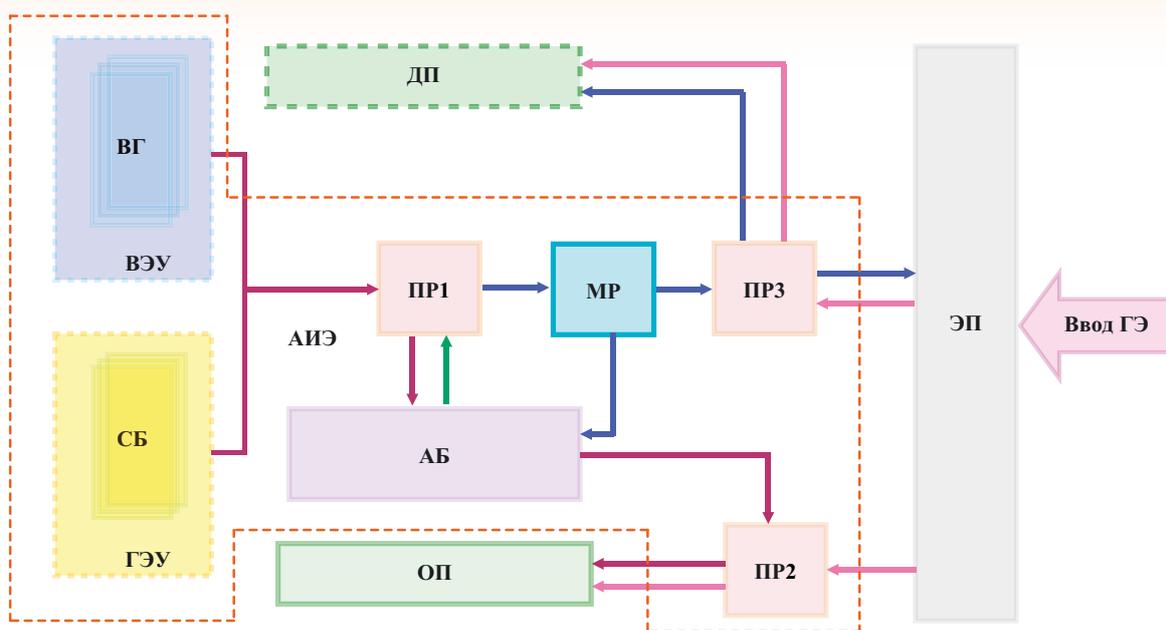


Рис. 2. Структурная схема системы ЭЭ на АИЭ

бления которых отличается от выбранных объектов. Это обусловлено следующим:

- в мировой практике в качестве потребителей ЭЭ систем АИЭ не рассматриваются средние и крупные населенные пункты (города, мегаполисы, группы зданий на значительном удалении друг от друга и т.п.), а также крупные производства и предприятия. Кроме того, в особо важных системах и для потребителей ЭЭ класса А (не допускающих разрыва линии питающего напряжения) АИЭ также не рассматриваются в качестве единственного источника ЭЭ. В таких системах АИЭ могут использоваться в роли автономных (резервных) источников для основного источника – ввода от подстанции государственной электросети (ГЭ), либо в качестве основного источника ЭЭ, но при этом ГЭ должна быть постоянно включена в режим подпора и присутствовать автономные аккумуляторы на момент переключения источников ЭЭ и гашения перепадов напряжения [7];

- устройства на основе АИЭ для индивидуального использования довольно широко представлены на рынке, однако, они имеют большие различия, как по интерфейсам сопряжения, так и по требованиям к промежуточным (резервным) накопителям ЭЭ – аккумуляторным батареям. Это затрудняет возможность объединения таких устройств в систему с необходимой суммарной мощностью и в ходе проведения анализа такие системы не рассматривались;

- таким образом, оставшийся диапазон объектов-потребителей ЭЭ АИЭ – 800-150 000 кВт/

месяц (по потребляемой мощности ЭЭ) вполне может быть перекрыт расчетами по выбранным для анализа объектов «ОУЗ» и «НПП», даже учитывая нелинейный характер изменения показателей, используемых в соотношениях «потребляемая мощность объекта – стоимость системы АИЭ» и «количество структурных элементов системы АИЭ – стоимость системы АИЭ».

На основании экспресс-анализа АИЭ, основанных на использовании различных видов исходной энергии и физических принципах получения, преобразования и хранения полученной ЭЭ, в качестве составных элементов системы АИЭ для объектов типа «ОУЗ» и «НПП» были выбраны:

- 1) блок ветроэнергетических установок (ВЭУ) – ветрогенераторы (ВГ);
- 2) блок гелиоэнергетических установок (ГЭУ) – солнечные батареи (СБ);
- 3) блок накопителей ЭЭ – аккумуляторные батареи (АБ);
- 4) блок преобразователей-распределителей (ПР) ЭЭ.

При этом при проектировании (или выборе из представленных на рынке) блока ПР необходимо предусмотреть возможность организации в его составе модуля рекуперации (МР), который позволит:

- накапливать избыточную ЭЭ в ветреные, солнечные и нерабочие дни;
- выдавать избыток полученной ЭЭ в ГЭ;
- использовать избыточную ЭЭ для водонагревателей в системах отопления, кондициони-

## ТЕХНИКА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

рования или вентиляции.

Упрощенная структурная схема системы ЭЭ на АИЭ приведена на *рисунке 2*.

На *рисунке 2* приняты следующие обозначения и сокращения:

АИЭ – альтернативный источник электропитания;

ВЭУ и ВГ – ветроэнергетическая установка с ветрогенераторами;

ГЭУ и СБ – гелиоэнергетическая установка с солнечными батареями;

ОП и ДП – основные и дополнительные потребители ЭЭ объекта электроснабжения;

АБ – блок аккумуляторных батарей;

ПР1...3 – блоки преобразователей-распределителей ЭЭ;

МР – модуль рекуперации избыточной ЭЭ;

ЭП – электрическая подстанция объекта электроснабжения;

Ввод ГЭ – силовой ввод от государственной электросети;

→ – выработанная ЭЭ АИЭ;

→ – управляющая и регулирующая цепь зарядки блока АБ;

→ – выработанная ЭЭ, которая является избыточной для питания основных потребителей объекта электроснабжения;

→ – ЭЭ от ГЭ для резервного (аварийного) электропитания объекта;

.... – системы, блоки и устройства, входящие в состав АИЭ.

