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

В НОМЕРЕ

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

8 **В.А. Мукминов, Ю.В. Войнов.** Обоснование необходимости и порядок применения средств обнаружения компьютерных атак

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ

12 **Н.С. Кукин, И.В. Некрасов.** Расчет эталонных переходных процессов и оценка оптимальности управления в динамической системе

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ

21 **С.А. Редкозубов, В.Н. Орлов, А.З. Пчелова.** Исследование приближенного решения задачи Коши одного нелинейного дифференциального уравнения в окрестности подвижной особой точки

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

28 **И.А. Никитин.** Методика выбора рационального варианта территориально-распределенной структуры экспертно-информационной системы управления развитием вооружения и военной техники

32 **В.В. Харитонов, А.А. Есев, А.Н. Мережко, А.П. Зыкин.** Структурный системный анализ процессов управления затратами на летные испытания авиационного вооружения и военной авиационной техники

ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

36 **В.В. Зеленевский, Ю.В. Зеленевский, Е.В. Шмырин.** Синтез недвоичных корректирующих кодов преобразованиями двоичных последовательностей Рида-Маллера

ИНФОРМАЦИОННО-РАСЧЕТНЫЕ СИСТЕМЫ

40 **А.И. Тихонов, Н.С. Ефимова, В.М. Романов.** Метод экономического обоснования реализации внедрения информационных систем в авиационной промышленности

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

47 **Л.Н. Соловьёва, Г.Д. Гриценко.** Информационное общество: теоретико-методологический конструкт

СИСТЕМЫ СВЯЗИ

52 **В.М. Самарцев.** Метод активизации радиотехнического контроля на основе концепции мониторинга функционирования радиоэлектронных средствк

АНТЕННЫ. РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

55 **В.И. Бутин, П.Я. Кундышев.** Особенности волнового режима экранирования электромагнитного поля оболочкой радиоэлектронной аппаратуры в высокочастотном диапазоне при мощных микроволновых воздействиях

МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

58 **С.В. Дворянкин, В.М. Алюшин.** Метод реконструкции гармонической структуры спектральных описаний искаженной шумами и помехами речи

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

64 **С.В. Маслов.** Некоторые вопросы проектирования экспертной системы оценки качества и технического состояния строительных объектов

ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА

67 **М.В. Руфицкий, А.Н. Золотов.** Принцип построения быстродействующих оптоэлектронных цифро-аналоговых преобразователей

71 **А.В. Афонин, А.И. Лоскот, А.И. Дедуль, В.М. Исаев.** Влияние низкоинтенсивных высокоэнергетичных атмосферных нейтронов на бортовую электронную аппаратуру авиационной техники

76 **О.Р. Никитин, М.В. Руфицкий, К.В. Скворцов, Т.Ф. Рау, А.В. Осин, В.Г. Рау.** Мониторинг и моделирование поверхности материалов, используемых в технологии «ALOX™»

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

80 **С.Ю. Дмитриев, А.В. Гуляев.** Методика рекуррентного оценивания информационных параметров системы управления технологическим проектированием элементов военной техники

НАВИГАЦИЯ

84 **Р.Н. Садеков, А.Г.Букин, С.В. Мальцев.** Опыт разработки и применения фильтра частиц в задаче навигации подвижного объекта

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

90 **В.Н. Умников, А.Н. Царьков, М.Г. Заводчикова.** Современная кластеризация как комплементно развивающийся управляемый системно инновационный социально-экономический процесс

ПОДГОТОВКА КАДРОВ

96 **Н.М. Емелин, П.А. Рябов.** Развитие и оценка уровня профессиональной мотивации студентов

100 **Е.И. Буданова, В.Р. Медведев, Т.С. Цуроев, М.В. Фёдоров.** Характеристика ценностных ориентаций военнослужащих-контрактников

Научно-технический журнал
ИЗВЕСТИЯ
Института инженерной физики

Издается с апреля 2006 года
Выходит ежеквартально

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

Главный редактор
Алексей Николаевич Царьков
заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор

Заместитель главного редактора
Роман Леонидович Мусатов
кандидат технических наук

Выпускающий редактор
Игорь Павлович Новожилов

Редакционная коллегия
Евгений Михайлович Ананьев
кандидат технических наук
Олег Николаевич Андрух
кандидат технических наук, доцент
Сергей Борисович Беркович
доктор технических наук, профессор
Владимир Эрнестович Бородай
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
Игорь Александрович Бугаков
заслуженный изобретатель РФ,
доктор технических наук, профессор
Александр Михайлович Вальваков
доктор технических наук
Владимир Иванович Злобин
заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор
Сергей Васильевич Иванушкин
доктор военных наук, доцент
Николай Николаевич Казаков
член Союза писателей России
Валерий Геннадьевич Маслов
кандидат технических наук
Борис Петрович Смирнов
доктор технических наук, профессор
Дмитрий Вячеславович Смирнов
доктор технических наук, доцент
Сергей Владимирович Смуров
доктор технических наук, профессор
Владимир Анатольевич Цимбал
заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор

ISSN 2073-8110

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

Адрес редакции: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а.
Тел: 8 (4967) 35-31-93, 35-13-71
Факс: 8 (4967) 35-44-20
http://www.iifrf.ru
e-mail: iifrfinfo@gmail.com info@iifrf.ru

Свидетельство о регистрации ПИ №ФС77-26650 от 20 декабря 2006 г.

Отпечатано в типографии ЗАО «А-Принт»
Подписано в печать 06.05.2013. Тираж 2000 экз.
© Межрегиональное общественное учреждение
«Институт инженерной физики» (ИИФ), 2013

научно-технический журнал
Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ
№ 2 (28)
2013

Редакционный совет

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

Валерий Петрович Баранов
генерал–полковник
доктор исторических наук, профессор

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

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

Ярослав Андреевич Ваграменко
доктор технических наук, профессор
Президент академии информатизации образования

Анатолий Николаевич Геращенко
доктор технических наук, профессор
Ректор Московского авиационного института

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

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

Владимир Дмитриевич Киселев
доктор технических наук, профессор
Директор Тульского филиала Орловской академии госслужбы

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

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

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

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

Юрий Александрович Романенко
заслуженный деятель науки РФ
доктор технических наук, профессор

Валерий Николаевич Умников
доктор технических наук, профессор
Президент Академии проблем сохранения жизни

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

Дмитрий Алексеевич Рыжков

Начальник Главного управления специальных программ Президента Российской Федерации

Дорогие наши друзья, уважаемые коллеги!

Мне приятно отметить, что без малого десять лет коллектив вашего Института успешно справляется с возложенной нами функцией научно-исследовательской организации Государственного заказчика в интересах создания информационно-телекоммуникационного обеспечения органов государственной власти Российской Федерации. В рамках этой работы Институт ведет научно-техническое сопровождение, проводит анализ и систематизацию полученных результатов, участвует в подготовке, проведении и приемке соответствующих научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по заказу ГУСП.

МОУ «ИИФ» хорошо известен в научно-технических кругах страны по выполняемым работам в области автоматизированных систем управления и связи, специального программного обеспечения, информационной безопасности, наземной навигации подвижных объектов, геоинформационных и Интернет-технологий, имитационного моделирования сложных систем и в других областях науки и техники.

Особенно хочется подчеркнуть, что все, чего добился Институт, достигнуто упорным и целеустремленным трудом всего коллектива, основу которого составляют ученые и специалисты, офицеры и генералы запаса, обладающие высокой научной подготовкой, работоспособностью и ответственностью за результаты своего труда, наличием командного духа и системного подхода при решении поставленных задач.

От всей души поздравляю ветеранов и нынешнее поколение сотрудников с двадцатилетием Института! Желаю всем крепкого здоровья и профессиональных успехов! Выражаю искреннюю признательность и благодарность за многолетнее плодотворное сотрудничество на благо нашего Отечества – великой России!

Михаил Алексеевич Моисеев

Депутат Государственной Думы,
Председатель Российского Комитета ветеранов войны и военной службы

генерал армии

Уважаемые коллеги, боевые друзья, ветераны войны и военной службы!

Горячо и сердечно поздравляю вас со знаменательной датой – 20-летием со дня образования Института инженерной физики, который за годы своего существования стал ведущим научно-исследовательским учреждением Московской области.

Многие проекты, разработанные сотрудниками Института, непосредственно связаны с оборонзаказами и укреплением оборонной мощи государства. Ваш коллектив, укомплектованный в основном военными учеными Серпуховского военного института ракетных войск, зарекомендовал себя только с положительной стороны, внес достойный вклад в развитие современного вооружения и техники. Мы гордимся вами и вашими достижениями в развитии науки и совершенствовании инновационного образования.

Глубокого уважения заслуживает Институт за создание в Вооруженных силах системы социальной адаптации увольняемых военнослужащих. По инициативе Игоря Ивановича Алаторцева и Алексея Николаевича Царькова при Институте был создан «Серпуховский региональный инновационный учебно-научный и производственный центр профессиональной адаптации военнослужащих и членов их семей». Центр принимал активное участие в разработке и выполнении государственной и областной программ социальной адаптации. Были реализованы пилотные проекты по развитию системы социальной адаптации в отдаленных гарнизонах, создана единая интегрированная система информационного обеспечения справочно-консультационных пунктов в военных городках и воинских частях Западного военного округа. Все это позволило МОУ «ИИФ» занять лидирующие позиции и в военно-социальной сфере, оказывать адресную поддержку ветеранам войны и военной службы.

Желаю сотрудникам Института покорения новых вершин в военной науке, творческих успехов в труде, использования интеллектуального потенциала для возрождения и укрепления нашей великой России!

С праздником, дорогие друзья! С юбилеем!

Доброго здоровья вам и вашим близким!

Юрий Иванович Борисов

Заместитель Министра обороны Российской Федерации

доктор технических наук

В современной России, уверенно стоящей на инновационном пути развития, большое значение уделяется научным изысканиям. И это абсолютно закономерно, ведь не только экономические успехи государства, но и его обороноспособность напрямую зависят от уровня развития науки и техники.

Приятно отметить, что благодаря высокому профессионализму, неиссякаемому энтузиазму и завидной целеустремленности руководству Межрегионального общественного учреждения «Институт инженерной физики» удалось создать уникальную организацию, ведущую многогранную, плодотворную работу, прежде всего в научно-образовательной и инновационной сферах.

В Министерстве обороны Российской Федерации хорошо известно, что научный потенциал и экспериментально-производственная база МОУ «ИИФ» позволяют обеспечивать эффективную научно-исследовательскую деятельность, формирование новых научно-технических направлений и развитие научно-технического сотрудничества со многими российскими организациями и предприятиями. И в первую очередь с теми, кто определяет современное состояние отечественного Оборонно-промышленного комплекса и занимается оснащением Вооруженных сил Российской Федерации современными образцами вооружения и военной техники.

Уважаемые коллеги! Примите самые искренние и теплые поздравления с 20-летием со дня основания Межрегионального общественного учреждения «Институт инженерной физики»! Желаю вашему дружному и работоспособному коллективу неиссякаемой энергии, плодотворной работы и дальнейших творческих успехов!

Убежден, у Института инженерной физики большое будущее!

Виктор Михайлович Заварзин

Первый заместитель председателя Комитета Государственной думы по обороне

генерал-полковник

Уважаемые коллеги!

Приятно осознавать, что в многопрофильной деятельности Межрегионального общественного учреждения «Институт инженерной физики» одним из стратегических приоритетов является выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, направленных на повышение обороноспособности нашего государства.

Мощный научный потенциал и солидная экспериментально-производственная база позволяют Институту проводить уникальные разработки по многим направлениям науки и техники и, в первую очередь, по Государственному оборонному заказу. Ученые и исследователи МОУ «ИИФ» демонстрируют значимые достижения как в фундаментальных, так и в прикладных отраслях, вносят ощутимый вклад в решение актуальных научных и научно-технических проблем.

Среди российских специалистов в военной и оборонной отраслях хорошо известны оригинальные разработки ученых МОУ «ИИФ» в области информационной безопасности, энергосберегающих технологий, конструкций баллистической защиты объектов вооружения, военной и специальной техники, конструкций тактических глушителей звука выстрела стрелкового оружия, светопрозрачных бронированных конструкций со специальными свойствами, оценки последствий воздействия физических полей естественного и искусственного происхождения на различные объекты и системы, автоматизированных систем управления и связи, конверсии углеводородных моторных топлив, имитационного моделирования сложных систем, искусственного интеллекта и других. А разработанная и прошедшая государственные испытания инерциально-спутниковая навигационно-геоинформационная система с повышенной информационной надежностью вообще не имеет мировых аналогов!

Дорогие друзья! От всей души поздравляю Институт инженерной физики с 20-летием со дня основания! Всему коллективу желаю крепкого здоровья, кипучей творческой энергии и научных побед во благо процветания нашей Родины – великой России!

Сергей Викторович Каракаев

Командующий Ракетными войсками стратегического назначения

генерал-полковник

кандидат военных наук

От имени Командования Ракетных войск стратегического назначения и от себя лично сердечно поздравляю коллектив Межрегионального общественного учреждения «Институт инженерной физики» с юбилеем – 20-летием со дня образования!

Деятельность Института подчинена главной цели: на основе единства фундаментальной и прикладной науки, производства и образования обеспечить создание образцов военной техники для РВСН нового поколения и формирование новых научно-технических направлений и школ. Мощный научный потенциал и современная экспериментально-производственная база Института – основа для достижения поставленной цели.

Широко известны научные и практические результаты МОУ «ИИФ» в области астрономо-геодезического обеспечения РВСН – это принятие на снабжение ВС РФ автоматической системы определения астрономического азимута, не имеющей мировых аналогов по своим техническим характеристикам, проведение ОКР по созданию и развитию топогеодезической основы ПР ПГРК повышенной точности. Также серьезные научно-практические результаты получены в ходе выполнения НИР и ОКР по созданию базовых технологий производства навигационно-геоинформационных систем и комплексов, обеспечивающих повышение мобильности БРК, систем неразрушающего контроля конструкций пусковых установок, по модернизации АСУ и связи, по обеспечению безопасности информации и разработке специальных средств и систем ее защиты от несанкционированных пользователей, а также сертификации средств защиты информации.

Приоритетным направлением деятельности Института является работа по социальной адаптации и социальной защите офицеров, посвятивших свою жизнь службе в РВСН. Широкое вовлечение в творческий процесс молодежи на базе созданной Ассоциации муниципальных образований «Южное Подмосковье», инновационно-технологическим центром которой стал МОУ «ИИФ», свидетельствует о правильности выбранного пути и хороших перспективах Института.

Уверен, что коллектив МОУ «ИИФ» и в дальнейшем будет успешно решать задачи по разработке и созданию новых образцов вооружения и военной техники, поддержанию ракетного вооружения в готовности к выполнению боевых задач.

Желаю крепкого здоровья, благополучия и новых успехов в нелегком, но важном и благородном деле укрепления обороноспособности нашей Родины.

Митрополит
Крутицкий и Коломенский
Управляющий
Московской епархией
Ювеналий

Уважаемый Алексей Николаевич!
Дорогие братья и сестры!

Примите сердечные поздравления с юбилеем Института инженерной физики. Хочется пожелать Вам новых творческих свершений в трудах в области точных наук на благо России. Ваши достижения являются свидетельством того, что богатые академические традиции в нашем Отечестве не только сохранены и приумножаются, но и находят многообразное практическое применение.

Радостно то, что Ваш Институт поддерживает добрые отношения с Серпуховским благочинием. Есть у Вас и место для молитвы – часовня в честь преподобного Алексия, человека Божия. Этим подтверждается, что между верой и наукой на просвещенный взгляд нет ни конфликта, ни противоречий. Вспомним слова Священного Писания: «Господь дает мудрость, из уст Его – знание и разум» (Прит. 2, 6).

Пусть и впредь созидательная деятельность Института инженерной физики будет плодотворной и успешной. Всем сотрудникам желаю здоровья и счастья. Пусть не оставляет Вас дух творческого сотрудничества и поиска новых открытий.

Божие благословение да пребывает
со всеми Вами!

Валентина
Ивановна
Лагункина
Министр социальной
защиты
Правительства
Московской области

Институт инженерной физики одним из первых в Московской области приступил к решению задач социальной адаптации военнослужащих, граждан, уволенных с военной службы, и членов их семей, используя потенциал профессорско-преподавательского состава Серпуховского ВВКИУ РВ.

Институт превратился в научную, образовательную и производственную структуру, обеспечивающую реализацию потенциальных возможностей военнослужащих в сфере их социальной адаптации.

Благодаря приобретенным в стенах Института инженерной физики знаниям сотни высокопрофессиональных специалистов из числа бывших военнослужащих успешно трудятся на предприятиях Подмосковья, являются эффективными предпринимателями, управленцами и решают вопросы социально-экономического развития Московской области.

Сегодня Институт отмечает 20-летие своего создания. Можно с уверенностью сказать, что его коллектив, оценивая пройденный путь, полон сил, энергии, оптимизма и стремления достичь новых вершин в своей деятельности.

Сердечно поздравляю коллектив Института с 20-летним юбилеем, выражаю благодарность и признательность за весомый вклад в решение важных социальных задач Московской области!

Желаю всем сотрудникам Института счастья, здоровья, благополучия и новых творческих успехов во благо процветания России и Подмосковья!

Вячеслав Борисович Крымов

Председатель Комитета по экономике, предпринимательству и инвестиционной политике Московской областной думы

Заслуженный экономист Российской Федерации, доктор экономических наук

Уважаемые друзья!