Порядок работы системы ЭЭ объекта, с входящим в ее состав АИЭ, заключается в следующем.

ЭЭ вырабатывается в ходе совместной работы ВЭУ и ГЭУ и поступает в блок ПР1 где происходит ее синхронизация по напряжению. Кроме того, в блоке ПР1 проходит оценка степени заряда блока АБ, на основании которой выработанная ЭЭ либо поступает на зарядку блока АБ, либо передается на модуль рекуперации для использования в других целях.

С блока АБ выработанная ЭЭ поступает на блок ПР2, основная задача которого провести преобразование постоянного напряжения в переменное и стабилизировать его по частоте и силе тока для электропитания основных потребителей объекта. Кроме того, блок ПР2 предназначен для перекоммутации основных потребителей объекта на электропитание от ГЭ при возникновении неисправностей в системе АИЭ и при аварийных режимах работы.

Выработанная ЭЭ, которая является избыточной для электропитания основных потребителей (ветреный солнечный день, выходные и праздничные дни и т.п.), передается на рекупе-

рацию – в блоки МР и ПР3, где происходит ее синхронизация с ГЭ и дальнейшее использование в соответствии с целями организации:

- передача избыточной ЭЭ в ГЭ, учет количества переданной ЭЭ с целью дальнейших расчетов с энергоснабжающей компанией и получения прибыли;

- передача избыточной ЭЭ для питания дополнительных потребителей объекта электропитания и, как следствие, экономия финансовых средств, выделяемых организацией на оплату ЭЭ. В этом случае в блоке ПР3 происходит оценка объема ЭЭ, полученной при рекуперации, и переключение необходимого количества дополнительных потребителей ЭЭ объекта на электропитание с ввода ГЭ на ввод от АИЭ.

Также предусматривается возможность использования ЭЭ, полученной при рекуперации, для дополнительной зарядки блока АБ в периоды пикового потребления ЭЭ основными потребителями, а также после длительного периода несолнечной и безветренной погоды.

При аварийных режимах работы и неисправностях АИЭ электропитание основных и дополнительных потребителей ЭЭ объекта осуществляется от силового ввода ГЭ через электрическую подстанцию объекта, которая не входит в состав АИЭ [7].

### Расчет параметров системы электроснабжения

В ходе анализа для расчета количества ВГ и СБ, входящих в состав АИЭ объектов типа «ОУЗ» и «НПП», а также при оценке стоимости АИЭ этих объектов использовались материалы открытых источников [8-12].

Параметры среднегодовой скорости ветра и солнечности для регионов России приведены на *рисунках 3 и 4* соответственно [13-16].

Как видно из *рисунков 3 и 4*, Южное Подмосковье обладает весьма низкими показателя-

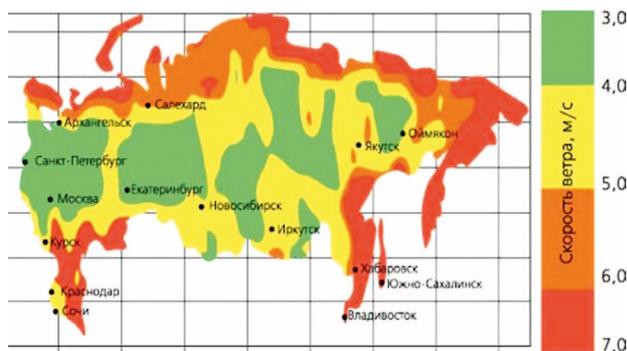


Рис. 3. Среднегодовая скорость ветра для регионов России

## ТЕХНИКА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

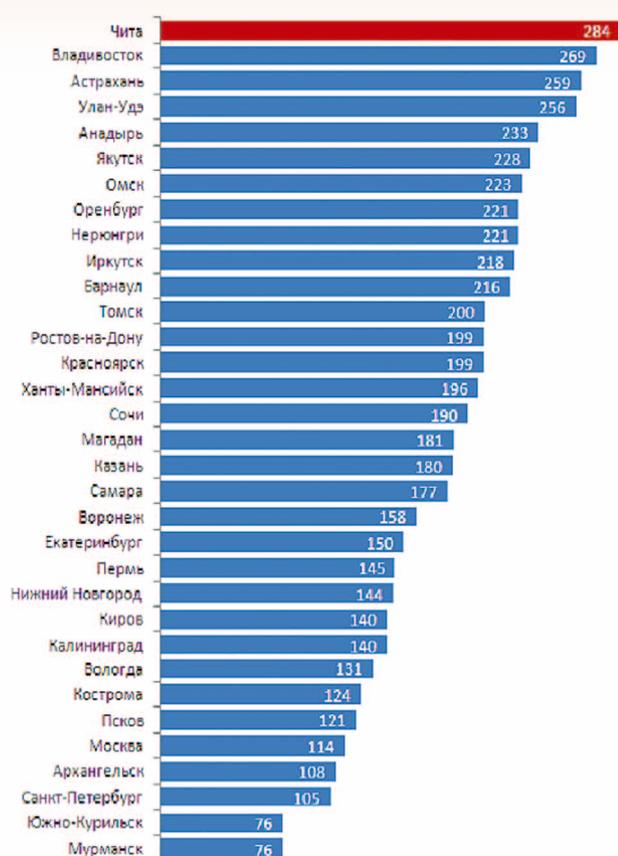


Рис. 4. Среднегодовое количество солнечных дней для городов России

ми по силе ветра (2,3-5,1 м/с, южного, юго-западного и западного направления) и количеству солнечных дней в году (114-121 день в год). Поэтому, в соответствии с рекомендованной методикой выбора оптимального соотношения количества ВГ и СБ в составе АИЭ [10, 17], было выбрано следующее соотношение:

- 35% вырабатываемой АИЭ ЭЭ – от ВЭУ;
- 65% вырабатываемой АИЭ ЭЭ – от ГЭУ,

а также заложена избыточность от номинальной вырабатываемой мощности АИЭ в размере 15%. Однако, при заказе у проектной (проектно-монтажной) организации данное соотношение может быть уточнено в зависимости от выделенного места установки ВГ, выбранной модели СБ и АБ.