К своему 20-летнему юбилею Институт инженерной физики подошел как эффективно действующий инжиниринговый центр, выполняющий широкий спектр фундаментально-поисковых, научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, осуществляющий многообразные и разноплановые образовательные проекты, внедряющий передовые достижения науки и техники в производство, реализующий социально-значимые программы, в том числе по созданию новых рабочих мест в Южном Подмосковье.

Ваши ученые могут по праву гордиться оригинальными научными разработками во многих областях науки и техники, в частности, АСУ и связи, информационной безопасности, наземной навигации подвижных объектов, конверсии углеводородных моторных топлив и других.

Институт вносит существенный вклад в развитие системы непрерывного образования Южного Подмосковья, который связан не только с многообразием предоставляемых непосредственно Институтом и действующими на его базе учебными учреждениями образовательных услуг, но и с положительным опытом практической реализации перспективных интеграционных тенденций в современном образовании.

Существенно, что работа с молодежью – один из стратегических приоритетов Института. Привлечение в науку студентов позволяет поддерживать, увеличивать и, самое главное, наполнять свежими идеями научный потенциал не только самого Института, но и всей Московской области.

Многообразие форм и методов работы позволили вашему Институту выйти на принципиально новый уровень деятельности – совместную с Московской областной думой и Российским фондом фундаментальных исследований реализацию проекта создания в Южном Подмосковье зоны территориального развития и включения Института инженерной физики в научно-производственный кластер. А это важный показатель эффективности работы!

Поздравляю коллектив МОУ «ИИФ» с юбилеем! Желаю успехов в делах и удачи во всех начинаниях!

Владимир Иванович Елисеев

Директор Российского фонда фундаментальных исследований

Дорогие друзья, уважаемые коллеги!

Примите самые теплые и сердечные поздравления с 20-летним юбилеем Межрегионального общественного учреждения «Институт инженерной физики»!

Созданный в 1993 году группой талантливых и инициативных единомышленников, сегодня Институт инженерной физики является известным в широких российских научных кругах научно-образовательным и производственным центром, успешно реализующим на практике идею интеграции науки, образования и производства. Быстрому прохождению пути от генерации инновационных идей до их реализации способствует высокий уровень квалификации ваших сотрудников и мощная материально-техническая база.

Результаты научно-исследовательских, опытно-конструкторских, производственных работ, образовательные проекты укрепили имидж вашего Института как организации, способной решать задачи как регионального, так и федерального уровней. Это позволило выйти на новый уровень работы – реализацию совместно с Российским фондом фундаментальных исследований и Московской областной думой проекта создания зоны территориального развития в Южном Подмосковье и включения Института в научно-производственный кластер. А учреждение Институтом в 2012 году комплекса «УК-СкИиф» позволит продвигать инновационные научные проекты молодых ученых.

Мне, как директору Российского фонда фундаментальных исследований, приятно констатировать, что ведущие – в том числе и молодые, подающие большие надежды! – ученые вашей динамично развивающейся организации неоднократно становились победителями конкурсов научных проектов и получали гранты РФФИ на проведение научных изысканий.

От всей души желаю большому, дружному и трудоспособному коллективу Института инженерной физики неиссякаемой энергии и дальнейших научных побед!

Павел Николаевич Залесов

Глава города Серпухова

Сердечно поздравляю всех сотрудников Института инженерной физики с 20-летним юбилеем!

Институт инженерной физики – не только современное высокотехнологичное производственное предприятие, но и крупнейший в Серпухове центр науки и образования, объединяющий под своей крышей Учебный центр «Интеграция» МАИ, филиал Университета машиностроения МАМИ и Институт информационных технологий и управления, в которых обучается более 1500 серпуховичей. Большое значение для города имеет и ориентированность МОУ «ИИФ» на социальную адаптацию военнослужащих, уволенных из рядов Вооруженных сил, и членов их семей.

Помимо научной и образовательной деятельности ИИФ ведет активную социальную работу. Расположенный во Владычной Слободе, Институт в первую очередь стремится решать проблемы своего микрорайона, оказывает помощь Владычному монастырю и православной гимназии. При поддержке Института территория монастыря и гимназии оборудована системой видеонаблюдения и пожаротушения, пожарной сигнализацией, домофонами, сетью Интернет. Большую помощь Институт оказывает Серпуховской коррекционной школе, гимназии №1, детскому саду №47 «Радуга», Православному военно-патриотическому клубу им. Князя Владимира Храброго, команде КВН гимназии №1, команде по мини-футболу «Владычная Слобода».

Значительный вклад в безопасность города должна внести разработанная сотрудниками Института инновационная система охраны и видеомониторинга «Безопасный подъезд», которой будут оборудованы подъезды, стоянки и остановки во Владычной слободе, а в перспективе – и по всему городу.

Я выражаю огромную благодарность руководству и сотрудникам ИИФ за социальную и воспитательную работу, которую Институт ведет в Серпухове. Социальные, образовательные и инновационные проекты, осуществляемые Институтом, позволяют повысить безопасность города и воспитывать подрастающее поколение в духе патриотизма, прививать юным серпуховичам любовь к знаниям и стремление трудиться на благо города и страны.

Желаю всему коллективу Института здоровья, спокойствия, благополучия, а Институту в целом – процветания и дальнейших достижений в сфере науки, образования и инноваций!

Доброго здоровья вам и вашим близким!

Алексей Дмитриевич Коннов

Начальник филиала Военной академии РВСН имени Петра Великого

генерал-майор

кандидат философских наук

Уважаемый Алексей Николаевич!

Командование, преподавательский и научный состав филиала Военной академии РВСН имени Петра Великого поздравляют Вас и возглавляемый Вами коллектив Межрегионального общественного учреждения «Институт инженерной физики» с двадцатилетием со дня образования!

Благодаря профессионализму, энтузиазму и целеустремленности, Вашему коллективу удалось создать уникальную организацию, ведущую многогранную работу, прежде всего в научно-образовательной и инновационной сферах деятельности.

Институт инженерной физики стал достойным учреждением в Серпухове и Московской области, приобрел известность и в других регионах Российской Федерации.

Вышедший из недр Серпуховского высшего военного командно-инженерного училища, Институт инженерной физики расширил прием гражданской молодежи, получающей престижное образование в лучших московских вузах.

Сегодня ведется активное сотрудничество научных школ филиала Военной академии РВСН и Института инженерной физики, которое приносит весомые результаты и вносит большой вклад в дело подготовки научно-педагогических кадров, поддержания их дальнейшего развития и становления в качестве ученых, в том числе и со всероссийской известностью.

В работе Института постоянно ощущается высокий творческий потенциал, зрелость технической мысли и оригинальность инженерных решений, воплощаемых в разработках Вашей организации.

Вместе с сердечными пожеланиями благополучия и удачи, желаю Вам и сотрудникам Института инженерной физики здоровья, личного счастья, плодотворной работы и творческих успехов в интересах дальнейшего развития нашего любимого города и направленных на укрепление обороноспособности и обеспечение безопасности Российской Федерации.

Сергей Васильевич Кочетков

Директор ГБУСО МО «Центр социальной адаптации военнослужащих»

Уважаемые коллеги!

Примите самые искренние поздравления с 20-летием Института!

С точки зрения мировой истории 20 лет – всего лишь миг. Но если вести речь об отдельном человеке или организации, созданной и выжившей в период смены общественно-экономической формации, то такая мера времени выглядит значительным отрезком, почти эпохой. Особенно, когда эпоха эта – переломная, включающая в себя взлеты одних и падения других, триумф сотен и беду миллионов.

В 90-е годы XX столетия на обочине жизни оказались тысячи офицеров Вооруженных сил. Для многих из них это было настоящей трагедией. Ведь лучшие свои годы все они отдали армии.

В 1993 году, объединившись небольшой группой ушедших в запас офицеров, вы поставили перед собой задачу – выжить в тех драматических и для России, и для Вооруженных сил условиях. Пройдя через серьезные трудности, вы создали социально-экономическую базу для своей организации и стали помогать тем, кому трудно. В первую очередь – Вооруженным силам, ветеранам, подрастающему поколению.

Вы явились активными участниками создания системы и структуры социальной адаптации военнослужащих, основной целью которой является комплексное решение проблем военнослужащих, граждан, уволенных с военной службы, и членов их семей и защиты их законных интересов в Южном регионе Московской области.

Мы надеемся, что наша совместная социально значимая деятельность на благо развития Московской области будет крепнуть и приумножаться.

Желаю успеха в делах
и удачи во всех начинаниях!

Алексей Николаевич Царьков

Президент Института – Председатель Правления МОУ «ИИФ»

заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор

Дорогие друзья!

Создавая с группой единомышленников Институт инженерной физики, мы даже в самых смелых мечтах не могли предположить, что по прошествии 20 лет наш Институт станет инновационным центром, успешно реализующим на практике идею интеграции науки, образования и производства. В теперь уже далеком 1993 году нас было всего несколько человек, а сегодня научно-производственно-педагогический потенциал МОУ «ИИФ» составляют 635 сотрудников, в числе которых 5 заслуженных деятелей Российской Федерации, 22 доктора наук, 87 кандидатов наук, 21 профессор, 64 доцента.

С 1996 года Институт участвует в выполнении Государственного оборонного заказа, а в 2001-м аккредитован как научная организация Министерством промышленности, науки и технологий РФ. Решением Главного управления специальных программ Президента Российской Федерации с 2008 года на МОУ «ИИФ» возложены функции НИО Заказчика – ГУСП Президента РФ.

Ежегодно растет объем выполняемой Институтом научно-исследовательской и опытно-экспериментальной работы. Для ее эффективного обеспечения и формирования новых научно-технических направлений в МОУ «ИИФ» создан Научно-исследовательский центр, который проводит исследования и разработки по приоритетным направлениям науки и техники.

Под эгидой МОУ «ИИФ» плодотворно осуществляют обучение студентов Учебное подразделение МГТУ «МАМИ» и Учебный центр «Интеграция» МАИ. В 2009 году при МОУ «ИИФ» приступил к работе «Институт информационных технологий и управления». В 2008 году у нас открыта аспирантура, в 2009-м создан диссертационный совет.

Успехи Института инженерной физики – это результат огромного труда и ответственного отношения к делу всех членов нашего дружного коллектива. Я хочу поблагодарить каждого сотрудника Института, потому что мы делаем одно большое дело, и нам есть чем гордиться!

Выражаю искреннюю признательность всем нашим коллегам и партнерам, которые работали с нами эти годы, и надеюсь на дальнейшее плодотворное сотрудничество!

С юбилеем Института инженерной физики, дорогие друзья! Счастья, здоровья, благополучия и процветания!

УДК 004.3

ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ И ПОРЯДОК ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ ОБНАРУЖЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ АТАК

Владислав Аликович Мукминов
кандидат технических наук
начальник отдела
4 ЦНИИ Минобороны России

Юрий Витальевич Войнов
начальник отдела
войсковая часть 31659

Рассмотрена архитектура средств обнаружения компьютерных атак. Предложено комплексное использование известных методов сигнатурного анализа, анализа сетевых аномалий, анализа журналов регистрации и метода использования профилей «нормального» поведения. Применение нового метода динамического контроля технологических операций позволит повысить эффективность обнаружения компьютерных атак, а также выявления несанкционированных подключений к автоматизированным системам управления.

The considered architecture of the facilities of the finding the computer attacks. It is offered complex use the known methods of the signature analysis, analysis network anomaly, analysis journal to registrations and method of the use the profiles «normal» behaviours. Using the new method of the dynamic checking technological operation will allow to raise efficiency of the finding the computer attacks, as well as revealing the unauthorized connections to automated managerial system.

Ключевые слова: автоматизированные системы управления, защищенность, уязвимости, средства защиты информации, средства обнаружения компьютерных атак.
Keywords: the automated control systems, security, vulnerability, means of protection of the information, means of detection of computer attacks.

В настоящее время многие руководители коммерческих организаций и государственных структур обращаются к экспертам и специалистам по информационной безопасности за консультацией по выбору средств защиты информации (СЗИ), которые должны соответствовать требованиям руководящих документов и требованиям, предъявляемым к современным информационным технологиям. Особенно это касается консультаций по выбору, установке и настройке средств обнаружения компьютерных атак (СОА).

Некоторые специалисты предлагают использовать современные антивирусные средства, которые включают элементы обнаружения компьютерных атак и активно применяются практически во всех сферах деятельности, в том числе и в защите персональных данных. Антивирусные средства (АВС) не позволяют обеспечить полноценную защиту информации объекта информатизации с территориально-распределенной структурой программно-аппаратных средств. Основным отличием применения антивирусных средств от применения средств обнаружения компьютерных атак является то, что АВС осуществляют обнаружение на уровне хоста, в то время как СОА проводят мониторинг всего сетевого трафика.

В современных средствах обнаружения компьютерных атак наиболее часто используются следующие методы обнаружения (или их комбинации):

- сигнатурный анализ;
- анализ сетевых аномалий;
- использование профилей «нормального» поведения;
- анализ журналов регистрации.

Методы обнаружения компьютерных атак сложны и трудоемки в реализации, поэтому не могут быть применены в одном программном комплексе и размещены на одном компьютере, так как имеют разные назначения и условия применения. Кроме того, методы не лишены недостатков, основные из которых представлены в *таблице 1*.

Таблица 1

Основные недостатки применения методов обнаружения компьютерных атак

Метод обнаружения	Недостаток применения методов обнаружения компьютерных атак
Сигнатурный анализ	1. Механизм описания сигнатур является сложным и трудоемким. 2. Отсутствие регулярных обновлений сигнатур и математического аппарата, позволяющего проводить обнаружение неизвестных компьютерных атак. 3. Метод не позволяет учитывать возможные модификации компьютерных атак.
Анализ сетевых аномалий	1. Отсутствие возможности обнаружения при низкой сетевой активности. Интеллектуальный нарушитель уже давно не использует технику применения массированных компьютерных атак. Компьютерная атака реализуется и находится в одном сетевом пакете. 2. Ограниченное применение в высокоскоростных сетях (в связи с высокой загрузкой трафика), а также неэффективная работа в коммутируемых сетях и сетях с канальным шифрованием.
Использование профилей «нормального» поведения	1. Построение профиля является достаточно трудоемкой и сложной задачей. 2. Неправильная настройка профиля «нормального» поведения может привести к тому, что поведение субъекта вычислительной системы может определиться как аномальное, хотя оно таковым не является.
Анализ журналов регистрации	1. Анализ журналов регистрации осуществляется с некоторой задержкой времени. 2. Метод не позволяет обнаружить компьютерные атаки, которые направлены на хосты, для которых не существует соответствующей реализации датчика.

Указанные недостатки методов существенно ограничивают их практическое использование в современных средствах обнаружения компьютерных атак, поэтому они должны быть доработаны, адаптированы и установлены в сегменты автоматизированных систем управления (АСУ) в соответствии с решаемыми функциональными задачами.

Результаты анализа информации о применении СОА из открытых источников показывают, что оснащение ими АСУ различного назначения практически завершается. Сообщается, что СОА успешно используются и выявляют до 90 % компьютерных атак. В то же время, по данным Национального отделения ФБР США по компьютерным преступлениям, реальный уровень эффективности средств защиты информации недопустимо низок. Так, величина вероятности предотвращения несанкционированных подключений к АСУ составляет в среднем около 0,12. Уровень вероятности обнаружения компьютерных атак оценивается величиной в диапазоне 0,03-0,15. Для сравнения, во многих прикладных областях, где обеспечению безопасности объектов информатизации уделяется серьезное внимание, нормы безопасности, изложенные в соответствующих документах, имеют порядок 0,9 и выше. Как видно, информация из разных источников о применении СЗИ и СОА противоречива. Службы безопасности крупных коммерческих и государственных организаций дают общественные заявления о высоком уровне обнаружения компьютерных атак, но на практике иная ситуация, в связи с тем, что нарушитель применяет различные способы (методы) и алгоритмы (или их комбинации) проникновения в компьютерные сети.

К защите объекта информатизации необходимо подходить исходя из принципов организации защиты информации от внешнего (в первую очередь) и от внутреннего нарушителя. Как известно, для защиты от внешнего нарушителя используется межсетевой экран (МЭ), который является надежным средством защиты и обеспечивает ее на уровне 95%. Как любое средство, МЭ имеет уязвимости, и нарушитель будет прикладывать большие усилия по преодолению защиты, т.е. пытаться реализовать компьютерные атаки [1]. Для обнаружения этих атак потребуется установка и настройка программных модулей СОА с реализацией **методов сигнатурного анализа и анализа сетевых аномалий** (*рисунок 1*).

К еще одному проблемному вопросу, нерешенному в средствах МЭ, относится отсутствие средств оповещения администратора безопасности об обнаруженных компьютерных атаках. Решение этих вопросов заключается в следующем. Последнее время МЭ представляет собой компьютер с сетевыми (два и более) интерфейсами. Установить программные комплексы на него не составляет большого труда. Большинство СОА в настоящее время разрабатываются многоплатформенными, поэтому задача совместимости программного обеспечения, устанавливаемого

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

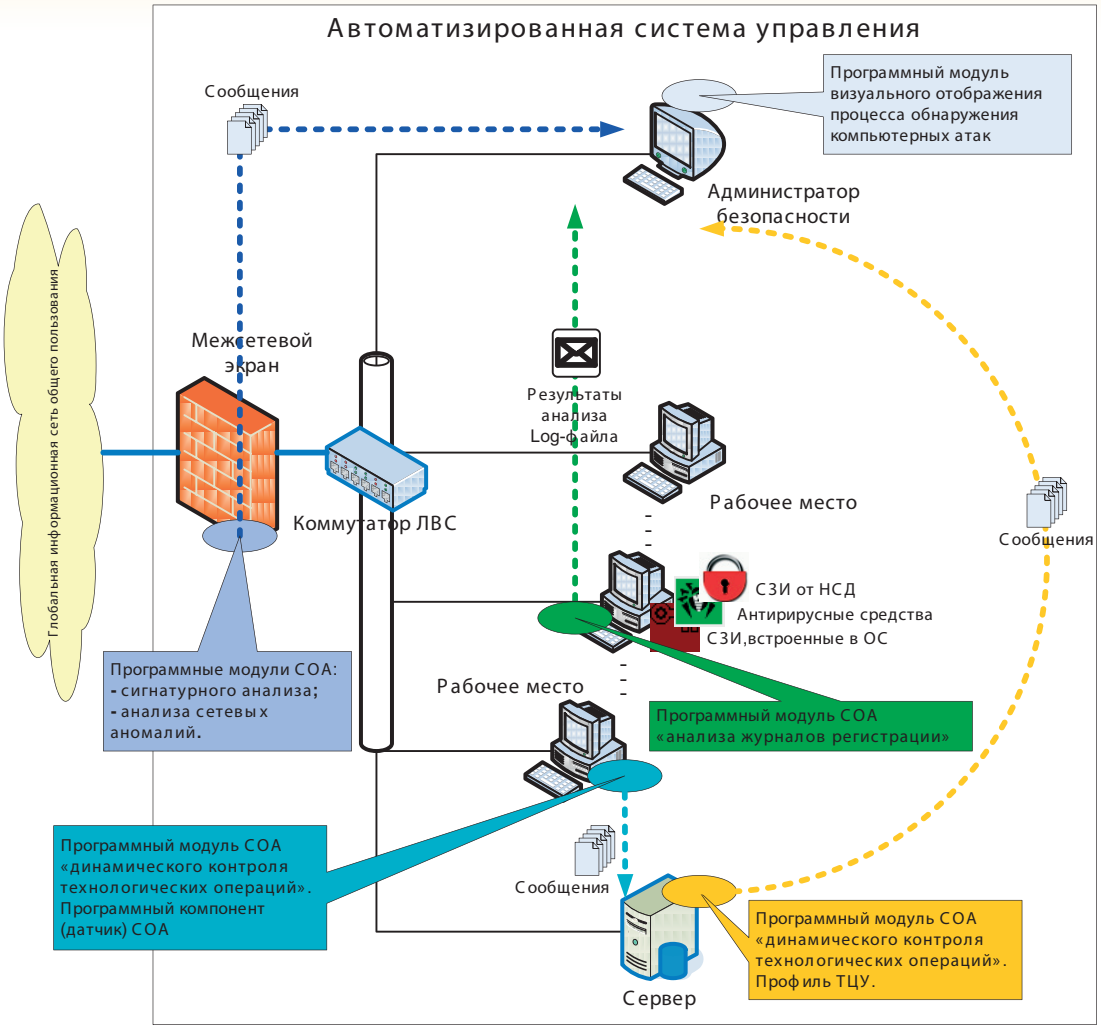


Рис. 1. Схема применения средств обнаружения компьютерных атак

на МЭ, решена [2]. Таким образом, на МЭ могут быть установлены программные модули сигнатурного анализа, анализа сетевых аномалий и взаимодействия с АРМ администратора безопасности для оперативного оповещения о компьютерных атаках (см. *рисунок 1*).

Вторым направлением в обеспечении безопасности информации на объекте является защита от угроз со стороны внутреннего нарушителя. С этой целью устанавливается программный модуль СОА с реализацией метода динамического контроля технологических операций (ДКТО). Данный метод представляет собой модифицированный **метод использования профилей «нормального» поведения**. Принцип действия систем, построенных с использованием метода ДКТО следующий. На все компьютеры, которые находятся в контуре управления, устанавливаются программные компоненты, так называемые датчики. Основной задачей датчиков является контроль запуска функциональных задач на компьютерах. На отдельном компьютере (как правило, на сервере) находится программный модуль, который осуществляет сбор информации от датчиков. Также на нем устанавливается профиль «нормального» поведения системы. Профиль представляет собой эталонный шаблон выполнения технологического цикла управления (ТЦУ) контролируемой АСУ.

Эталонными значениями параметров ТЦУ являются:

- время начала выполнения ТЦУ на i-м рабочем месте (Ts_i);
- время окончания выполнения ТЦУ на i-м рабочем месте (Tf_i);
- объемы обрабатываемой информации на i-м рабочем месте (Vo_i);
- объемы информации, передаваемой во время ТЦУ с i-го рабочего места на j-е рабочее место (Vp_{ij}).

Таким образом, эталонный шаблон выполнения ТЦУ контролируемой АСУ в общем виде может быть представлен функцией:

$$E = F(Ts_i, Tf_i, Vo_i, Vp_{ij}).$$

На серверной части (см. *рисунок 1*) проводится сопоставление профиля с информацией, поступающей от датчиков. В случае если от датчиков не поступает информация о штатной работе, то проводится реконфигурация сети, переход на резервные каналы связи для своевременного выполнения ТЦУ. С целью оперативного оповещения об обнаруженных компьютерных атаках и отклонений в выполнении ТЦУ на сервер устанавливается программный модуль взаимодействия с АРМ администратора безопасности.

Основной задачей СОА является обнаружение несанкционированных подключений к АСУ, для этого современные СОА должны быть интегрированы со средствами защиты информации от НСД и антивирусными средствами, которые штатно развернуты на объектах информатизации. Данные средства защиты заносят информацию о происшествиях в системе в специальные журналы (протоколы). Средства обнаружения компьютерных атак построены по принципу датчиковой системы и требуют установки на компьютер резидентных программ. Механизм интеграции заключается в том, что данные резидентные программы проводят **анализ журналов регистрации** событий СЗИ от НСД и АВС и передают информацию о критических событиях на специализированное рабочее место администратора безопасности.

Выводы

Анализ результатов применения методов и средств обнаружения компьютерных атак показал целесообразность их комплексного использования. Это означает, что необходимо использовать различные методы и средства, накладывая их на техническую инфраструктуру объекта информатизации.

В состав аппаратно-программных средств обнаружения компьютерных атак АСУ должны входить:

- средства обнаружения компьютерных атак путем сигнатурного анализа и анализа сетевых аномалий;
- средства обнаружения компьютерных атак путем динамического контроля технологических операций сбора, хранения, обработки и передачи информации в АСУ;
- средства сбора, регистрации и анализа информации, поступающей от датчиков мониторинга устойчивости функционирования АСУ и средств защиты информации.

Интеграция СОА со средствами защиты информации от НСД и антивирусными средствами позволит осуществлять полный контроль событий безопасности и проводить централизованное оповещение должностных лиц по ОБИ о всех фактах проникновения в систему и нарушения целостности, доступности и конфиденциальности информационных ресурсов.

Литература

1. Базаренко Н. Атаки на уровне приложений, или новый вызов для межсетевых экранов. ИнформКурьер-Связь, 2005. № 12.

2. Зорин Э.Ф., Мукминов В.А., Рыжов Б.С., Черноскутов А.И.. Использование метода оцениваемой выборки для определения предпочтительного средства защиты информации // Двойные технологии. Юбилейный, 2010. №4.

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

УДК 517.977.58

РАСЧЕТ ЭТАЛОННЫХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ И ОЦЕНКА ОПТИМАЛЬНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ В ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ*

Николай Сергеевич Кукин
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: n.s.kukin@gmail.com

Иван Васильевич Некрасов
кандидат технических наук
ведущий специалист
ООО «PSI», г. Москва
E-mail: ivannekr@mail.ru

Рассматривается решение задачи оптимального управления дискретной системой с квадратичным критерием качества, осуществляемое цифровым управляющим устройством в реальном масштабе времени. Исходная задача переформулирована в виде задачи минимизации квадратичной функции, для решения которой используется метод градиентного спуска. Проведен анализ применимости используемого метода для управления динамическими объектами различного порядка как устойчивыми, так и неустойчивыми. Эффективность алгоритма управления оценивалась путем сравнения полученных результатов с более универсальным методом глобальной оптимизации – методом случайного поиска. Предложена схема оценки оптимальности получаемого переходного процесса на основе анализа отклонения переменных состояния системы от точки глобального минимума в каждый момент времени.

This paper considers the problem of optimizing discrete control process with respect to quadratic criterion. The authors discuss the case when the handling process in the dynamic system is organized using the real-time digital controller. According to that approach the original optimal control problem is transformed into the quadratic function minimization problem which is solved via gradient descent method. The employed method usability is tested for several stable and non-stable dynamic plants of different orders. In order to measure the algorithm efficiency the authors designed a special operational sequence that involves analyzing the distance between the current state of the system and the corresponding reference point of the predefined globally optimal solution curve. The reference solution curve is predefined using the multi-start random search procedure.

Ключевые слова: дискретная система, оптимальное управление, математическое программирование, квадратичное программирование, метод градиентного спуска, локальный минимум, метод случайного поиска, точность управления.

Keywords: discrete system, optimal control, mathematical programming, quadratic programming, gradient descent, local minimum, multi-start random search, control accuracy.

Введение

В связи с развитием технической базы микропроцессорных управляющих систем на современном этапе разработано значительное количество алгоритмов оптимального управления динамическими системами, в основе которых лежит описание функционирования объекта в дискретном виде. При синтезе подобных алгоритмов используется эквивалентность [1] задачи оптимального управления в дискретной постановке *основной задаче математического программирования*: задаче минимизации скалярной функции на множестве. В зависимости от конкретной формализации (вид целевой функции, тип уравнений системы, наличие ограничений), дискретный управляющий сигнал может быть найден [2] алгоритмически путем численного решения эквивалентной задачи математического программирования. При этом обратная связь по состоянию объекта должна быть замкнута на микропроцессор, реализующий соответствующий программный код.

* Исследования проводятся при поддержке фонда РФФИ, грант № 13-01-00978.

В настоящей работе анализируется решение задачи оптимального управления, полученное в [3] методом квадратичного программирования. Основной проблемой рассматриваемого в [3] подхода является не гарантированность оптимальности получаемого решения в случае наличия локальных минимумов у целевой функции. Метод условного градиента, использованный в [3] в качестве вычислительной схемы, работоспособен только при условии отсутствия локальных минимумов целевой функции в рассматриваемой области [4]. Так как в условиях численной реализации решения задачи квадратичного программирования представить строгое доказательство отсутствия локальных минимумов и, следовательно, оптимальности получаемого на каждом такте решения затруднительно, в работе проведен сеанс математического моделирования работы анализируемого метода с целью оценки степени близости полученных результатов к истинному значению глобального минимума квадратичной целевой функции. Для определения истинного значения глобального минимума использован алгоритм случайного поиска.

Сведение задачи оптимального управления к задаче квадратичного программирования и ее решение методом градиентного спуска

Задача оптимального управления с квадратичным критерием качества, рассмотренная в [3], имеет вид:

Пусть объект управления описывается уравнениями вида (1).

$$\vec{x}(k+1) = \hat{\mathbf{O}} \cdot \vec{x}(k) + \tilde{\mathbf{A}} \cdot u(k) \qquad (1)$$

где $\vec{x}$ – вектор состояния системы;

$\hat{\mathbf{O}}$ – матрица системы;

$\tilde{\mathbf{A}}$ – матрица управления;

k – номер такта управления (дискретное время);

$u(k)$ – скалярное управляющее воздействие, ограниченное на каждом такте $u \in [-M;+M]$.

Необходимо синтезировать алгоритм оптимального управления с целевой функцией (2).

$$J[\vec{x}(k)] = \alpha_1 \cdot (x_1(k) - x_1^*)^2 + \alpha_2 \cdot (x_2(k) - x_2^*)^2 + \ldots +$$

$$+ \alpha_n \cdot (x_n(k) - x_n^*)^2, \qquad (2)$$

где x_i^*, $i = \overline{1,n}$ – компоненты целевого (желаемого) состояния;

α_i, $i = \overline{1,n}$ – весовые коэффициенты;

n – порядок системы;

Решение задачи, предложенное в [3], заключается в переформулировании критерия (2) относительно управляющих воздействий $u(k)$, $k = \overline{0,(N-1)}$ (где N – количество рассматриваемых тактов управления). Целевая функция (2) переписывается в виде квадратичной формы (3)

$$J(\boldsymbol{u}) = \frac{1}{2} \cdot \boldsymbol{u}^T \cdot H \cdot \boldsymbol{u} + \vec{g}^T \cdot \boldsymbol{u}, \qquad (3)$$

где $\boldsymbol{u} = [u(0); \ \ldots \ u(N-1)]^T$ – история управляющих значений;

$u(k)$, $k = \overline{0,(N-1)}$ – скалярное управляющее воздействие, ограниченное на каждом такте $u \in [-M;+M]$;

k – номер такта управления (дискретное время);

N – количество рассматриваемых тактов управления (горизонт прогноза);

H – матрица Гессе;

$\vec{g}$ – вектор значений коэффициентов линейной части.

Поиск минимума квадратичной формы (3) с учетом ограничений $u(k) \in [-M;+M]$ осуществляется стандартным методом условного градиента [5].

Решение задачи оптимального управления методом случайного поиска

Решение задачи оптимального управления градиентным методом может не совпадать с глобальным минимумом целевой функции при наличии у нее нескольких экстремальных точек. Наличие локальных минимумов приводит к выработке неоптимального управляющего воздействия на такте и снижает качество переходных процессов в системе. Отсутствие локальных минимумов у квадратичной формы (3) гарантировано в случае положительной определенности ее матрицы Гессе [5]. Очевидно, что при формировании в управляющем микропроцессоре коэффициентов целевого функционала (3), элементы матрицы Гессе (обозначена H) меняются на каждом такте управления. При определенном сочетании элементов возможны случаи, когда матрица Гессе не определена положительно и, соответственно, оптимальность полученного на данном такте управляющего воздействия не гарантирована.

В этом случае глобальный минимум целевой функции может быть найден более универсальными методами оптимизации. Одним из таких методов является метод случайного поиска [6]. Суть данного метода заключается в дополнении метода спуска процедурой генерирования нескольких случайных начальных приближений [6], используемых градиентным методом в качестве отправной точки оптимизации. Полученные решения, претендующие на роль минимума целевой функции, затем отсеиваются методом прямого сравнения. Блок-схема метода случайного поиска представлена на *рисунке 1*. В [6] рекомендуется задаваться $(5 \div 20) \cdot n$ точками слу-

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

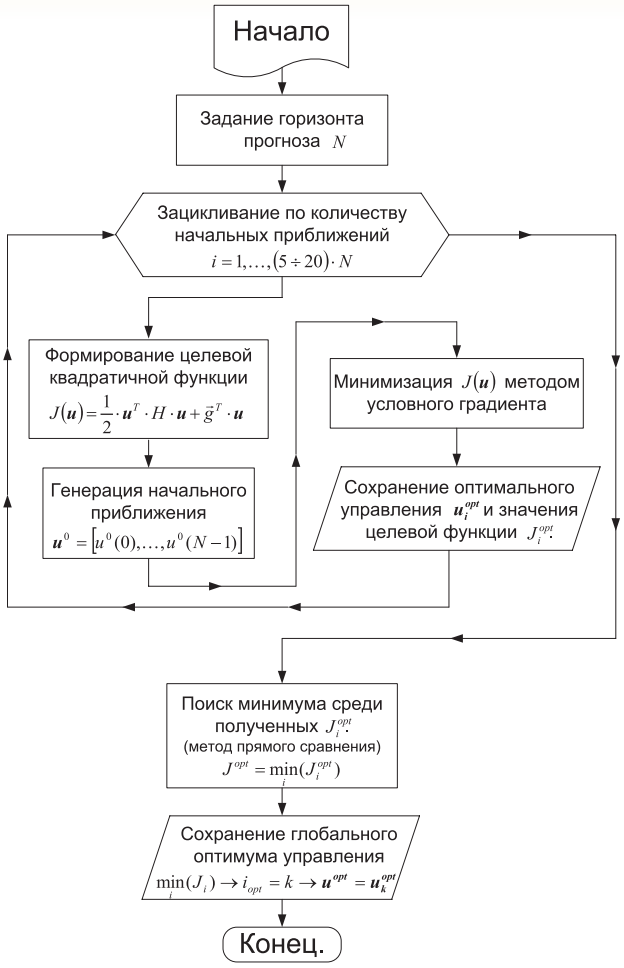


Рис. 1. Блок-схема алгоритма случайного поиска

чайного начального приближения, где n – количество аргументов целевой функции. В рассматриваемой постановке задачи аргументами функции (3) являются значения управляющего сигнала на рассматриваемом промежутке дискретного времени (от $k = 0$ до $k = N-1$). Таким образом, количество начальных приближений определяется горизонтом прогноза алгоритма и составляет $(5 \div 20)\cdot N$.

Основным недостатком предложенного алгоритма, затрудняющим его применение в системах управления реального времени, является его высокая вычислительная трудоемкость, порождаемая большим количеством точек начального приближения.