Таким образом, с учетом 15% превышения вырабатываемой ЭЭ и выбранного соотношения производительности ВЭУ и ГЭУ, получаем следующие среднемесячные значения расчетных показателей мощности АИЭ:

1) для объекта типа «ОУЗ» – 4 600 кВт·мес., из них: ВЭУ – 1 610 кВт·мес. (2,21 кВт·ч); ГЭУ – 2 990 кВт·мес. (4,1 кВт·ч);

2) для объекта типа «НПП» – 51 750 кВт·мес., из них: ВЭУ – 18 112,5 кВт·мес. (24,8 кВт·ч); ГЭУ – 33 637,5 кВт·мес. (46,05 кВт·ч).

На основании проведенного анализа рынка АИЭ [18-20] среднерыночная удельная стоимость 1 кВт ЭЭ в пересчете на первоначальные расходы для приобретения оборудования составляет:

- для ВГ – от 65 000 до 250 000 руб./кВт;
- для СБ – от 40 000 до 200 000 руб./кВт,

при этом в верхнее значение стоимости включена стоимость преобразователей-инверторов, входящих в состав ПР1...3 (см. рисунок 2). Удельная стоимость 1 кВт ЭЭ в пересчете на расходы для приобретения АБ будет рассчитана с учетом дополнительных условий и ограничений для каждого из рассматриваемых при проведении анализа объекта («ОУЗ» и «НПП»).

Расчет параметров ВЭУ и ГЭУ производился по общепринятым методикам.

1. Величина энергии ВГ определяется по формуле [21]:

$$P = V^3 \cdot \rho \cdot S, \quad (1)$$

где  $V$  (см. рисунок 5) – скорость ветра, единица измерения – м/с;

$\rho$  – плотность воздуха, единица измерения – кг/м<sup>3</sup>;

$S$  – площадь воздействия воздушного потока, определенная от центра воображаемой окружности, образованной лопастями ВГ, до внешнего края лопастей, единица измерения – м<sup>2</sup>.

На практике максимально удается использовать только 30-40% энергии от общей величины потенциальной энергии воздушного потока [22-24]. Это ограничение связано с технологическим и физическим совершенством конкретного ВГ. С учетом индивидуальных параметров ВГ выражение (1) можно уточнить в виде:

$$P = \xi \cdot \pi \cdot R^2 \cdot 0,5 \cdot V^3 \cdot \rho \cdot \eta_{ред} \cdot \eta_{ген}, \quad (2)$$

где  $\xi$  – коэффициент использования энергии ветра (в номинальном режиме для быстроходных ВГ достигается максимум  $\xi_{max} = 0,4 \div 0,5$ ), безмерная величина;

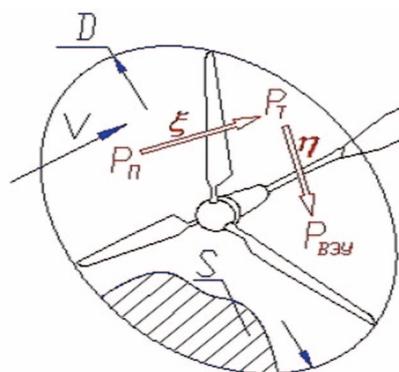


Рис. 5. Параметры для расчета трансформации энергии воздушного потока в ЭЭ ВГ

## ТЕХНИКА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

$R$  – радиус ротора, единица измерения – м;

$V$  – скорость воздушного потока, единица измерения – м/с;

$\rho$  – плотность воздуха, единица измерения – кг/м<sup>3</sup>;

$\eta_{ред}$  – КПД редуктора, единица измерения – проценты (из паспорта ВГ);

$\eta_{ген}$  – КПД генератора, единица измерения – проценты.

2. Для расчета мощности фотоэлектрической панели СБ применялась следующая формула [9, 25]:

$$E_{сб} = E_{инс} \cdot P_{сб} \cdot \eta / P_{инс}, \quad (3)$$

где  $E_{сб}$  – энергия, вырабатываемая солнечной батареей;

$E_{инс}$  – месячная инсоляция (величина потока солнечной радиации на поверхность) квадратного метра поверхности в месте установки СБ;

$P_{сб}$  – номинальная мощность солнечной батареи (паспортные данные);

$\eta$  – общий КПД передачи электрического тока по проводам, контроллера СБ и инвертора при преобразовании низковольтного постоянного напряжения в стандартное;

$P_{инс}$  – максимальная мощность инсоляции квадратного метра земной поверхности (1000 Вт).

В выражении (3)  $E_{сб}$ ,  $E_{инс}$ ,  $P_{сб}$  и  $P_{инс}$  для расчетов должны быть представлены в одних и тех же единицах (либо киловатт-часах, либо джоулях);  $\eta$  – безразмерная величина (%).

Соответственно, зная величину месячной инсоляции для конкретной местности, можно оценить номинальную мощность СБ, требуемую для обеспечения выработки необходимого количества ЭЭ:

$$P_{сб} = P_{инс} \cdot E_{сб} / (E_{инс} \cdot \eta). \quad (4)$$

При этом в ходе расчета параметров ГЭУ необходимо учитывать, что максимальная мощность СБ, заявленная производителем в паспорте, достигается при напряжении на ее выходе превышающем напряжение АБ на 15...40%.

По результатам проведенных расчетов были выбраны следующие компоненты проектируемого АИЭ.

### 1. Для объекта «ОУЗ»:

1) ВГ – CZ-3 для слабых ветровых зон, мощность 3 кВт при скорости ветра от 1,6 до 7 м/с; стоимость – 734 500 руб.; 1 шт.;

2) СБ – «Солнечная электростанция 1840/48/5000» для средней полосы России, мощность 5 кВт; стоимость 218 400 руб.; 1 установка в стандартной комплектации;

3) АБ – рассчитаны с использованием онлайн-калькулятора [26], с учетом следующих ограничений и допущений:

а) максимальное количество пасмурных/безветренных дней подряд – 3;

б) максимальная глубина разряда АБ – 30%;

в) температура в помещении где находятся АБ –  $+25 \pm 0,5^\circ\text{C}$ .