Оценка ошибки градиентного метода относительно глобального минимума

Проведем сравнительное моделирование работы алгоритмов оптимального управления с квадратичным критерием качества, основанных на методе градиентного спуска и методе случайного поиска. В качестве примеров рассмотрим процессы управления непрерывными системами, математическое описание которых приведено в виде передаточных функций. Исполнение рассмотренных выше алгоритмов в цифровом контроллере требует наличия дискретной модели системы. Преобразование непрерывной передаточной функции в дискретную модель объекта в виде разностных уравнений, используемых в алгоритмах цифрового управления, более подробно описано в [7]. Частоту дискретизации модели примем $v = 100$ Гц.

1. Колебательная система второго порядка.

Без ограничения общности рассмотрим пример оптимальной стабилизации колебательного звена. По результатам расчетов для различных начальных условий, примем результаты метода случайного поиска в качестве эталонных, а эффективность алгоритма квадратичного программирования оценим по полученным значениям невязок.

Объект описывается передаточной функцией вида

$$W(s) = \frac{x_1(s)}{u(s)} = \frac{1}{T^2 \cdot s^2 + 2 \cdot \xi \cdot T \cdot s + 1},$$

что эквивалентно системе дифференциальных уравнений

$$Ob: \begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = -\frac{1}{T^2}\cdot x_1 - \frac{2\cdot\xi}{T}\cdot x_2 + \frac{1}{T^2}\cdot u \end{cases}$$

начальные условия $\begin{pmatrix} x_1(0) & x_2(0) \end{pmatrix}^T = \begin{pmatrix} x(0) & \dot{x}(0) \end{pmatrix}^T$,

целевое состояние $\begin{pmatrix} x_1^* & x_2^* \end{pmatrix}^T = \begin{pmatrix} x^* & \dot{x}^* \end{pmatrix}^T = \begin{pmatrix} 0 & 0 \end{pmatrix}^T$,

функционал качества

$$J(\vec{x}) = \alpha_1 \cdot (x_1 - x_1^*)^2 + \alpha_2 \cdot (x_2 - x_2^*)^2,$$

управление ограничено по модулю $u \in [-M; +M]$.

В *таблице 1* представлены параметры управляемого объекта и настройки алгоритмов управления. *Таблицы 2.1–2.2* содержат максимальные расхождения переходных процессов по выходу объекта и его скорости при различных начальных условиях в системе. В *таблице 2.3* приведена разница в длительности процессов управления, полученных с применением алгоритмов градиентного спуска и случайного поиска.

Таблица 1

Параметры моделирования

Обозначение и значение	Описание
$T = 0.1$ с	постоянная времени колебат. звена
$\xi = 0.3$	показатель колебательности
$\nu = 100$ Гц	частота дискретизации системы
$M = 5$	ресурсные ограничения $u \in [-M;+M]$
$\varepsilon_1 = 0.01$	точность алгоритмов по ПС x_1
$\varepsilon_2 = 0.1$	точность алгоритмов по ПС x_2
$N = 4$	горизонт прогноза алгоритма
$\alpha_1 = 1$, $\alpha_2 = 0.001$	весовые коэффициенты критерия

Таблица 2.1

Максимальные отклонения по выходу, абсолютные значения

	нач. положен.														
нач. скорость		**0**	**-0.2**	**0.2**	**-0.5**	**0.5**	**-1**	**1**	**-2**	**2**	**-5**	**5**	**-10**	**10**	**-20**	**20**
	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.5	0	0	0	0	0	0	**0.02**	**0.01**	0	**0.02**	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	**0.02**	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0.02**
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 2.2

Максимальные отклонения по скорости, абсолютные значения

	нач. положен.														
нач. скорость		**0**	**-0.2**	**0.2**	**-0.5**	**0.5**	**-1**	**1**	**-2**	**2**	**-5**	**5**	**-10**	**10**	**-20**	**20**
	0	-	0	0	0.01	0.01	0	0.01	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01
	0.2	0	0	0.03	0.01	0.03	0	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0	0.01	0.01	0.43
	0.5	0.02	0.01	0.1	0.01	0.05	0	**2.55**	**1.45**	0.5	**2.43**	0	0	0	0	0.07
	1	0	0	0	0.01	0	**2.12**	0	0.02	0	0	0.02	0	0	0.01	0
	2	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0	0	0.02	0	0	0.02	0	**1.82**
	5	0	0.01	0.02	0.01	0	0.01	0.01	0.04	0.01	0	0.15	0	0.05	0.05	0.07
	10	0.01	0	0.03	0.02	0.02	0	0.02	0	0.04	0	0.02	0.01	0	0	0.01
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

Таблица 2.3

Разница в длительности переходного процесса, сек.

	нач. положен.														
нач. скорость		**0**	**-0.2**	**0.2**	**-0.5**	**0.5**	**-1**	**1**	**-2**	**2**	**-5**	**5**	**-10**	**10**	**-20**	**20**
	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.2	0	0	**0.01**	0	**0.01**	0	0	0	0	**0.01**	0	0	0	0	0
	0.5	0	0	0	0	0	0	**0.01**	0	0	**0.02**	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	**0.01**	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0.01**
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

2. Неустойчивая система второго порядка.

В качестве альтернативного примера рассмотрим неустойчивую систему второго порядка и проанализируем совпадение результатов работы двух алгоритмов по методике, аналогичной п. 1.

Объект описывается передаточной функцией вида

$$W(s)=\frac{x_1(s)}{u(s)}=\frac{1}{(T_1\cdot s+1)(T_2\cdot s-1)},$$

Начальное и целевое состояние системы, а также функционал качества не отличаются от условий п.1.

Таблица 3

Параметры моделирования

Обозначение и значение	Описание
$T_1=0.1_{\text{с}},\ T_2=0.2_{\text{с}}$	постоянные времени звеньев системы
$\nu=100$ Гц	частота дискретизации системы
$M=5$	ресурсные ограничения $u\in[-M;+M]$
$\varepsilon_1=0.03$	точность алгоритмов по ПС x_1
$\varepsilon_2=0.3$	точность алгоритмов по ПС x_2
$N=4$	горизонт прогноза алгоритма
$\alpha_1=1,\ \alpha_2=0.001$	весовые коэффициенты критерия

Таблица 4.1

Максимальные отклонения по выходу, абсолютные значения

	нач. положен.														
нач. скорость		**0**	**-0.2**	**0.2**	**-0.5**	**0.5**	**-1**	**1**	**-2**	**2**	**-5**	**5**	**-10**	**10**	**-20**	**20**
	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.2	0	0	*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*	0	0
	0.5	0	0	0	0	0	0	0	**0.01**	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	**0.01**	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	**0.1**	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	**0.01**	0	**0.1**	**0.01**	0	0	**0.05**	**0.01**	0	0	**0.01**	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	**0.02**	0	0	0	0	0	0	0
	20	0	0	**0.01**	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

* – система перешла в режим автоколебаний

Таблица 4.2

Максимальные отклонения по скорости, абсолютные значения

	нач. положен.														
нач. скорость		**0**	**-0.2**	**0.2**	**-0.5**	**0.5**	**-1**	**1**	**-2**	**2**	**-5**	**5**	**-10**	**10**	**-20**	**20**
	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.2	0.02	0.03	*	0.04	0	0.04	0	0.01	0	**0.1**	0.03	0.02	*	0.02	**0.1**
	0.5	0.01	0	**0.1**	0	0.02	0.01	0.07	0.01	0.01	0	0.09	**0.1**	0.07	0	0
	1	0.02	0	0.08	0	0.03	**0.15**	0	0	0.02	0	0.01	**0.16**	0	0	0.02
	2	0	**0.16**	0.03	0	0	0.01	0	0	0.01	0.09	0.01	0.01	0.06	0	**0.33**
	5	0.01	0	**1.56**	0.01	0	**0.17**	0	0	**3.13**	**0.1**	0	0.04	**0.69**	0	0
	10	0	0	0	0	0.09	0	0.08	**0.5**	0.01	0.01	0	0	0	0	0
	20	0	0	**0.15**	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

* – система перешла в режим автоколебаний

Таблица 4.3

Разница в длительности переходного процесса, сек.

	нач. положен.														
нач. скорость		**0**	**-0.2**	**0.2**	**-0.5**	**0.5**	**-1**	**1**	**-2**	**2**	**-5**	**5**	**-10**	**10**	**-20**	**20**
	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.2	0	0	*	0	0	0	0	0	0	**0.02**	0	0	*	0	0
	0.5	0	0	0	**0.01**	0	0	0	**0.01**	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	**0.01**	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	**0.01**	0	0	0	0	0	0	0	0
	20	0	0	**0.01**	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

* – система перешла в режим автоколебаний

3. Неустойчивая колебательная система третьего порядка. Проанализируем применимость алгоритма квадратичного программирования для решения задачи оптимального управления системой более высокого порядка (в данном примере – 3-го порядка).

Объект описывается передаточной функцией вида

$$W(s)=\frac{x_1(s)}{u(s)}=\frac{1}{(T_1^2\cdot s^2+2\cdot\xi\cdot T_1\cdot s+1)\cdot(T_2\cdot s-1)},$$

начальные условия

$$\left(x_1(0)\quad x_2(0)\quad x_3(0)\right)^T=\left(x(0)\quad \dot{x}(0)\quad \ddot{x}(0)\right)^T$$

целевое состояние

$$\left(x_1^*\quad x_2^*\quad x_3^*\right)^T=\left(x^*\quad \dot{x}^*\quad \ddot{x}^*\right)^T=\left(0\quad 0\quad 0\right)^T$$

функционал качества

$$J(\vec{x})=\alpha_1\cdot\left(x_1-x_1^*\right)^2+\alpha_2\cdot\left(x_2-x_2^*\right)^2+\alpha_3\cdot\left(x_3-x_3^*\right)^2$$

управление ограничено по модулю $u\in[-M;+M]$

Таблица 5

Параметры моделирования

Обозначение и значение	Описание
$T_1=0.1_{\text{с}},\ T_2=0.2_{\text{с}}$	постоянные времени звеньев системы
$\nu=100$ Гц	частота дискретизации системы
$M=5$	ресурсные ограничения $u\in[-M;+M]$
$\varepsilon_1=0.03$	точность алгоритмов по ПС x_1
$\varepsilon_2=0.3$	точность алгоритмов по ПС x_2
N=12	горизонт прогноза алгоритма
$\alpha_1=1,\ \alpha_2=0.01,\ \alpha_3=10^{-6}$	весовые коэффициенты критерия

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

Таблица 6.1

Максимальные отклонения по выходу, в % от номинала

	нач. ускорение														
нач. скорость		**-10**	**-5**	**-2**	**0**	**0.5**	**5**	**10**		**-10**	**-5**	**-2**	**0**	**0.5**	**5**	**10**
начальное положение 0	**-10**	18	25	6	34	42	10	15	**начальное положение 5**	3	1	14	3	23	41	26
	-5	7	12	25	0	18	6	9		2	1	8	8	18	17	11
	0	5	34	41	0	27	11	20		1	7	18	8	18	10	29
	5	7	15	7	31	17	12	22		2	1	2	13	16	31	6
	10	11	5	3	8	11	22	5		3	1	12	24	12	19	41

	нач. ускорен.														
нач. скорость		**-10**	**-5**	**-2**	**0**	**0.5**	**5**	**10**		**-10**	**-5**	**-2**	**0**	**0.5**	**5**	**10**
начальное положение 2	**-10**	21	6	5	4	17	24	18	**начальное положение 10**	6	1	8	6	4	1	*
	-5	25	6	11	3	8	29	4		3	2	3	2	3	2	*
	0	40	6	2	15	3	17	29		4	3	8	3	2	2	*
	5	48	2	11	1	12	5	19		1	4	5	1	6	1	*
	10	41	2	3	21	2	29	22		4	4	1	3	4	0	*

* – неустойчивый переходный процесс

Таблица 6.2

Максимальные отклонения по скорости, в % от номинала

	нач. ускорен.														
нач. скорость		**-10**	**-5**	**-2**	**0**	**0.5**	**5**	**10**		**-10**	**-5**	**-2**	**0**	**0.5**	**5**	**10**
начальное положение 0	**-10**	22	29	8	46	47	17	23	**начальное положение 5**	6	3	24	5	33	61	40
	-5	12	22	26	3	16	7	13		5	2	10	15	30	28	19
	0	9	32	38	0	23	17	25		2	16	30	30	28	9	42
	5	7	28	23	45	23	17	28		4	3	5	18	24	47	6
	10	19	4	4	116	31	32	6		10	2	27	37	21	16	54

	нач. ускорен.														
нач. скорость		**-10**	**-5**	**-2**	**0**	**0.5**	**5**	**10**		**-10**	**-5**	**-2**	**0**	**0.5**	**5**	**10**
начальное положение 2	**-10**	14	10	11	9	38	26	16	**начальное положение 10**	19	4	16	11	9	2	*
	-5	18	11	17	10	21	51	6		9	5	7	7	4	6	*
	0	17	9	5	26	7	19	26		11	7	14	8	5	6	*
	5	25	8	20	4	27	11	17		5	10	8	4	13	2	*
	10	28	5	7	40	4	46	26		9	9	1	6	7	2	*

* – неустойчивый переходный процесс

Таблица 6.3

Максимальные отклонения по ускорению, в % от номинала

	нач. ускорен.														
нач. скорость		**-10**	**-5**	**-2**	**0**	**0.5**	**5**	**10**		**-10**	**-5**	**-2**	**0**	**0.5**	**5**	**10**
начальное положение 0	**-10**	26	36	37	14	99	38	36	**начальное положение 5**	27	19	70	20	84	87	71
	-5	19	27	55	3	60	23	23		28	17	17	30	46	60	59
	0	24	33	76	0	46	25	44		20	50	64	76	61	16	65
	5	16	50	59	18	67	46	40		24	22	25	44	60	81	16
	10	37	17	28	95	72	64	13		50	20	66	65	43	24	108

	нач. ускорение														
нач. скорость		**-10**	**-5**	**-2**	**0**	**0.5**	**5**	**10**		**-10**	**-5**	**-2**	**0**	**0.5**	**5**	**10**
начальное положение 2	**-10**	31	49	56	34	84	46	18	**начальное положение 10**	73	8	42	32	21	15	*
	-5	25	61	53	44	46	57	18		31	21	17	20	14	22	*
	0	26	37	40	54	29	35	37		40	22	39	31	22	27	*
	5	34	38	73	12	89	23	29		28	32	20	25	36	12	*
	10	50	37	54	98	17	53	53		38	30	14	28	22	10	*

* - неустойчивый переходный процесс

Таблица 6.4

Разница в длительности переходного процесса, сек.

	нач. ускорение														
нач. скорость		**-10**	**-5**	**-2**	**0**	**0.5**	**5**	**10**		**-10**	**-5**	**-2**	**0**	**0.5**	**5**	**10**
начальное положение 1	**-10**	0.03	0.07	0.01	0.03	0.17	0.07	0.08	**начальное положение 5**	0.01	0	0.28	0.01	0.17	0.28	0.33
	-5	0.07	0.09	0	0	0.02	0.05	0.01		0.01	0.01	0.04	0.03	0.15	0.18	0.25
	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0.03	0.24	0.31	0.22	0.11	0.22
	5	0	0	0	0	0.02	0.06	0.01		0	0	0	0.21	0.43	0.36	0.05
	10	0.07	0.03	0.16	0.05	0.08	0.11	0.08		0.01	0.01	0.43	0.15	0.01	0.03	0.66

	нач. ускорение														
нач. скорость		**-10**	**-5**	**-2**	**0**	**0.5**	**5**	**10**		**-10**	**-5**	**-2**	**0**	**0.5**	**5**	**10**
начальное положение 2	**-10**	0.07	0.02	0.01	0	0.11	0.22	0.03	**начальное положение 10**	0.3	0.27	0.19	0.1	0.1	0.03	*
	-5	0.12	0.02	0.05	0.01	0.02	0.2	0.1		0.26	0.02	0.11	0.07	0.02	0.08	*
	0	0.07	0.04	0	0.05	0.06	0.02	0.07		0.23	0.07	0.03	0.09	0.03	0.07	*
	5	0.05	0.01	0.03	0	0.16	0.01	0.03		0.2	0.29	0.07	0.01	0.11	0.02	*
	10	0.08	0.01	0.01	0.07	0	0.21	0.39		0.19	0.01	0.01	0.03	0.01	0.2	*

* - неустойчивый переходный процесс

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

Заключение

Вследствие затруднительности теоретического обоснования оптимальности численных решений, получаемых в результате применения алгоритма управления, использующего процедуру квадратичного программирования, в настоящей работе представлена численная оценка близости управляющих воздействий, полученных с помощью данного алгоритма, к точке глобального минимума целевой функции, вычисленной методом случайного поиска на каждом такте регулирования. Вычислительные эксперименты, проведенные авторами в представленном исследовании, показали применимость алгоритма, основанного на решении задачи квадратичного программирования градиентным методом, для синтеза субоптимального управления по квадратичному критерию максимальной точности.

Основными результатами исследования являются следующие выводы:

- Моделирование подтверждает оптимальность управляющих воздействий, вычисляемых по алгоритму квадратичного программирования, для устойчивых объектов второго и третьего порядков (длительность переходных процессов отличается не более, чем на 1-2 такта, отклонения по переменным состояния являются эпизодическими).
- При управлении неустойчивым объектом второго порядка наблюдаются более значительные различия между результатами применения алгоритма квадратичного программирования и метода случайного поиска, однако длительности переходных процессов также практически совпадают.
- Для случая неустойчивого объекта третьего порядка разница между полученными на выходе алгоритмов значениями переменных состояния составляет до 100% от их значения, длительности переходных процессов различаются до 30 тактов регулирования. Однако сохраняется устойчивость замкнутой системы управления, а характеристики процесса (в частности, его длительность и точность) остаются на приемлемом уровне.

Целесообразность использования алгоритма квадратичного программирования при управлении объектами высокого порядка должна определяться для каждого конкретного случая путем проведения дополнительных сеансов сравнительного математического моделирования. Схема постановки подобных вычислительных экспериментов, пригодная для тестирования любых динамических систем и алгоритмов управления, полностью раскрыта авторами. При внедрении рассмотренного алгоритма квадратичного программирования дополнительно необходимо численно определить мощность управляющего воздействия, достаточную для обеспечения управляемости системы в заданном диапазоне начальных условий и внешних возмущений (величина M, ограничивающая значение управляющего сигнала $u \in [-M;+M]$).

Алгоритм управления, основанный на процедуре случайного поиска, может быть использован только для получения эталонного оптимального переходного процесса. Данный алгоритм не пригоден для реализации на современных микропроцессорных средствах в реальном масштабе времени в силу своей вычислительной трудоемкости.

Литература

1. Карманов В.Г. Математическое программирование. М.:Наука,1986. 288 с.

2. Некрасов И.В. Применение методов математического программирования для повышения точности систем управления динамическими объектами // Аэрокосмические технологии. Научные материалы второй МНТК / Под ред. Симонянца Р.П. Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. С. 198-199.

3. Кукин Н.С., Некрасов И.В. Синтез алгоритма оптимального управления дискретной системой по квадратичному критерию максимальной точности // Известия Института инженерной физики, 2012. №4(26). С.13–18.

4. Васильев Ф.П. Численные методы решения экстремальных задач. М.: Наука, 1980. 518 с.

5. Аттетков А.В., Галкин С.В., Зарубин В.С. Методы оптимизации. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2003. 440 с.

6. Калиткин Н.Н. Численные методы / Под ред. А.А. Самарского М.: Наука, 1978. 512 с.

7. Стрейтс В. Метод пространства состояний в теории дискретных линейных систем управления: Пер. с англ. под ред. Я.З. Цыпкина. М.: Наука, 1985. 295 с.

УДК 517.955

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИБЛИЖЕННОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КОШИ ОДНОГО НЕЛИНЕЙНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ В ОКРЕСТНОСТИ ПОДВИЖНОЙ ОСОБОЙ ТОЧКИ

Сергей Алексеевич Редкозубов
доктор технических наук, профессор, академик РАЕН
заведующий кафедрой высшей математики
Московский государственный горный университет
Адрес: 119991, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 6
Тел.: +7(495)956-90-42

Виктор Николаевич Орлов
доктор физико-математических наук, профессор
заведующий кафедрой алгебры
Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева
Адрес: 428000, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 38
Тел: +7(352)62-30-84 E-mail: orlowvn&rambler.ru

Алевтина Зиноновна Пчелова
аспирант
Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева
Адрес: 428000, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, д. 38
Тел: +7(352)62-30-84 E-mail: apchelova&mail.ru

Рассматривается нелинейное обыкновенное дифференциальное уравнение с подвижными особыми точками, в общем случае не интегрируемое в квадратурах. Приводится доказательство теоремы существования и единственности решения этого уравнения в окрестности подвижной особой точки. Предлагается приближенное решение уравнения в окрестности подвижной особой точки. Полученные результаты сопровождаются расчетами.

Nonlinear ordinary differential equation with movable special points is given which is not solvable in quadratures in a common case. The proof of the existence and uniqueness theorem for the solution of this equation in some neighborhood of movable special point is provided. The authors suggest analytical approximate solution of the equation in neighborhood of movable special point. The obtained results are illustrated by the calculations carried out.

Ключевые слова: нелинейное обыкновенное дифференциальное уравнение, задача Коши, подвижная особая точка, погрешность приближенного решения, возмущение.

Keywords: nonlinear ordinary differential equation, Cauchy problem, movable special point, error of the approximate solutions, perturbation.

Введение

В настоящей работе для рассматриваемого нелинейного дифференциального уравнения доказывается наличие подвижной особой точки. Это факт не позволяет применять к уравнению известные аналитические и численные приближенные методы решения, так как они не адаптированы к этой категории особых точек. В связи с этим предлагается приближенный метод решения этого уравнения, идея которого представлена в работах [1-7] и состоит в разделении области поиска решения на область аналитичности и окрестность подвижных особых точек, а затем построении приближенных решений в этих областях. Построение приближенного решения рассматриваемого уравнения в области аналитичности приведено в [8, 9]. В данной работе рассматривается задача построения приближенного решения нелинейного дифференциального уравнения в окрестности подвижной особой точки.

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

1. Теорема существования и единственности решения нелинейного дифференциального уравнения в окрестности подвижной особой точки

Рассмотрим задачу Коши для уравнения в нормальной форме

$$y'(x) = y^5(x) + r(x)\,, \qquad (1)$$

$$y(x_0) = y_0\,, \qquad (2)$$

к которому приводится с помощью некоторой замены переменных нелинейное дифференциальное уравнение $y'(x) = \sum_{i=0}^{5} f_i(x)\, y^i(x)$, в общем случае неразрешимое в квадратурах [8, 9].

Нелинейность дифференциального уравнения предполагает гипотезу о существовании подвижных особых точек решения этого уравнения. В соответствии с классификацией характера подвижных особых точек [10], она предполагает следующую аналитическую структуру решения в окрестности подвижной особой точки x^*

$$y(x) = (x^* - x)^{\rho} \sum_{n=0}^{\infty} C_n (x^* - x)^{n/4}\,,\ C_0 \neq 0\,. \qquad (3)$$

Теорема 1. *Пусть функция $r(x)$ задачи (1)–(2) удовлетворяет следующим условиям:*

1) $r(x) \in C^{\infty}$ *в области* $0 < x^* - x < \rho_1$, *где* $\rho_1 = const > 0$ *и* x^* *– подвижная особая точка решения* $y(x)$ *рассматриваемой задачи;*

2) $\exists M_1 : (|r^{(n)}(x^*)|/n!) \le M_1$,
где $M_1 = const$, $n = 0, 1, 2, \ldots$.

Тогда существует единственное решение задачи Коши (1)–(2) в виде (3), где $\rho = -1/4$, $C_0 \neq 0$, *правильная часть которого сходится в области*

$$0 < x^* - x < \rho_3\,, \qquad (4)$$

где $\rho_3 = \min\{\rho_1, \rho_2\}$;

$$\rho_2 = 1/\sqrt[5]{2^8 (M_2 + 1)^4}\,;$$

$$M_2 = \sup_n (|r^{(n)}(x^*)|/n!)\,,$$

$$n = 0,\ 1,\ 2 \ldots\ .$$

Доказательство. Построим формальное решение уравнения (1) в области $0 < x^* - x < \rho_1$ в виде (3). В силу того, что x^* является регулярной точкой для функции $r(x)$ и выполняются условия настоящей теоремы, функция $r(x)$ в полуокрестности подвижной особой точки x^* может быть представлена в следующем виде

$$r(x) = \sum_{n=0}^{\infty} A_n (x^* - x)^n\,. \qquad (5)$$

Подставив (3) и (5) в (1), после преобразований имеем

$$-\sum_{n=0}^{\infty} (n/4 + \rho) \tilde{N}_n (x^* - x)^{n/4 + \rho - 1} = \sum_{n=0}^{\infty} B_n (x^* - x)^{n/4 + 5\rho}\,, \qquad (6)$$

где

$$B_n = \begin{cases} \hat{D}_n\,,\ n = 1,\ n = 4k,\ n = 4k+2,\ n = 4k+3,\ k = 0, 1, 2, \ldots\,; \\ \hat{D}_n + A_{(n-5)/4}\,,\ n = 4k+1,\ k = 1, 2, \ldots\,; \end{cases} \qquad (7)$$

$$\hat{D}_n = \sum_{i=0}^{n} C_{n-i} D_i^*\,,\ D_n^* = \sum_{i=0}^{n} D_{n-i} D_i\,,\ D_n = \sum_{i=0}^{n} C_{n-i} C_i\,,\ n = 0, 1, 2, \ldots\,. \qquad (8)$$

Равенство (6) обратится в тождество при выполнении условий

$$n/4 + \rho - 1 = n/4 + 5\rho\,, \qquad (9)$$

$$-(n/4 + \rho) C_n = B_n\,. \qquad (10)$$

Из (9) получаем $\rho = -1/4$. Тогда соотношение (10) позволяет однозначно определить все коэффициенты C_n. Таким образом, найдено единственное формальное решение задачи Коши (1)–(2) в некоторой полуокрестности подвижной особой точки x^* в виде ряда (3).

Методом математической индукции убеждаемся в справедливости оценки для C_n

$$|C_n| \le \frac{2^{2[n/5]-2}}{n+4} (M_2 + 1)^{[n/5]} = \vartheta_n\,. \qquad (11)$$

Рассмотрим ряд $\sum_{n=1}^{\infty} \vartheta_n (x^* - x)^{(n-1)/4}$, который в силу (11) является мажорирующим для правильной части ряда в (3). По признаку Даламбера этот ряд сходится в области $|x^* - x| < \rho_2$,

где $\rho_2 = 1/\sqrt[5]{2^8 (M_2 + 1)^4}$.

Полагая $\rho_3 = \min\{\rho_1, \rho_2\}$, получаем сходимость правильной части ряда в (3) в области (4). Таким образом, доказательство теоремы завершено.

Замечание 1. Теорема 1 справедлива в области $0 < x - x^* < \rho_3$, структура решения задачи Коши (1)–(2) вместо (3) будет иметь вид

$$y(x) = (x - x^*)^{\rho} \sum_{n=0}^{\infty} C_n (x - x^*)^{n/4}\,,\ C_0 \neq 0\,.$$

2. Построение приближенного решения уравнения в окрестности подвижной особой точки

Теорема 2. *Пусть выполняются условия 1 и 2 теоремы 1, тогда для приближенного решения*

$$y_N(x) = \sum_{n=0}^{N} C_n (x^* - x)^{(n-1)/4} \qquad (12)$$

задачи Коши (1)–(2) в области (4) справедлива оценка погрешности

$$\Delta y_N(x) = |y(x) - y_N(x)| \le \Delta_1\,,$$

где

$$\Delta_1 = \frac{2^{-2} (x^* - x)^{N/4}}{1 - 4(M_2 + 1)(x^* - x)^{5/4}} \sum_{i=0}^{4} \frac{(4(M_2 + 1))^{[(N+1+i)/5]}}{N + 5 + i} (x^* - x)^{i/4}$$

M_2 *– из теоремы 1.*

Доказательство теоремы основано на оценке $\Delta y_N(x)$ с учетом (11).

Пример 1. Найдем приближенное решение задачи Коши (1)–(2), где $r(x)=0$ и $y(1)=1$, в окрестности подвижной особой точки.

Решение. Задача имеет точное решение $y=1/\sqrt[4]{5-4x}$; $x^*=1{,}25$ – точное значение подвижной особой точки. В нашем случае $M_2=0$, тогда $\rho_2=0{,}329876978$. Выберем значение $x=1{,}239$ в области $0<x^*-x<\rho_3$. Рассмотрим случай $C_0=1/\sqrt{2}$. Расчеты представлены в *таблицах 1* и *2*.

Таблица 1

x	y	y_3
1,239	2,183417721	2,183417721

Здесь y – значение точного решения, y_3 – значение приближенного решения,

Таблица 2

Δ	Δ_1'	Δ_1''
0	0,202981826	0

Δ – абсолютная погрешность, Δ_1' – априорная погрешность, полученная по теореме 2, Δ_1'' – апостериорная погрешность.

С помощью теоремы 2 можно решить и обратную задачу теории погрешности – определить значение N по заданной точности приближенного решения ε. Так, для $\varepsilon=1{,}924\cdot10^{-10}$ получаем $N=15$. Апостериорная оценка погрешности уточняет величину априорной оценки погрешности приближенного решения и, учитывая, что все производные функции $r(x)$ равны нулю, в нашем случае получаем совпадение структуры приближенного решения точным решением.

В связи с тем, что методы нахождения подвижных особых точек позволяют получать последние приближенно с заданной точностью, возникает задача исследования влияния возмущения подвижной особой точки на приближенное решение. Поэтому в окрестности приближенного значения подвижной особой точки $\tilde{x}^*$ вместо (12) будем иметь

$$\tilde{y}_N(x)=\sum_{n=0}^{N}\tilde{C}_n(\tilde{x}^*-x)^{(n-1)/4},\quad \tilde{C}_0\neq 0, \qquad (13)$$

где $\tilde{C}_n$, $\tilde{x}^*$ – приближенные значения.

Теорема 3. *Пусть выполняются следующие условия*:

1) $r(x)\in C^\infty$ *в области* $0<\tilde{x}^*-x<\rho_3$,

где $\rho_3=const>0$;

2) $\exists M_3:(|r^{(n)}(\tilde{x}^*)|/n!)\le M_3$,

где $M_3=const$, $n=0,1,2,\ldots$;

3) $\tilde{x}^*\le x^*$;

4) *известна оценка погрешности значения* $\tilde{x}^*$: $x^*-\tilde{x}^*\le\Delta\tilde{x}^*$;

5) $\Delta\tilde{x}^*<1/\sqrt[5]{2^{28}(M+1)^4}$.

Тогда для приближенного решения (13) задачи Коши (1)–(2) для любого x из областей

$$\tilde{x}^*-\rho_4<x\le\tilde{x}^*-\Delta\tilde{x}^*, \qquad (14)$$

$$\tilde{x}^*-\Delta\tilde{x}^*<x<\tilde{x}^* \qquad (15)$$

справедлива оценка погрешности

$\Delta\tilde{y}_N(x)\le\sum_{i=2}^{5}\Delta_i$, где

$$\Delta_2\le\frac{\Delta\tilde{x}^*}{4\sqrt{2}\,(\tilde{x}^*-x)^{5/4}},$$

$$\Delta_3\le 2^{-2}\Delta\tilde{x}^*(M+1)\frac{1+\sum_{i=0}^{3}2^{3i+1}(M+1)^i\alpha^{i+1}}{1-2^{13}(M+1)^4\alpha^5}+$$

$$+2^{\beta}\Delta\tilde{x}^*(M+1)\alpha^{1/4}\frac{1+16(3+4M)\alpha+2^{24}(M+1)^3\alpha^{9/2}+(1+4\alpha^{1/2})\sum_{i=0}^{3}2^{6i+2}(M+1)^i\alpha^{i+1/2}}{1-2^{28}(M+1)^4\alpha^5}+$$

$$+2^{\gamma}\Delta\tilde{x}^*(M+1)\alpha^{1/2}\frac{1+2^4(M+1)\alpha\left(1+2^4(M+1)\alpha\right)\left(1+2^6(M+1)\alpha^2\right)}{1-2^{18}(M+1)^4\alpha^5}, \qquad (16)$$

$$\Delta_4\le\frac{\Delta M\,\alpha}{1-2^{13}(M+\Delta M+1)^4\alpha^5}\left(\frac{2}{9}+\frac{4}{13}\alpha+\frac{2^5}{17}(M+\Delta M+1)\alpha^2+\frac{2^7}{21}(M+\Delta M+1)^2\alpha^2+\right.$$

$$+\frac{2^{11}}{25}(M+\Delta M+1)^3\alpha^4+\sqrt[4]{2}\alpha^{1/4}\left(\frac{1}{5}+\frac{2^3}{7}(M+\Delta M+1)\alpha+\sum_{i=0}^{2}\frac{2^{4+3i}}{9+2i}(M+\Delta M+1)^{i+1}\alpha^{i+2}+\right.$$

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

$$+\sqrt[4]{2^5}\alpha^{1/4}\left(\frac{1}{11}+\frac{2^3}{15}(M+\Delta M+1)\alpha+\frac{2^6}{19}(M+\Delta M+1)^2\alpha^2+\frac{2^7}{11}(M+\Delta M+1)^2\alpha^3+\right.$$
$$+\frac{2^{10}}{27}(M+\Delta M+1)^3\alpha^4+2^{-3/4}\alpha^{1/4}\left(\frac{1}{6}+(M+\Delta M+1)\alpha+\frac{2^5}{5}(M+\Delta M+1)^2\alpha^2+\right.$$
$$\left.\left.\left.+\frac{2^7}{3}(M+\Delta M+1)^3\alpha^3+\frac{2^9}{7}(M+\Delta M+1)^3\alpha^4\right)\right)\right), \qquad (17)$$

$$\Delta_5 \le \frac{2^{-2}(\tilde{x}^*-x)^{N/4}}{1-4(M+1)(\tilde{x}^*-x)^{5/4}}\sum_{i=0}^{4}\frac{(4(M+1))^{[(N+1+i)/5]}}{N+5+i}(\tilde{x}^*-x)^{i/4}, \qquad (18)$$

$$M=\sup_n(|r^{(n)}(\tilde{x}^*)|/n!),\ \Delta M=(\sup_{n,G}(|r^{(n+1)}(x)|/n!))\Delta\tilde{x}^*,\ n=0,1,2,\ldots, \qquad (19)$$

$$G=\{x:0<\tilde{x}^*-x\le\Delta\tilde{x}^*\}, \qquad (20)$$

$$\rho_4=\min\{\rho_3,1/\sqrt[5]{2^{28}(M+1)^4}\},\ \rho_3 \text{ – из теоремы 1},$$

$$\alpha=\begin{cases}\tilde{x}^*-x & \text{для } x \text{ из области (14)},\\ \Delta\tilde{x}^* & \text{для } x \text{ из области (15)},\end{cases} \qquad (21)$$

$$\beta=\begin{cases}2 & \text{для } x \text{ из области (14)},\\ 4 & \text{для } x \text{ из области (15)},\end{cases}\quad \gamma=\begin{cases}0 & \text{для } x \text{ из области (14)},\\ 1 & \text{для } x \text{ из области (15)}.\end{cases} \qquad (22)$$