Согласно проведенному расчету при принятых ограничениях и в соответствии с рекомендациями завода-производителя ВГ и АБ (необходимая общая емкость блока АБ должна составить не менее 78 875 А·ч; напряжение АБ – 12 В) выбрана следующая комплектация АБ: модель батареи – DELTA GX12/200; количество – 40 шт. (8 шт. – для СБ и 32 шт. – для ВГ); стоимость комплекта (40 шт.) – 1 037 400 руб.

4) устройства инвертирования, распределения и контроля – MAP HYBRID 12 3 X3, мощность 9 кВт; стоимость 155 400 руб.; 1 шт.

Таким образом, общая стоимость АИЭ на основе «связки»: ВГ, СБ, АБ и ПР, для объекта «ОУЗ» составляет ~ 2,2 млн руб. При этом такая конфигурация АИЭ для объекта «ОУЗ» является достаточной, но не избыточной, т.е. практически на протяжении всего года позволит обеспечить потребителей объекта ЭЭ, но не позволит сколь либо ощутимо «заработать» на отдаче излишков ЭЭ в ГЭ:

● запас по выработанной ЭЭ заложен на уровне 15%, что позволит компенсировать риски от превышения количества несолнечной и безветренной погоды более чем на три дня подряд, но не более того;

● потребуются дополнительные затраты на обслуживание элементов, входящих в состав АИЭ, и на поддержание требуемого температурно-влажностного режима помещения с блоком АБ.

### II. Для объекта «НПП»:

1) ВГ – CZ-10 для слабых ветровых зон, мощность 10 кВт при скорости ветра от 1,6 до 7 м/с; стоимость – 1 881 230 руб.; 3 шт.;

2) СБ – «Солнечная электростанция 1840/48/5000» для средней полосы России, мощность  $2 \times 25$  кВт ( $2 \times (5$  кВт +  $8 \times 2,5$  кВт)); стоимость  $2 \times 1$  747 200 руб.; 2 установки в комплектации с 8-ю дополнительными солнечными панелями и инверторами по 2,5 кВт;

3) АБ – рассчитаны с использованием онлайн-калькулятора [26], с учетом следующих ограничений и допущений:

а) максимальное количество пасмурных/безветренных дней подряд – 3;

б) максимальная глубина разряда АБ – 30%;

в) температура в помещении, где находятся АБ –  $+25 \pm 0,5^\circ\text{C}$ .

Согласно проведенному расчету, при принятых ограничениях и в соответствии с рекомендациями завода-производителя ВГ и АБ (необходимая общая емкость блока АБ должна со-

## ТЕХНИКА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

ставить не менее 885 625 А·ч; напряжение АБ – 12 В) выбрана следующая комплектация АБ: модель батареи – DELTA GX12/200; количество – 160 шт. (64 шт. – для СБ и 96 шт. – для ВГ); стоимость комплекта (160 шт.) – 4 149 600 руб.

4) устройства инвертирования, распределения и контроля – MAP HYBRID 48 15 X3, мощность 45 кВт; стоимость 383 400 руб.; 2 шт.

Общая стоимость АИЭ на основе «связки»: ВГ, СБ, АБ и ПР, для объекта «НПП» составляет ~ 14,1 млн руб. Такая конфигурация АИЭ для объекта «НПП» является достаточной и на 20...30% избыточной, что практически на протяжении всего года, за исключением периодов пиковых и нештатных нагрузок, позволит получать дополнительную прибыль за счет отдачи излишков ЭЭ в ГЭ.

Предложенный в статье методический подход к расчету системы электроснабжения на основе АИЭ может быть использован для проведения начального проектирования таких систем, а также позволит проводить первичную оценку их эффективности и окупаемости для определенного типа местности.

### Литература

1. Голицын М.В., Голицын А.М., Пронина Н.М. Альтернативные энергоносители. М.: Наука, 2004. 159 с.
2. Удел С. Солнечная энергия и другие альтернативные источники энергии. М.: Знание, 1980. 88 с.
3. Германович В., Турилин А. Альтернативные источники энергии и энергосбережение. Практические конструкции по использованию энергии ветра, солнца, воды, земли, биомассы. М.: Наука и техника, 2014. 320 с.
4. Цыганов А.Р., Клочков А.В. Биоэнергетика:

энергетические возможности биомассы. Минск: Беларусь. наука, 2012. 143 с.

5. Овсянко А., Печников С. Справочник. Котельные и электростанции на биотопливе. М.: Биотопливный портал. (Серия: Биоэнергетика), 2008. 360 с.

6. Соуфер С., Заборски О.Р. Биомасса как источник энергии. Biomass Conversion Processes for Energy and Fuels. М.: Мир, 1985. 376 с.

7. Свирен С.Я. Электрические станции, подстанции и сети. М.: Наука. 2012. 280 с.

8. Пантелеев В.П. Ветроэнергетические установки. Материалы тренинга Центра развития ветровых источников электроэнергии и их энергоэффективности. – Бишкек. 2013. 32 с.

9. <http://khd2.narod.ru/gratis/solbat.htm>

10. [www.elprom-st.ru](http://www.elprom-st.ru)

11. <http://svetdv.ru>

12. <http://www.u380.ru/energy>

13. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B5%D1%80%D0%BF%D1%83%D1%85%D0%BE%D0%B2>

14. <http://www.gismeteo.ru/diary/4370>

15. <http://xn----7sbkhp3auu.xn--plai/index.php>

16. <http://www.visitchita.ru/ru/solnechnost.html>

17. <http://sun.jofo.ru/275131.html>

18. <http://armcom.su>

19. <http://www.lemz.ru>

20. <http://www.sunyour.ru>

21. <http://alternativenergy.ru/vetroenergetika/81-raschet-vetrogeneratora.html>

22. Кашкаров А. Ветрогенераторы, солнечные батареи и другие полезные конструкции. М.: ДМК Пресс, 2011. 144 с.