Доказательство. Используя классический подход, с учетом

$$C_0=\pm1/\sqrt{2},\ C_i=0,\ \tilde{C}_0=\pm1/\sqrt{2},\ \tilde{C}_i=0,\ \Delta\tilde{C}_i=0,\ i=1,\ldots,4,$$

имеем

$$\Delta\tilde{y}_N(x)=|y(x)-\tilde{y}_N(x)|\le|\tilde{y}(x)-y(x)|+|\tilde{y}(x)-\tilde{y}_N(x)|=$$
$$=|\sum_{n=0}^{\infty}\tilde{C}_n(\tilde{x}^*-x)^{(n-1)/4}-\sum_{n=0}^{\infty}C_n(x^*-x)^{(n-1)/4}|+$$
$$+|\sum_{n=0}^{\infty}\tilde{C}_n(\tilde{x}^*-x)^{(n-1)/4}-\sum_{n=0}^{N}\tilde{C}_n(\tilde{x}^*-x)^{(n-1)/4}|\le$$
$$\le|\tilde{C}_0|\,|((\tilde{x}^*-x)+\Delta\tilde{x}^*)^{-1/4}-(\tilde{x}^*-x)^{-1/4}|+$$
$$+\sum_{n=5}^{\infty}|\tilde{C}_n|(((\tilde{x}^*-x)+\Delta\tilde{x}^*)^{(n-1)/4}-(\tilde{x}^*-x)^{(n-1)/4})+$$
$$+\sum_{n=5}^{\infty}\Delta\tilde{C}_n((\tilde{x}^*-x)+\Delta\tilde{x}^*)^{(n-1)/4}+\sum_{n=N+1}^{\infty}|\tilde{C}_n|(\tilde{x}^*-x)^{(n-1)/4}=\sum_{i=2}^{5}\Delta_i.$$

Далее

$$\Delta_2=|\tilde{C}_0|\,|((\tilde{x}^*-x)+\Delta\tilde{x}^*)^{-1/4}-(\tilde{x}^*-x)^{-1/4}|\le\frac{\Delta\tilde{x}^*}{4\sqrt{2}(\tilde{x}^*-x)^{5/4}}.$$

При оценке выражения Δ_3 суммирование проводим отдельно по целым и дробным степеням:

$$\Delta_3=\sum_{n=5}^{\infty}|\tilde{C}_n|(((\tilde{x}^*-x)+\Delta\tilde{x}^*)^{(n-1)/4}-(\tilde{x}^*-x)^{(n-1)/4})=$$
$$=\sum_{i=0}^{3}\sum_{n=2}^{\infty}|\tilde{C}_{4n-i}|(((\tilde{x}^*-x)+\Delta\tilde{x}^*)^{n-(i+1)/4}-(\tilde{x}^*-x)^{n-(i+1)/4})=\sum_{j=1}^{4}\Delta_3^{(j)}.$$

С учетом(11) для $\Delta_3^{(3)}$, в случае $\Delta\tilde{x}^* \le \tilde{x}^* - x$ получаем

$$\Delta_3^{(3)} = \sum_{n=2}^{\infty} |\tilde{C}_{4n-2}| \left(((\tilde{x}^* - x) + \Delta\tilde{x}^*)^{n-3/4} - (\tilde{x}^* - x)^{n-3/4}\right) =$$

$$= \sum_{i=0}^{4}\sum_{n=1}^{\infty} |\tilde{C}_{20n-14+4i}| \left(((\tilde{x}^* - x) + \Delta\tilde{x}^*)^{(20n-15+4i)/4} - (\tilde{x}^* - x)^{(20n-15+4i)/4}\right) =$$

$$\le \sum_{i=0}^{1}\sum_{n=1}^{\infty} \frac{2^{8n-8+2i}(M+1)^{4n-3+i}}{20n-10+4i} \cdot \frac{(20n-15+4i)\Delta\tilde{x}^*((\tilde{x}^* - x) + \Delta\tilde{x}^*)^{20n-16+4i}}{4(\tilde{x}^* - x)^{(60n-45+12i)/4}} +$$

$$+ \sum_{i=0}^{2}\sum_{n=1}^{\infty} \frac{2^{8n-6+2i}(M+1)^{4n-2+i}}{20n-2+4i} \cdot \frac{(20n-7+4i)\Delta\tilde{x}^*((\tilde{x}^* - x) + \Delta\tilde{x}^*)^{20n-8+4i}}{4(\tilde{x}^* - x)^{(60n-21+12i)/4}} \le$$

$$\le \frac{2^2(M+1)\Delta\tilde{x}^*(\tilde{x}^* - x)^{1/4}}{1 - 2^{28}(M+1)^4(\tilde{x}^* - x)^5} \times$$

$$\times \left(1 + 2^6(M+1)(\tilde{x}^* - x) + \sum_{i=0}^{2} 2^{10+6i}(M+1)^{i+1}(\tilde{x}^* - x)^{i+2}\right)$$

при условии $0 < \tilde{x}^* - x < 1/\sqrt[5]{2^{28}(M+1)^4}$. В случае $\tilde{x}^* - x < \Delta\tilde{x}^*$ для $\Delta_3^{(3)}$ имеем

$$\Delta_3^{(3)} \le \frac{2^4(M+1)(\Delta\tilde{x}^*)^{5/4}}{1 - 2^{28}(M+1)^4(\Delta\tilde{x}^*)^5} \times$$

$$\times \left(1 + 2^6(M+1)\Delta\tilde{x}^* + \sum_{i=0}^{2} 2^{10+6i}(M+1)^{i+1}(\Delta\tilde{x}^*)^{i+2}\right),$$

при этом $\Delta\tilde{x}^* < 1/\sqrt[5]{2^{28}(M+1)^4}$.

Подобным образом получаем оценки для $\Delta_3^{(1)}$, $\Delta_3^{(2)}$ и $\Delta_3^{(4)}$. Введя обозначение (21) и (22), окончательно, для Δ_3 получаем (16).

Переходим к оценке Δ_4. С учетом (19),(20) и, принимая во внимание оценки для $\Delta\tilde{C}_n$,

$$\Delta\tilde{C}_n \le \frac{2^{2[n/5]-2}}{n+4}\Delta M(M + \Delta M + 1)^{[n/5]-1}, \qquad (23)$$

полученные методом математической индукции, разделяя в Δ_4 целые и дробные степени разложения, имеем

$$\Delta_4 = \sum_{n=5}^{\infty}\Delta\tilde{C}_n((\tilde{x}^* - x) + \Delta\tilde{x}^*)^{(n-1)/4} =$$

$$= \sum_{i=0}^{3}\sum_{n=2}^{\infty}\Delta\tilde{C}_{4n-i}((\tilde{x}^* - x) + \Delta\tilde{x}^*)^{n-(i+1)/4} = \sum_{j=1}^{4}\Delta_4^{(j)}.$$

Рассмотрим $\Delta_4^{(3)}$, с учетом(23) имеем

$$\Delta_4^{(3)} = \sum_{n=2}^{\infty}\Delta\tilde{C}_{4n-2}((\tilde{x}^* - x) + \Delta\tilde{x}^*)^{n-3/4} =$$

$$= \sum_{i=0}^{4}\sum_{n=1}^{\infty}\Delta\tilde{C}_{20n+4i-14}((\tilde{x}^* - x) + \Delta\tilde{x}^*)^{(20n+4i-15)/4} = \sum_{j=1}^{5}\Delta_4^{(3j)}.$$

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

Далее, повторяя выкладки для оценки $\Delta_3^{(3)}$, будем иметь

$$\Delta_4^{(3i)} \le \frac{2^{3i-3}\sqrt[4]{2}}{2i+3} \cdot \frac{\Delta M\,(M+\Delta M+1)^{i-1}(\tilde{x}^*-x)^{i+1/4}}{1-2^{13}(M+\Delta M+1)^4(\tilde{x}^*-x)^5}, i=1,2,$$

$$\Delta_4^{(3j)} \le \frac{2^{3j-5}\sqrt[4]{2}}{2j+3} \cdot \frac{\Delta M\,(M+\Delta M+1)^{j-2}(\tilde{x}^*-x)^{j+1/4}}{1-2^{13}(M+\Delta M+1)^4(\tilde{x}^*-x)^5}, j=3,4,5.$$

Тогда для $\Delta_4^{(3)}$ получаем оценку

$$\Delta_4^{(3)} \le \frac{\sqrt[4]{2}\,\Delta M(\tilde{x}^*-x)^{5/4}}{1-2^{13}(M+\Delta M+1)^4(\tilde{x}^*-x)^5}\left(\frac{1}{5}+\frac{8}{7}(M+\Delta M+1)(\tilde{x}^*-x)+\right.$$
$$\left.+\sum_{i=0}^{2}\frac{2^{4+3i}}{9+2i}(M+\Delta M+1)^{i+1}(\tilde{x}^*-x)^{i+2}\right),$$

справедливую в области (14). Для области (15) в выражении оценки для $\Delta_4^{(3)}$ выражение $\tilde{x}^*-x$ заменяется на $\Delta\tilde{x}^*$.

По аналогии находим оценки для $\Delta_4^{(1)}$, $\Delta_4^{(2)}$ и $\Delta_4^{(4)}$. С учетом (21), окончательно для Δ_4 получаем оценку (17).

Переходим к оценке выражения

$$\Delta_5 = \sum_{n=N+1}^{\infty} |\tilde{C}_n|(\tilde{x}^*-x)^{(n-1)/4}.$$

На основании теоремы 2, для него имеем оценку (18), справедливую в области

$$0 < \tilde{x}^* - x < 1/\sqrt[5]{2^8(M+1)^4}.$$

Таким образом, теорема доказана.

Замечание. Теорема 3 справедлива в областях

$$\tilde{x}^* < x \le \tilde{x}^* + \Delta\tilde{x}^*, \qquad (24)$$

$$\tilde{x}^* + \Delta\tilde{x}^* < x < \tilde{x}^* + \rho_4, \qquad (25)$$

если в этой теореме вместо условия 3 выполняется условие $x^* \le \tilde{x}^*$. В этом случае

$$\alpha = \begin{cases} \Delta\tilde{x}^* & \text{для } x \text{ из (24)}, \\ x-\tilde{x}^* & \text{для } x \text{ из (25)}, \end{cases}$$

$$\beta = \begin{cases} 4 & \text{для } x \text{ из (24)}, \\ 2 & \text{для } x \text{ из (25)}, \end{cases}$$

$$\gamma = \begin{cases} 1 & \text{для } x \text{ из (24)}, \\ 0 & \text{для } x \text{ из (25)}, \end{cases}$$

в (18) выражение $\tilde{x}^*-x$ заменяем на $x-\tilde{x}^*$, структура приближенного решения вместо (13) будет иметь вид

$$\tilde{y}_N(x) = \sum_{n=0}^{N}\tilde{C}_n(x-\tilde{x}^*)^{(n-1)/4},\ \tilde{C}_0 \ne 0.$$

Пример 2. Найдем приближенное решение задачи Коши, рассмотренной в примере 1, в окрестности точки $\tilde{x}^*$.

Решение. Для расчетов взяты следующие значения: $\tilde{x}^* = 1{,}2499$, $\Delta\tilde{x}^* = 10^{-4}$. Находим $\rho_4 = 0{,}020617311$. Выберем $x = 1{,}2311$ из области (14). Рассмотрим случай $\tilde{N}_0 = 1/\sqrt{2}$. Расчеты представлены в *таблицах 3* и *4*.

Таблица 3

x	y	$\tilde{y}_3$
1,2311	1,907082808	1,90961378

Здесь y – значение точного решения, $\tilde{y}_3$ – значение приближенного решения,

Таблица 4

Δ	Δ'	Δ''
0,002530971	0,010117423	$5{,}3\cdot10^{-3}$

Δ – абсолютная погрешность, Δ' – априорная погрешность, полученная по теореме 3, Δ'' – апостериорная погрешность.

С помощью теоремы 3 можно решить и обратную задачу теории погрешности – определить значение N по заданной точности приближенного решения ε. Так, для $\varepsilon = 5{,}3\cdot10^{-3}$ получаем $N=15$. Поскольку все производные функции $r(x)$ равны нулю, следовательно, мы можем ограничиться значением $N=3$ в (13). При этом получаем апостериорную погрешность для приближенного решения $\tilde{y}_3$, равную значению $\varepsilon = 5{,}3\cdot10^{-3}$.

Литература

1. Орлов В.Н. Исследование приближенного решения второго уравнения Пенлеве / В.Н. Орлов, Н.А. Лукашевич // Дифференциальные уравнения. 1989. Т. 25. №10. С. 1829–1832.

2. Орлов В.Н. Об одном конструктивном методе построения первого и второго мероморфных трансцендентных Пенлеве / В.Н. Орлов, В.П. Фильчакова // Симетрійні та аналітичні методи в математичній фізиці. ІМ НАН України. Киев. 1998. Т. 19. С. 155–165.

3. Орлов В.Н. О приближенном решении первого уравнения Пенлеве / В.Н. Орлов // Вестник Казанского гос. тех. ун-та им. А.Н. Туполева. 2008. №2. С. 42–46.

4. Орлов В.Н. Метод приближенного решения дифференциального уравнения Риккати / В.Н. Орлов // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского гос. политех. ун-та. 2008. №63. С. 102–108.

5. Орлов В.Н. Об одном методе приближенного решения матричных дифференциальных уравнений Риккати / В.Н. Орлов // Вестник Московского авиационного института. 2008. Т. 15. №5. С. 128–135.

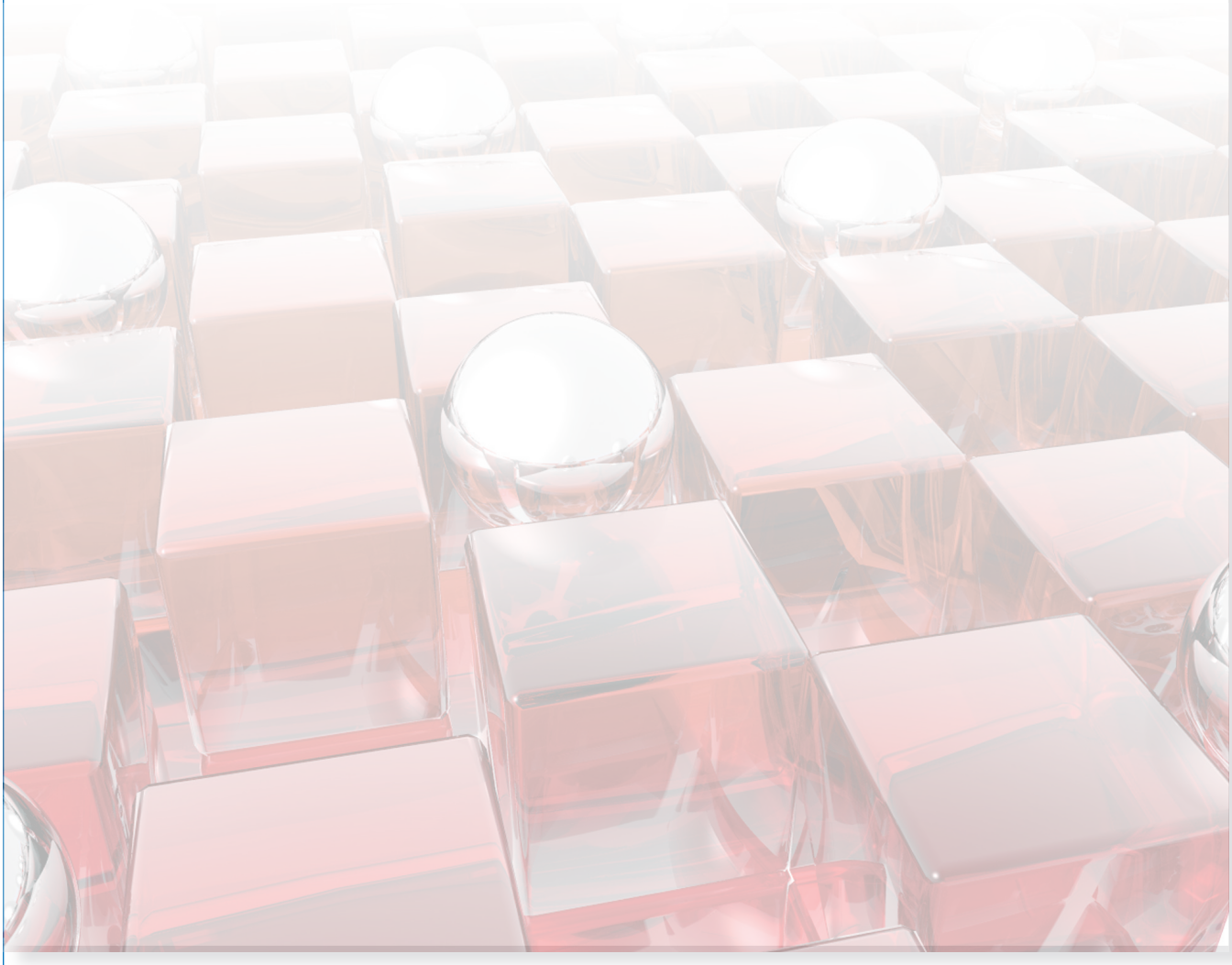
6. Орлов В.Н. Точные границы области применения приближенного решения дифференциального уравнения Абеля в окрестности приближенного значения подвижной особой точки / В.Н. Орлов // Вестник Воронежского гос. тех. ун-та. 2009. Т. 5. №10. С. 192–195.