23. Кривцов В.С., Олейников А.М., Яковлев А.И. Неисчерпаемая энергия. Книга 1 «Ветро-электростанции». Харьков.: «ХАИ», 2003. 386 с.

24. Кривцов В.С., Олейников А.М., Яковлев А.И. Неисчерпаемая энергия. Книга 2 «Ветроэнергетика». Харьков.: «ХАИ», 2004. 507 с.

25. Глиберман А.Я., Зайцева А.К. Кремниевые солнечные батареи. М.-Л.: Госэнергоатомиздат, 1961. 72 с.

26. [http://www.solarhome.ru/batteries/what\\_capacity.htm](http://www.solarhome.ru/batteries/what_capacity.htm)

## ИОНОСФЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ИНСТИТУТЕ ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

Давно известно, что возмущения ионосферы под действием естественных и искусственных факторов приводят к изменению условий распространения радиоволн и снижению качества коротковолновой радиосвязи. Однако один из видов возмущений ионосферы, обусловленных образованием интенсивных мелкомасштабных неоднородностей электронной концентрации, может на несколько порядков снижать помехоустойчивость систем спутниковой связи. Это объясняется рассеянием радиоволн на неоднородностях ионосферы, их многолучевым распространением по каналу спутниковой связи и возникновением замираний принимаемых сигналов. Поэтому еще в начале 80-х годов прошлого века была поставлена проблема анализа влияния мелкомасштабных неоднородностей ионосферы на помехоустойчивость систем спутниковой связи.

Для ее разрешения потребовалось 20 лет и разработка методов построения структурно-физических моделей трансionoсферных каналов связи. Их основу составляет комплексное применение многолучевых моделей каналов связи (разработанных в статистической радиотехнике) и метода параболического уравнения (разработанного в статистической радиофизике) для определения зависимости статистических характеристик замираний принимаемых сигналов от интенсивности мелкомасштабных неоднородностей ионосферы. В результате решения указанной проблемы было установлено, что по мере роста интенсивности неоднородностей ионосферы возрастает глубина общих замираний принимаемых сигналов, степень их частотно-селективных замираний и

межсимвольной интерференции. Это, в свою очередь, приводит к катастрофическому снижению помехоустойчивости систем спутниковой связи (особенно широкополосных, высокоскоростных и низкочастотных).

Очевидно, что повышение помехоустойчивости систем спутниковой связи в условиях возмущений ионосферы возможно только на основе мониторинга интенсивности ее мелкомасштабных неоднородностей. С этой целью в МОУ «ИИФ» в 2008-2012 годах совместно с ИРЭ РАН были проведены НИР и ОКР по созданию станции трансionoсферного зондирования параметров неоднородной ионосферы на базе двухчастотного приемника спутниковой навигации GPS/ГЛО-НАСС. По итогам государственных испытаний 2013 года эта станция была принята к серийному производству.

В настоящее время в МОУ «ИИФ» проводятся исследования по разработке для систем спутниковой связи и навигации принципов адаптации частотно-временных характеристик передаваемых сигналов и способов их обработки к возмущениям ионосферы, сопровождаемых образованием интенсивных неоднородностей электронной концентрации.

Заслуженный работник  
высшей школы РФ,  
доктор технических наук,  
профессор **В.П. Пашинцев**

Заслуженный деятель науки РФ,  
доктор технических наук,  
профессор **В.А. Цимбал**



### «АРМИЯ-2015»

В городе Кубинка Московской области прошел Международный военно-технический форум «Армия-2015», ставший рекордным по своему масштабу. На нем было показано 300 современных и перспективных образцов вооружения, в 20 выставочных павильонах и на открытых площадках свою технику и инновационные разработки представили 800 отечественных и зарубежных предприятий и научно-исследовательских центров, в нем приняли участие делегации 70 иностранных государств.

Открывал форум Президент России В.В. Путин. В сопровождении министра обороны С.К. Шойгу он посетил экспозицию Института инженерной физики. Вице-президент Института А.Г. Мурашов доложил Президенту России о результатах работы ученых МОУ «ИИФ» по созданию и усовершенствованию костюмов водолазного и сухопутного снаряжения, оснащенных системами локального обогрева, а также образцов эвакуационного мешка, системы обогрева для перелива инфузионных растворов в полевых условиях (капельница), которые предназначены для работы медиков в условиях низких температур (выдерживают морозы до  $-35^{\circ}\text{C}$ ). Работа в этом направлении ведется Институтом по поручению министра обороны. Президент заинтересовался снаряжением с локальным обогревом, расспросил сотрудников Института, которые демонстрировали образцы снаряжения и были одеты в эти костюмы, об их удобстве и функциональности.

МОУ «ИИФ» представлял инновационные решения на экспозициях в четырех павильонах форума 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.

О разработках Института в области навигации командующему РВСН С.В. Каракаеву доложил начальник управления навигационных систем и комплексов МОУ «ИИФ», почетный геодезист России, д.тн, профессор С.Б. Беркович. Заместитель командующего РВСН по вооружению С.И. Пороскун, посетивший стенд Института, заинтересовался новыми периметровыми охранными извещателями серии «Траверс», быстровозводимыми бронированными сооружениями и светопрозрачными бронированными конструкциями.



На торжественную церемонию закрытия прибыл премьер-министр РФ Д.А. Медведев. Премьер-министр так же посетил павильон, в котором была размещена экспозиция МОУ «ИИФ», поблагодарил за работу и отметил, что уже знаком и оценил инновационные разработки серпуховских ученых.

По итогам форума МОУ «ИИФ» награжден почетным дипломом в номинации «Системы топогеодезического и навигационного обеспечения», дипломом «За вклад в подготовку и организацию Международного военно-технического форума «Армия-2015».

На церемонии закрытия Статс-секретарь – заместитель министра обороны РФ Н.А. Панков вручил Президенту – Председателю Правления МОУ «ИИФ» А.Н. Царькову статуэтку-символ форума как руководителю организации – официального партнера форума «Армия-2015».

Во время подведения итогов Международного военно-технического форума «Армия-2015» был сделан вывод, что цели форума, главная из которых формирование положительного имиджа Вооруженных сил России, достигнуты.

## МОУ «ИИФ» НА МЕЖДУНАРОДНОМ САЛОНЕ «КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ-2015»

Институт инженерной физики стал официальным партнером и активным участником VIII Международного салона средств обеспечения безопасности «Комплексная безопасность-2015» – крупнейшей в России выставки средств спасения и безопасности. Салон проводился в соответствии с распоряжением Правительства РФ и представил результаты выполнения ряда решений Правительства по стимулированию развития и внедрения передовых технологий в сфере безопасности, формирования новых подходов к решению проблем внедрения интегрированных систем безопасности государства и личности.

Продукция и перспективные разработки были представлены 378 компаниями из 7 стран мира в 11 тематических разделах салона: пожарная, ядерная, радиационная, экологическая, транспортная, промышленная безопасность, средства спасения, техника охраны, защита и оборона, безопасность границы, информационные технологии, медицина катастроф.

МОУ «ИИФ» представил на выставке охранные извещатели нового поколения, инновационные медикаментозные лекарственные средства двойного назначения, систему жизнеобеспечения военнослужащих на основе систем локального обогрева, а также инновации в области навигации, связи, защиты информации.

Экспозицию Института инженерной физики посетили представители федеральных министерств и ведомств, силовых структур, предприятий оборонно-промышленного комплекса



России и других стран – участниц салона. Обсуждались технические характеристики, сферы внедрения и тактика применения представленных образцов.

Посетителей выставочной площадки Института особенно заинтересовала линейка новых периметровых охранных извещателей серии «Траверс».

По итогам салона МОУ «ИИФ» награжден дипломами в номинациях: «Лучшие комплексные решения в области средств связи», «Лучшие инновации в области комплексной безопасности», а также дипломами участника и официального партнера Международного салона «Комплексная безопасность – 2015».

## ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ – В АКАДЕМИИ ХОЛОДА

Решением Общего собрания Международной Академии Холода (МАХ) МОУ «ИИФ» избран коллективным членом Академии. А старший научный сотрудник Института, почетный работник науки и техники РФ, кандидат технических наук В.В. Редькин избран членом-корреспондентом МАХ.

МАХ – общественная организация, объединяющая ведущих ученых и специалистов в областях холодильной и криогенной техники, техники кондиционирования воздуха, технологий хранения и переработки пищевых продуктов, машин и агрегатов пищевых производств, экологии, экономики, подготовки и переподготовки кадров, менеджмента, финансов.

Деятельность Академии осуществляется через национальные и региональные отделения. В составе МАХ: Российское и Украинское национальные отделения, Балтийское межнациональное отделение, двенадцать региональных отделений. Члены МАХ представляют такие страны, как Германия, Италия, Китай, Польша, США, Узбекистан, Франция, Финляндия, Чехия, Белоруссия, Болгария, Грузия, Дания, Швейцария, Корея, Алжир, Индия, Гвинея, Иордания и другие.

В составе Академии более 1650 членов. Среди них лауреат Нобелевской премии, свыше 400 профессоров, докторов и кандидатов наук. Коллективными членами МАХ являются более 170 фирм и организаций, научно-исследовательских институтов, вузов, компаний.



## AUTHORS

**Victor E. Aksionov.** Honoured scientist of Russia, Dr.Sci.Tech., professor. Branch of the Military academy of the Strategic missile forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

**Lioudmila V. Bogdanova.** Candidate of medical sciences, senior scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny I., 1a. Senior scientist, The Institute of Theoretical and Experimental Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.

**Aleksey A. Burmistrov.** Scientist. Branch of the Military academy of the Strategic missile forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

**Georgiy V. Detkov.** Chief engineer. Informational technologies and electronic communications Limited Liability Company. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 4.

**Nikolay A. Didkovskiy.** Honored doctor of Russia, Doctor of medical sciences, professor. Head of Clinical pathology laboratory. Science research institute of Physical-Chemical Medicine of State Medical-Biological Agency of Russia. Moscow, Malaya Pirogovskaya st., 1a.

**Nikolay M. Emelin.** Honoured scientist of RSFSR, Dr.Sci. Tech., professor. Federal state scientific institution "Gosmetod-centr". Moscow, Lusinovskaya st., 51.

**Dmitriy D. Ivanov.** Scientist. Branch of the Military academy of the Strategic missile forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

**Evgeniy A. Isaev.** Cand.Tech.Sci. Professor. National Research University "Higher School of Economics". Moscow, Kirpichnaya st., 33.

**Natalia B. Karmen.** Doctor of medical sciences, senior scientist. The Institute of Theoretical and Experimental Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3. Main Clinical Hospital Ministry of Internal Affairs of Russia (Moscow). Moscow, Narodnogo Opolcheniya st., 35.

**Oleg V. Kemaev.** Cand.Tech.Sci., senior scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny I., 1a.

**Maria M. Kniazeva.** Postgraduate student. programmer engineer. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny I., 1a.

**Igor A. Kochetov.** Candidate of military science. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

**Aleksey V. Kochurov.** Postgraduate student. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny I., 1a.

**Sergey A. Kornienko.** Cand.Tech.Sci., associate professor. Institute of Information Technology and Telecommunications of the North Caucasian Federal University. Stavropol, Kulakova av., 2.

**Vasilij V. Kornilov.** Cand.Tech.Sci., associate professor. National Research University "Higher School of Economics". Moscow, Kirpichnaya st., 33.

**Aleksey A. Korobkov.** Cand.Tech.Sci., associate professor. Senior scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny I., 1a.

**Alexander V. Kosiak.** Cand.Tech.Sci., senior scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny I., 1a.

**Mikhail V. Kozlov.** Candidate of Physics and Mathematics sciences, associate professor. Lomonosov Moscow State University. Moscow, GSP-1, Leninskije gory.

**Sergey A. Krynskiy.** Clinical resident. Clinical pathology laboratory. Science research institute of Physical-Chemical Medicine of State Medical-Biological Agency of Russia. Moscow, Malaya Pirogovskaya st., 1a.

**Maxim V. Kulik.** Scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny I., 1a.

**Valeriy K. Kurochka.** Honored doctor of Russia, candidate of medical sciences, professor. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny I., 1a.