7. Орлов В.Н. Математическое моделирование решения дифференциального уравнения Абеля в окрестности подвижной особой точки / В.Н. Орлов, С.А. Редкозубов // Известия Института инженерной физики. 2010. №4(18). С. 2–6.

8. Орлов В.Н. Приближенное решение одного нелинейного дифференциального уравнения в области аналитичности / В.Н. Орлов, А.З. Пчелова // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики : сборник трудов Международной науч. конф. : в 2 ч. Ч. 1. Воронеж : ИПЦ Воронежского гос. ун-та. 2012. С. 299–302.

9. Орлов В.Н. Построение приближенного решения нелинейного дифференциального уравнения в области аналитичности / В.Н. Орлов, А.З. Пчелова // Вестник Чуваш. гос. пед. ун-та им. И. Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. 2012. № 4 (14). С. 113–122.

10. Голубев В.В. Лекции по аналитической теории дифференциальных уравнений / В.В. Голубев. М.-Л.: Гостехиздат. 1950. 436 с.



УДК 004.657

МЕТОДИКА ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОГО ВАРИАНТА ТЕРРИТОРИАЛЬНО-РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СТРУКТУРЫ ЭКСПЕРТНО-ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

Илья Александрович Никитин
главный специалист – эксперт отдела
контроля средств связи, АСУ и базовых технологий
Федеральная служба по оборонному заказу
Москва
Тел.: +7(495) 982-36-74

На основе использования методов теории очередей и имитационного моделирования изложены процедуры выбора рационального варианта территориально-распределенной структуры экспертно-информационной системы управления развитием вооружения и военной техники.

Using methods of queuing theory and simulation presented the selection process of a rational variant geographically distributed structure expert and management information system development of weapons and military equipment.

Ключевые слова: база данных и знаний, экспертно-информационная система, управление, вооружение и военная техника.

Keywords: database and knowledge, expertise and information system management, weapons and military equipment.

Как показывает опыт эксплуатации, в экспертно-информационных системах (ЭИС) управления развитием вооружения и военной техники (УРВВТ) могут возникать значительные перегрузки, что приводит к образованию очередей. Чтобы удовлетворить требованиям критериев пригодности, адекватности и оптимальности [1], необходимо учитывать эти очереди, что позволяет уточнить такие важные параметры структуры ЭИС как число локальных баз данных и знаний (ЛБДЗ), число клиентских станций, подключенных к одной из ЛБДЗ, топологию и производительность вычислительной сети.

Для решения этой задачи можно использовать методы теории очередей и имитационного моделирования. На этапе системного проектирования более предпочтительным является использование теории очередей для оперативной оценки параметров структуры ЭИС в различных конфигурациях, а имитационное моделирование целесообразно проводить на стадии, когда конфигурация структуры ЭИС уже выбрана [2].

Опираясь на известные методы теории очередей, рассмотрим имитационное моделирование территориально-распределенной структуры ЭИС УРВВТ, в основу которого положено моделирование односерверной ЭИС. Основанием для этого служит обоснованное положение о «квазизамкнутости» ЛБДЗ низшего уровня. Это означает, что при выборе эффективной структуры ЭИС филиала на начальном этапе можно полностью использовать методы, применявшиеся в [2, 3].

Полученная структура БДЗ нижнего уровня будет весьма близка к оптимальной и ее возможное уточнение обусловлено учетом обмена информацией с БДЗ вышестоящих (центральных) организаций. Общий алгоритм имитационного моделирования требует, чтобы структура вычислительной сети была определена. Это означает, что число серверов, топология связи серверов

ЛБДЗ и, соединенных с ними пользовательских станций, задана. Тогда для моделирования работы приложений пользователей нижнего уровня (филиала или его подразделений) достаточно оценить время обмена с «чужим» сервером или серверами и добавить его ко времени, полученному на этапе моделирования ЭИС с одним сервером. Для фиксированного объема передаваемой информации V_f это время составляет

$$t^{ex} = t^f + t^{sys} + t^m + V_f / c^p, \qquad (1)$$

где t^f, t^{sys}, t^m – соответственно времена формирования запроса к ЛБДЗ, работы сетевого и серверного уровня, выбора маршрута и установления соединения;

c^p – средняя пропускная способность канала связи.

Последний член в выражении (1) зависит от объема информации, считываемой и передаваемой с удаленного «чужого» сервера. При этом остальные параметры правой части выражения (1) зависят от свойств конкретных систем, как сетевой операционной, так и собственно системы управления базой данных (СУБД), а также от аппаратной реализации проекта структуры ЭИС.

На основе полученных результатов проведем выбор рационального варианта территориально-распределенной структуры ЭИС УРВВТ. Под рациональной структурой ЭИС будем понимать структуру, которая удовлетворяет системным, сетевым, стоимостным ограничениям и имеет наилучшие значения временного показателя – суммарного времени выполнения множества запросов пользователей ЭИС в последовательном режиме, т.е.

$$\dot{O} = \sum_{k=1}^{Ko} \sum_{p=1}^{Po} \xi_{kp}^q \phi_{kp}^q \left\{ \sum_{r1=1}^{ro} v_{kr1} \left[y_{tr} \left(t1^{ac} + \sum_{i=1}^{Io} x_{it} t1^{ex} k_{ip}^{re} \right) + \right.\right.$$

$$+ \sum_{r2}^{r0} \left(t1^{f} + t1^{sys} \right) z_{p_{r2}} + \sum_{r2}^{r0} \left(\left(t_{r1r2}^{m} + t_{r1r2}^{n} \right) z_{p_{r2}} + \right.$$

$$\left.\left.\left. + \sum_{t=1}^{T_0} y_{t_{r2}} \left(1 - y_{t_{r1}}\right) \left(t1^{ac} + \sum_{i=1}^{I_0} x_{it} \left(t_1^{ex} k_{ip}^{re} + \tau_{pi}^{p} \right) \right) \right] \right\}, \qquad (2)$$

где ξ_{kp}^q – частота использования p-ой таблицы в запросе k-ого пользователя;

v_{kr} – матрица прикрепления пользователей к локальным серверам: $v_{kr} = 1$, если k-ый пользователь прикреплен к r-тому серверу, и ноль в противоположном случае;

ϕ_{kp}^q – матрица использования запросов пользователями: $\phi_{kp}^q = 1$, если k-ый пользователь использует p-ый запрос, и ноль в противоположном случае;

k_{ip}^{re} – количество блоков информации, содержащихся в i-ой записи и передаваемой по запросу пользователя;

t^{ac} – время ожидания доступа к БДЗ и поиска требуемых записей;

t^n – время инициирования запроса (подзадачи) и передачи его в локальный сервер, содержащий требуемые записи;

τ^p – время блокировки локального сервера при выполнении им заданий на корректировку информации.

Переменные x, y, z имеют следующий смысл:

$$x_{it} = \begin{cases} 1, \text{ если } i\text{-ый атрибут включается в } i\text{-ый тип записи;} \\ 0, \text{ в противоположном случае;} \end{cases}$$

$$y_{tr} = \begin{cases} 1, \text{ если } i\text{-ый тип записи размещается} \\ \quad \text{на } r\text{-ом локальном сервере;} \\ 0, \text{ в противоположном случае;} \end{cases}$$

$$z_{p_{r_2}} = \begin{cases} \exists r_2 \div \sum_{t=1}^{T_0} y_{t_{r_2}} \omega_{pi}^q x_{it} \geq 1; \; v_{k_{r_2}} v_{t_{r_2}} = 0; \\ 0, \text{ в противоположном случае,} \end{cases}$$

где ω_{kp}^q – матрица использования p-ой таблицы k-ым пользователем:

$\omega_{kp}^q = 1$, если таблица используется и ноль в противоположном случае.

Переменные $z_{p_{r_2}}$ определяют множество локальных серверов, на которых расположены типы записей, необходимых для выполнения p-ого запроса. При дублировании типов записей $z_{p_{r_2}}$ принимает значение равное 1 для ближайшего сервера.

При выборе структуры БДЗ использовались две стратегии – расчленения и дублирования. Сочетание таких стратегий может уменьшить трафик в сети, поскольку для того, чтобы достичь максимальной независимости ЛБДЗ филиала от БДЗ центральной организации, необходимо продублировать некоторые таблицы данных. Такой подход, на первый взгляд, представляется оправданным, так как ЛБДЗ, с точки зрения пользователей филиала, является независимой. Основным и весьма существенным недостатком при этом является необходимость согласования дублируемой информации в ЛБДЗ.

Для согласования информации можно использовать несколько приемов. Простейший из них состоит в ручном согласовании данных силами пользователей, когда дублируемые на разных ЛБДЗ таблицы данных сравниваются между собой, и в одну из таблиц данных вносятся соответствующие изменения. Дефект такого приема очевиден – согласованность информации зависит от дисциплины пользователей. Поэтому основным рассматриваемым приемом был вариант автоматического согласования информации.

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

Было предложено проводить согласование за определенный промежуток времени с помощью специальных приложений (программ), запуск которых осуществляется в определенное время с использованием системной даты и системного таймера одного из серверов ЛБДЗ. Например, если отчетная информация о деятельности филиала содержится как в ЛБДЗ «центра», и минимальный отчетный период составляет одну неделю, то один раз в неделю на сервере ЛБДЗ запускается приложение, обновляющее отчетную информацию о филиале с помощью выполнения программы «перекачки» информации из соответствующей таблицы данных ЛБДЗ филиала.

Безусловно, предусмотрен вариант и «ручного» согласования информации в тех случаях, когда это необходимо. Такой подход, как показали результаты моделирования проектируемых систем и эксплуатации реальных ЭИС, может существенно снизить нагрузку на сеть распределенной по территории системы. Для этого на этапе проектирования изучались функциональные требования различных групп клиентов ЭИС, в частности, сотрудников филиалов и «центра» с позиций периодичности согласования информации, которые учтены при моделировании.

Эффективность функционирования ЭИС оценивалась по соотношению

$$\acute{Y} = \grave{O}/\tilde{N}, \qquad (3)$$

где время T многократно определялось по выражению (2);

C – стоимость хранения информации, которая включает стоимости основного оборудования, обслуживания и источников питания для локальных серверов.

Стартовой точкой для решения задачи оптимизации являются результаты анализа степени

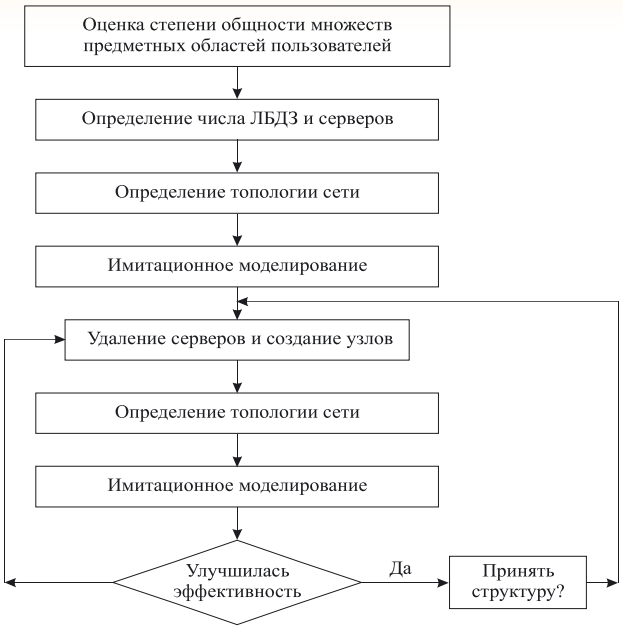


Рис. 1. Схема алгоритма выбора рационального варианта территориально-распределенной структуры ЭИС

общности предметных областей пользователей на основе теории автоматической классификации. Основным итогом такого анализа является использование не менее одного сервера ЛБДЗ для каждого филиала и центрального учреждения. При этом теоретический подход к расчленению БДЗ не учитывает трафик в распределенной сети, а также различные ограничения на стоимость хранения информации. Поэтому результаты такого подхода дают оценку «сверху» числа ЛБДЗ и соответствующих серверов. Алгоритм выбора рационального варианта структуры ЭИС представлен схематически на *рисунке 1*, где основными этапами являются: удале-

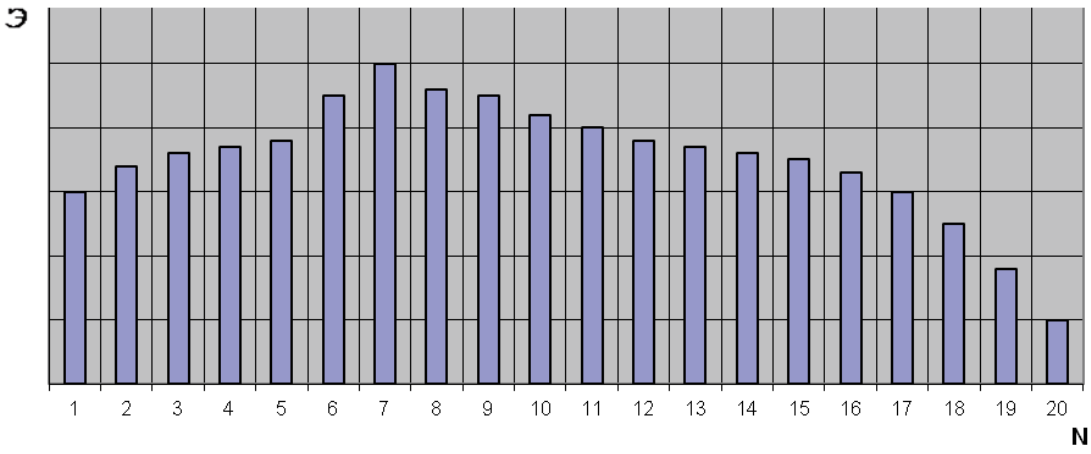


Рис. 2. Зависимость соотношения «время-стоимость» от числа серверов

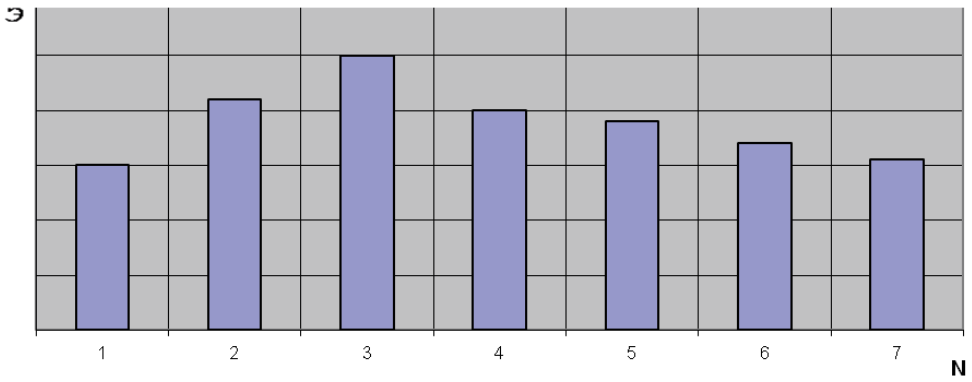


Рис. 2. Зависимость соотношения «время-стоимость» от числа узловых серверов

ние некоторых серверов БДЗ и введение вместо отдельных серверов филиалов одного узлового сервера, обслуживающего эти филиалы и расположенного, как правило, в центральном учреждении. Определение топологии сети означает определение связи между серверами ЛБДЗ филиалов и центральной организации, в том числе связей между узловыми серверами и серверами ЛБДЗ центральной организации. В случае если для одного варианта произошло улучшение эффективности функционирования ЭИС, то он становится исходным и дальнейшие изменения ее структуры оцениваются относительно него.

Для примера на гистограммах, показанных на *рисунках 2* и *3*, приведены ориентировочные данные по оценке соотношения «время-стоимость» для различного числа серверов, из которых видно, что эффективность растет при сравнительно небольшом числе серверов, а затем стоимость системы существенно снижает значение *Ý*. На *рисунке 3* показана зависимость *Э* от числа узловых серверов, при условии, что каждый узловой сервер объединяет данные по трем филиалам. Причем, если число узлов не превышает трех, это приводит к увеличению показателя *Ý* (*рисунок 3*).

Проверка на адекватность имитационной модели проводилась в сравнении с ранее полученными результатами опытной эксплуатации ЭИС «Ядро» по временам выполнения пользовательских приложений [3]. Критерием адекватности считалось незначимое отличие как среднего времени выполнения приложения определенного типа, так и незначимое отличие «опытной» и «модельной» дисперсии этих времен. При этом использовались критерии Бартлета и Фишера с заданной доверительной вероятностью равной 0,95. Сравнение модельных результатов и результатов опытной эксплуатации ЭИС свидетельствует об адекватности имитационной модели, так как запас коэффициента адекватности составляет 23%.

Литература

1. Буренок В.М., Ляпунов В.М., Мудров В.И. Теория и практика планирования и управления развитием вооружения. -М.: Изд. «Вооружение. Политика. Конверсия», 2009. 419 с.

2. Мартин Дж. Организация баз данных в вычислительных системах. Пер. с англ. М.: Наука, 2008. 463 с.