**Alexander Y. Lapkovskiy.** Cand.Tech.Sci., senior scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny I., 1a.

**Eugeniy I. Maevskiy.** Dr.Sci.Tech., professor. Vice-director for research. The Institute of Theoretical and Experimental

Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya st., 3.

**Irina K. Malashenkova.** Candidate of medical sciences. Head of Laboratory of immunology and virology. National Research Center «Kurchatov Institute». Moscow, Akademika Kurchatova sq., 1.

**Danila P. Motasov.** Ministry of Defence of the Russian Federation.

**Oleg F. Pashayev.** Postgraduate student. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

**Vladimir P. Pashintsev.** Honored Worker of Higher School of Russia. Dr.Sci.Tech., professor. Senior scientist. IPO «IEP». Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny I., 1a.

**Alexander A. Pavlov.** Dr.Sci.Tech., professor. Institute of IT development of education of Russian Academy of Education. Moscow, Pogodinskaya st., 8.

**Pavel A. Pavlov.** Cand.Tech.Sci., senior scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny I., 1a.

**Alexander Y. Popov.** Cand.Tech.Sci., associate professor. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

**Sergey V. Podvigin.** Cand.Tech.Sci., associate professor. Senior scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny I., 1a.

**Anton V. Podzorov.** Cand.Tech.Sci. Scientist. IThe Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

**Aleksey Y. Poriadin.** Adjunct. The Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

**Victor V. Red'kin.** Cand.Tech.Sci., Senior scientist. Institute of Engineering Physics. Bolshoy Udarny I., 1a.

**Alexander P. Repiakh.** The Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

**Irena V. Robert.** Doctor of pedagogical sciences, academician of the Russian Academy of Education. Acting director. Institute of IT development of education of Russian Academy of Education. Moscow, Pogodinskaya st., 8.

**Irina V. Sedova.** Candidate of pedagogical sciences, senior scientist. Institute of Engineering Physics. Bolshoy Udarny I., 1a.

**Sergey N. Shimanov.** Dr.Sci.Tech., professor. Deputy of general director. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny I., 1a.

**Dmitriy V. Smirnov.** Dr.Sci.Tech., associate professor. General director – First Vice-President of Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny I., 1a.

**Anatoliy I. Smorodin.** Dr.Sci.Tech., professor. Bauman Moscow State Technical University. Moscow, 2-d Baumanskaya st., 5.

**Denis Y. Sorokin.** Scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny I., 1a.

**Valeriy S. Stetsevich.** Scientist. Moscow Institute of new IT. Moscow, Yartsevskaya st., 30.

**Dmitriy V. Tarasov.** Postgraduate student. Chief expert. The Institute of Mathematical Problems of Biology. Moscow, Bolshaya Andronievskaya st. 33.

**Pavel A. Tarasov.** Jr. scientist. Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny I., 1a.

**Aleksey N. Tzar'kov.** Honoured scientist of Russia, Dr.Sci. Tech., professor. President of Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny I., 1a.

**Vladimir A. Tsimbal.** Honoured scientist of Russia, Dr.Sci. Tech., professor. Head scientist at Institute of Engineering Physics. Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarny I., 1a.

**Aleksey A. Vasil'chenko.** Adjunct. Branch of the Military academy of the Strategic missile forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

**Amin M. Zakarov.** Candidate of medicine, jr. scientist. Institute of Theoretical and Experimental Biophysics. Moscow reg., Pushchino, Institutskaya St., 3.

**Evgeniy P. Zaramenskikh.** Cand.Tech.Sci. Titular professor. National Research University "Higher School of Economics". Moscow, Kirpichnaya st., 33.

## 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.**
- **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

**V.K. Kurochka.** Biomedical direction in the structure of Institute of engineering physics is a new direction in the research work..... 1

### **Instrument making, metrology and information-measuring devices and systems**

**N.M. Emelin.** The method of equivalent transformations of Markov models of diagnostics of technical systems ..... 4

**D.V. Smirnov, E.P. Zaramenskikh, I.A. Kochetov, A.V. Podzorov.** Guidelines for the calculation of the necessary equipment and staff assessment of the continuity of monitoring of mobile objects ..... 7

### **Radio engineering and communications**

**S.A. Kornienko.** Analysis of the performance criteria in the evaluation of the construction of systems of radio monitoring ..... 12

**V.A. Tsimbal, A.A. Vasil'chenko, A.V. Kochurov.** Mathematical modeling of the process of establishing a connection to the GSM network..... 16

**S.N. Shimanov, A.I. Kosiak, D.V. Tarasov.** Exclusion of anomalous objects in solving the problem of clustering data ..... 23

### **Information, computing and management**

**A.A. Pavlov, I.V. Robert, A.N. Tsar'kov, P.A. Pavlov, D.E. Sorokin, A.A. Burmistrov, D.D. Ivanov.** Test-code error correction of static random access memory ..... 31

**E.A. Isaev, V.V. Kornilov, P.A. Tarasov, G.V. Detkov.** Using a three-tier architecture «client-server» in modern data processing systems..... 38

**V.E. Aksionov, A.U. Poriadin.** A mathematical model of a complex prelaunch calibration of accelerometers with nonlinear optimal estimation of parameters in the mobile point of decomposition and without a priori information ..... 44

**D.V. Smirnov, V.S. Stetsevich.** The vulnerability of information systems using virtualization technology..... 49

**A.E. Popov, D.P. Motasov.** The approach to assessing the safety of the transport elements of missile weapons on the territories of some routes and rail network ..... 54

**V.V. Red'kin, A.A. Korobkov, M.V. Kulik, M.V. Kozlov, A.I. Smorodin.** Features of the analysis of the efficiency of cryogenic systems and installations backup modes ..... 59

### **Modern medicine and pharmaceuticals**

**N.A. Didkovskiy, I.K. Malashenkova, S.A. Krynskiy, E.I. Maevskiy.** Pathogenetic mechanisms of acute anaphylaxis..... 63

**N.B. Karmen, A.M. Zakarov, L.V. Bogdanova.** Side effects intravenous administration «Perftoran» ... 68

**I.K. Malashenkova, N.A. Didkovskiy, S.A. Krynskiy, L.V. Bogdanova.** Influence of nanoemulsions PFC at the system of phagocytes ..... 71

### **Equipment special purpose**

**O.V. Kemaev, A.Y. Lapkovskiy, V.V. Red'kin, A.A. Korobkov.** The principle of using in cold boxes for the transportation of thermolabile medical products ice packs and heat cartridge ..... 75

**O.F. Pashaev.** A mathematical model of the dynamic behavior of planetary variator ..... 78

**A.P. Repiakh.** Methods for solving the problem of elastic-plastic scroll torus ..... 85

**S.V. Podvigin, I.V. Sedova, M.M. Kniazeva.** Selecting a block diagram of the power supply system based on alternative energy sources for the Southern Moscow region ..... 91

### **Scientific reviews. Scientific critique. Comments**

**V.V. Pashintsev, V.A. Tsimbal.** Ionospheric research at the Institute of engineering physics..... 99

**Events** ..... 100

**Authors** ..... 102

**Requirements to authors** ..... 103



# Инновационный препарат «ФлюоСан»

новый искусственный материал биомедицинского назначения на основе инертных перфторорганических и бромперфторированных соединений

ФлюоСан

**Разработан** под руководством Лауреата премии Правительства РФ в области науки и техники по медицине, Лауреата первой национальной премии «Призвание» лучшим врачам России, доктора медицинских наук, профессора Маевского Евгения Ильича

**Назначение** – лечение острой кровопотери, нарушений кровотока, синдрома длительного сдавления тканей; политравмы, тяжелой черепно-мозговой и спинальной травмы; детоксикационная терапия, в том числе при поражении боевыми отравляющими веществами, гидрофобными психотропными токсинами; путём ослабления поражающего действия жесткого ультрафиолетового излучения; ускорение заживления острых, хронических, трофических, инфицированных ран, язв, ожогов, обморожений.

## Область применения:

- лечение гиповолемии, дефицита и поражения эритроцитов, сосудистой и воспалительной патологии, ускорение заживления острых и хронических ран и язв, в том числе инфицированных и трофических повреждений тканей, нарушений общего и локального кровотока;
- защита тканей от кислородного голодания и ишемии, цитопротекция при действии агрессивных компонентов окружающей среды, синдроме длительного сдавления тканей при авариях, землетрясениях, катастрофах на шахтах и в иных чрезвычайных ситуациях, связанных с длительным сдавливанием тканей;
- возмещение острой кровопотери в чрезвычайных ситуациях независимо от группы крови, остроты и массивности кровопотери, уменьшение потребности в компонентах донорской крови;
- лечение переохлаждения, кессонной болезни, жировой и газовой эмболии после политравмы;
- лечение центральных и периферических обтурационных заболеваний сосудов (инсульта, инфаркта, при атеросклерозе, эндартериите, сахарном диабете, тромбозах).

**Фармакология:** готовая форма для внутрисосудистого, внутритканевого, внутреннего и наружного применения.



## Некоторые практические аспекты применения препарата

Создание нового типа диагностических рентгеноконтрастных препаратов, обладающих лечебным действием

Лечение поражений сосудов, ран, язв, ожогов и обморожений с минимизацией вероятности образования грубых рубцов, предотвращение воспалительных и цирротических повреждений, некроза тканей.

Уменьшение потребности в донорской крови и ее компонентах, повышение эффективности газообменной функции собственных и донорских эритроцитов, длительное сохранение изолированных органов и тканей при операциях и в трансплантологии.

Создание отечественного производства эмульсионных сред для парентерального питания, липофильных анестетиков для нужд реанимации.

Создание новых изделий для офтальмологии, биоматериалов на основе стволовых клеток для лечения дефектов мягких и костных тканей, остеопороза.



# Инновационный препарат «TAMERON»

новое уникальное лекарственное средство на основе модифицированного препарата «ТАМЕРИТ», представляющее принципиально новое поколение иммунотропных лекарств

**Разработан** под руководством доктора медицинских наук, профессора Абидова Мусы Тажудиновича.

**Назначение** – управляемая модуляция иммунной системы человека в общеклинической, полевой и госпитальной медицинской практике, а также при профилактике специфических заболеваний

**Фармакология:** противовоспалительное, детоксикационное, иммуномодулирующее, антиоксидантное действие

## Область применения:

- острые воспалительные заболевания (*кишечные инфекции, вирусные гепатиты, туберкулез, менингиты, заболевания мочеполовой сферы, остеомиелит, пневмонии и др.*);
- токсико-септические состояния (*остеомиелит*);
- хронические воспалительные заболевания, в том числе с аллергическим и аутоиммунным компонентами в патогенезе;
- обструктивный бронхит, бронхиальная астма, туберкулез, саркоидоз, хронический простатит, уретрит, эндометрит, аднексит и др.;
- различные сосудистые нарушения (*диабетические ангиопатии, эндартерииты и связанных с ними осложнениями, ишемические*);
- сочетанные инфекции: ВИЧ инфекция + туберкулез, ВИЧ инфекция + гепатит В (С) и др.;
- после операционные инфекционные осложнения, язвенная болезнь желудка и двенадцатиперстной кишки;
- начальные стадии раковых заболеваний, вторичная иммунная недостаточность, в том числе у людей, получающих лучевую и химиотерапию, а также с профессионально вредной нагрузкой.



## Ожидаемый эффект от применения препарата

Уменьшение необходимости использования дорогостоящих лекарственных средств. Отказ от госпитализации в ряде случаев. Фармако-экономические выгоды: при малой стоимости более высокая скорость излечения и восстановительной реабилитации – экономия бюджетного и муниципального финансирования, снижение загрузки стационаров за счет увеличения оборота больных и доли больных, проходящих амбулаторное лечение.

Сокращение сроков лечения и восстановления работоспособности по сравнению со средствами современной терапии в 2-3 раза при широком круге заболеваний, ранениях, специфических поражениях (радиация, тяжелые формы отравлений и т.д.).

Повышение на 50-70 % эффективности лечения травм, ранений и заболеваний за счет сочетанного применения препарата «TAMERON» с другими традиционно используемыми препаратами.