3. Борисов А.В. Имитационное моделирование распределенной экспертно-информационной системы // Известия Института инженерной физики, 2008. №4. С. 38-42.

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

УДК 001.89:5/6; 519.876.32

СТРУКТУРНЫЙ СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ЗАТРАТАМИ НА ЛЕТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ АВИАЦИОННОГО ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Владимир Васильевич Харитонов
кандидат технических наук, доцент
ведущий инженер
Государственный летно-испытательный центр им. В.П. Чкалова
Адрес: 416507, Астраханская обл., г. Ахтубинск, в/ч 15650
E–mail: haritonovvladimir@yandex.ru

Андрей Александрович Есев
кандидат технических наук
начальник отделения – старший инженер-испытатель
Государственный летно-испытательный центр им. В.П. Чкалова
Адрес: Московская обл., г. Щелково-10, в/ч 15650-16
Тел.: +7(926)5844144
E-mail: a.a.esev@yandex.ru, 094036@gmail.com

Алексей Николаевич Мережко
ведущий инженер
Государственный летно-испытательный центр им. В.П. Чкалова
Адрес: 416507, Астраханская обл., г. Ахтубинск, в/ч 15650

Андрей Павлович Зыкин
ОАО «Роствертол»
заместитель начальника летно-испытательной станции
Адрес: 344038, г. Ростов-на-Дону, ул. Новаторов, д. 5
E-mail: Andrey-Zykin@yandex.ru

В статье изложены основные результаты структурного системного анализа процессов управления затратами на летные испытания авиационного вооружения и военной авиационной техники, включая классификацию затрат, структуру системы автоматизированного управления ими, особенности планирования затрат, условия реализации эффективной системы управления затратами и предложения по их учету и снижению.

The article presents the main results of the structural system analysis process control costs for flight tests of aircraft armament and military aircraft, including the classification of costs, the structure of the automated management, especially the planning costs, conditions for effective cost management and proposals for their accounting and reduction.

Ключевые слова: база данных и знаний, экспертно-информационная система, управление, вооружение и военная техника.

Keywords: database and knowledge, expertise and information system management, weapons and military equipment.

Большая роль летных испытаний в общем процессе разработки новых и совершенствования имеющихся образцов авиационного вооружения и военной авиационной техники (ВВТ), наряду с другими факторами, обусловлена тем, что для их проведения затрачиваются значительные материальные, финансовые и трудовые ресурсы [1-3]. Для организации эффективных летных испытаний (ЛИ), летно-испытательных экспериментов (ЛИЭ) необходимо выполнение некоторых условий. Одно из них – наличие рациональной системы управления ЛИ на основе экономических показателей с включением в общую систему управления испытаниями подсистемы управления затратами всех видов ресурсов [3].

Экономическая эффективность механизма функционирования системы испытаний определяется степенью управляемости затратами. Под *управлением затратами* понимается комплексный процесс, охватывающий операции нормирования и планирования, учета и анализа рас-

ходов, контроль за процессом их формирования [2-6]. Управление затратами является сложным процессом, требующим специальным подходов к выбору группировки затрат, позволяющих организовать систему контроля и своевременно реагировать на негативную динамику изменения затрат.

В целях контроля и регулирования уровня затрат применяется следующая их ***классификация*** [3]:

- регулируемые (зависящие от руководителя) и нерегулируемые (независящие от руководителя);
- эффективные (на получение полезной (для потребителя) продукции) и неэффективные (имеющие непроизводственный характер; в результате этих расходов не будет получен продукт, а, следовательно, и доход от реализации);
- контролируемые (зависят от деятельности субъектов управления) и неконтролируемые (от деятельности субъектов управления не зависят);
- в пределах норм (сметы) и с отклонениями от норм.

Целевая классификация затрат позволяет организовать систему контроля и управления расходами. Основные элементы системы управления затратами на проведение летных испытаний ВВТ приведены на *рисунке 1*.

Требования управления затратами определяют отдельное изучение методики учета затрат и необходимость разработки системы контроля за себестоимостью продукции на основе расширения аналитичности методов учета групповых затрат.

Очевидно, что в своей деятельности лица, принимающие решения (ЛПР), то есть руководители центров ответственности, стремятся устранить причины, вследствие которых имеют место нерегулируемые, неконтролируемые и неэффективные затраты, и принимают меры по минимизации всех других видов затрат.

В задачи системы учета затрат входит снижение стохастических потерь (рассогласование этапов испытательного процесса, ЛИЭ, диспропорции, нарушение сроков проведения ЛИЭ и т.п.) от первоначальных возмущений и всех видов потерь от вторичных возмущений. Система оперативного учета затрат на проведение ЛИЭ должна обеспечивать выработку управляющих воздействий в ответ на отклонение параметров по каждой статье затрат.

Просчеты в планировании, организации и управлении затратами и выполнении ЛИЭ являются основными недостатками существующей системы учета затрат, в частности, системы управления затратами в целом. Вследствие этих недостатков при проведении ЛИЭ наблюдается перерасход затрачиваемых ресурсов и их неэффективное использование [1-4].

Система учета и управления затратами при проведении ЛИ должна базироваться на сопоставлении информации о ситуации, какой она

Рис. 1. Функциональная структура системы управления затратами на ЛИ ВВТ

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

является на текущий момент, и ситуации, заранее определенной планом. Следовательно, для эффективного управления необходима точная и своевременная информация о затраченных средствах, использованном времени и степени завершенности работ; также должна обеспечиваться возможность корректировки плана работ в направлении предупреждения возможного увеличения затрат [3-6].

Процесс планирования ЛИЭ заключается в следующем:

■ определении конечной цели всей совокупности однотипных единичных ЛИЭ;

■ формирование критериев достижения конечной цели этой совокупности ЛИЭ и их ориентировочное (прогнозируемое) количество;

■ согласование по срокам и конечным результатам промежуточных задач при выполнении плана ЛИЭ;

■ определение потребности в материальных ресурсах, количестве, специальностях и квалификации персонала (испытателей), необходимых для решения поставленных задач;

■ сравнение потребных материальных ресурсов с фактически выделяемыми ресурсами и, при необходимости, корректировка плана ЛИЭ, в том числе корректировка методики их проведения.

Обязательными условиями реализации эффективной системы управления затратами на ЛИ являются [2-4]: ■ выделение в распоряжении лица, ответственного за достижение ЛИЭ, достаточных ресурсов; ■ единоначалие в управлении действиями обеспечивающего персонала и управляющих организационными структурами; ■ обеспечение управляющих организационными структурами ресурсами, необходимыми и достаточными для решения их задач.

Ключевым моментом управления затратами является выделение затрат, необходимых на проведение ЛИЭ с контролем за их расходованием.

Считается обязательным соблюдение сметы расходов при управлении ЛИЭ, как и достижение заданных целей конкретных испытаний и, в целом, целей разработки образца ВВТ.

Среди предложений по системам учета затрат и по их снижению выделяют следующие ***основные группы*** (направления) [2-5]:

1. Предложения технического характера, связанные с разработкой и внедрением специальных средств испытаний.

2. Предложения организационного (управленческого) характера, связанные с организацией учета затрат и управления ими по месту их возникновения.

3. Предложения организационно–экономического характера, связанные с организацией учета затрат, детализацией их экономическим элементам в соответствии с местом их возникновения.

К первой группе относятся следующие предложения:

■ необходимо обеспечить обработку информации в реальном масштабе времени для обеспечения оперативной корректировки режимов полетов, повышения их информативности, что позволит сократить количество незачетных полетов; ■ увеличение продолжительности испытательного полета, определяемого, в частности, запасом топлива на борту, что приводит к снижению доли непроизводительных затрат полетного времени. Одним из путей увеличения информативной, т.е. используемой непосредственно на проведение эксперимента, части полета является применение дозаправки самолета топливом в полете, для чего соответствующая система отрабатывается на ранней стадии ЛИ. Существенный эффект достигается при одновременном применении дозаправки топливом в полете и управления ЛИЭ в реальном масштабе времени; ■ максимальное использование тренажеров, что приведет к повышению уровня подготовки летных экипажей к выполнению полетных заданий, и, следовательно, к повышению зачетности полетов; ■ снижение затрат обеспечивается за счет использования оптимальных типов ЛА в качестве обеспечивающих, причем по ряду статей затрат: авиационных горюче–смазочных материалов, амортизация ЛА, основная заработная плата экипажа самолета и т.п.; ■ при распределении видов испытаний между отдельными опытными образцами необходимо предусматривать возможность максимального комплексирования полетных заданий и, при необходимости, оперативного их изменения с учетом реализованной структуры бортовых информационно–измерительных средств.

Вторую группу составляют следующие предложения:

■ необходимо организовать учет затрат по местам их возникновения, т.е. по специальным структурным подразделениям, в которых можно организовать нормирование, планирование и учет затрат в целях наблюдения, контроля и управления затратами на проведении ЛИ; ■ система учета должна позволять осуществлять обобщение информации по центрам ответственности, что позволит обеспечить контроль за уровнем затрат. Такая группировка затрат позволит совместить в одном учетном процессе места возникновения затрат.

В третью группу предложений входят:

■ оптимизация затрат на проведение ЛИ во многом зависит от объема испытательной информации, полученной на ранних стадиях ОКР, предшествующих непосредственно ЛИ, поэтому необходимо добиваться увеличения объема испытательной информации, получаемой при ЛИЭ; ■ важным моментом в системе учета затрат является наблюдение и контроль за фактическим уровнем затрат в сопоставлении с их нормативами и плановыми размерами в целях выявления отклонений и формирования экономической стратегии продолжения испытаний; ■ основными предпосылками формирования и организации учета по центрам затрат, ответственности являются четкое разграничение затрат на зависящие от функций того или иного центра; калькуляция себестоимости с полным распределением затрат; выделение в учете трех элементов издержек – материальных, трудовых и накладных; планирование прибыли и контроль за расходами.

Естественно, что максимальный технико-экономический эффект может быть достигнут только при комплексном внедрении разработанных предложений.

Функционирование системы управления затратами должно характеризоваться определенной эффективностью. Эффективность ЛИ в целом может рассматриваться как достижение целей испытаний в заданные сроки с минимальными затратами.

Главный принцип выбора показателей эффективности заключается в обеспечении достаточно полного их соответствия целям, которые должны быть достигнуты в испытаниях. При этом численные значения должны служить мерой выполнения задач.

Основным требованием к критерию эффективности является его соответствие сформулированным целям системы, а значения критерия эффективности должны характеризовать степень достижения этих целей [2-5].

Исходя из изложенного определяют основной (главный) и дополнительные (частные) показатели эффективности.

Первый должен соответствовать главной цели, при достижении которой выполняется задачи всей операции, дополнительные – характеризовать эффективность решения частных задач, состояние сил и средств, пространственно–временные, ресурсные и другие условия или ограничения. Для определения основного показателя, как правило, требуется рассчитывать частные показатели. Основной целью ЛИ образца ВВТ является его комплексная оценка, получаемая на основе полной, достоверной и точной информации о нем [2-4]. Организация комплексной оценки представляет собой управление процессом испытаний таким образом, чтобы в результате этого процесса с одной стороны была получена полная информация о достижении целей разработки, с другой стороны, достижение этих целей было осуществлено с наибольшим эффектом с меньшими материальными и временными затратами. Второе необходимое условие – определение расчетной эффективности затрат. Третье необходимое условие – выбор норматива эффективности затрат. Четвертое – это согласование формы расчетной эффективности с нормативной.

Относительные оценки позволяют судить с одних и тех же позиций о научно–техническом уровне работ и организовать действенное оперативное управление. Вследствие этого имеется возможность контролировать не только уровень достигаемых научно–практических результатов разработки ВВТ, но и сроки и затраты на их достижение.

Разрабатываемая система показателей должна в любом случае охватывать все основные виды работ. Поскольку оперативная система управления исследованиями и разработками является инструментом соответствующего руководителя, постольку она должна быть оптимальным образом приспособлена к условиям подразделения, обеспечивающего ЛИ.

Литература

1. Осыковый Н.М. Возможности развития авиационной техники военного назначения в условиях жесткого финансового кризиса / Н.М. Осыковый, Г.П. Шибанов // Проблемы безопасности полетов. 2010. № 7. С. 26-29.

2. Коломиец Л.В. Метод поддержки принятия решений по управлению ресурсами при испытаниях авиационной техники / Л.В. Коломиец [и др.] // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2010. Т. 8. № 5. С. 38-40.

3. Коломиец Л.В. Определение стоимости летного эксперимента по программе летных испытаний: учебно-методическое пособие / Л.В. Коломиец, Н.Н. Ковалева, Н.В. Ванагас. Волгоград: Изд-во Волгоградского государственного университета, 2012. 59 с.

4. Технология планирования многофакторных экспериментальных исследований и построения эмпирических моделей комбинированных воздействий факторов на операторов эргатических систем / М.В. Федоров, А.В. Богомолов, Г.В. Цыганок, С.А. Айвазян // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2010. №5. С. 44-49.

5. Математическая модель автоматизированного контроля выполнения мероприятий в органах военного управления / М.В. Федоров, К.М. Калинин, А.В. Богомолов, А.Н. Стецюк // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2011. №5. Т. 9. С. 46-54.

6. Экспертно-аналитическое обоснование приоритетных направлений совершенствования системы предупреждения биологических террористических актов / А.В. Богомолов, Т.В. Зуева, С.С. Чикова, М.С. Голосовский // Информатика и системы управления. 2009. №4. С. 134-136.

УДК 621.395

СИНТЕЗ НЕДВОИЧНЫХ КОРРЕКТИРУЮЩИХ КОДОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯМИ ДВОИЧНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ РИДА–МАЛЛЕРА

Владимир Владимирович Зеленевский
доктор технических наук, профессор
профессор кафедры
филиал ВА РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142202, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(4967)35-12-31

Юрий Владимирович Зеленевский
кандидат технических наук, доцент
ВА РВСН им. Петра Великого
Адрес: 109074, г. Москва,
Китайгородский пр-д, д. 9/5
Тел.: +7(4967)35-12-31

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

Предлагается новый метод синтеза недвоичных корректирующих кодов, использующий преобразование в поле Галуа двоичных последовательностей Рида-Маллера.

New method of nonbinary error-correcting codes synthesis using the transformation of Reed-Muller binary sequences codes in the Galois field is proposed.

Ключевые слова: примитивный полином, примитивный элемент, порядок поля, кодовая комбинация, кодовое расстояние.

Keywords: primitive polynomial, primitive element, field order, code combination, code distance.

Известно [1], что в основе синтеза двоичных последовательностей Рида-Маллера и недвоичных кодов Рида-Соломона лежат процедуры в конечном расширенном поле GF(2^m), где m – целые числа, $m>2$, использующие неприводимые полиномы со старшей степенью, равной m.

Теорема 1. Только неприводимый полином $g(x)$ со старшей степенью m, который является примитивным, позволяет получить все элементы поля GF(2^m) и может использоваться для синтеза двоичных корректирующих кодов Рида-Маллера с длиной $n=2^m$ и недвоичных корректирующих кодов с основанием $q=2^m$, длиной $N_q=var$, кодовым расстоянием $D_q=N_q$ и числом двоичных информационных символов m.

Для доказательства теоремы 1 сделаем ряд замечаний.

Замечание 1. Примитивные полиномы принадлежат к классу нередуцируемых полиномов $g(x)$ порядка m, которые нельзя представить в виде произведения полиномов меньшего порядка.

Замечание 2. Не всякий неприводимый полином является примитивным.

Пусть задан нередуцируемый (неприводимый) полином $g_1(x)=x^4+x+1$, $m=4$. Определим, является ли он делителем для полинома $x2^{m-1}+1=x^{15}+1$ при любых значениях $1\le n_0\le 15$, где $n_0=2^m-1$.

Убедимся, что при $n_0=15$ полином $x^{15}+1$ делится на $g_1(x)=x^4+x+1$ без остатка $R(x)=0$

$$
\begin{array}{l|l}
x^{15}+1 & x^4+x+1 \\
\underline{x^{15}+x^{12}+x^{11}} & \\
x^{12}+x^{11}+1 & x^{11}+x^8+x^7+x^5+x^3+x^2+x+1 \\
\underline{x^{12}+x^9+x^8} & \\
x^{11}+x^9+x^8+1 & \\
\ldots\ldots\ldots\ldots & \\
 & x^5+x^4+x^2+1 \\
 & \underline{x^5+x^2+x} \\
 & x^4+x+1 \\
 & \underline{x^4+x+1} \\
 & R(x)=0
\end{array}
$$

Нетрудно убедиться, что при $n_0<15$ полином $x^{n_0}+1$ не делится без остатка ($R(x)\neq 0$) на $g_1(x)=x_4+x+1$:

- при $n_0=14$ $R(x)=x^3+1\neq 0$;
- при $n_0=7$ $R(x)=x^3+x\neq 0$ и т.д.

Следствие 1. Неприводимый полином $g_1(x)=x^4+x+1$ является примитивным.

Докажем, что с его помощью можно получить все элементы расширенного поля GF(2^m). Для этого построим *таблицу 1*, где элементы поля будут представлены как i-степень примитивного элемента x, в виде полинома $R(x)$ и двоичного m-разрядного вектора.

Таблица 1

Элементы поля GF(2^4) по $g_1(x)=x^4+x+1$

№ п/п	x^i	$R(x)$	m-разрядный вектор
1	$x^{-\infty}$	0	0000
2	x^0	1	0001
3	x^1	x	0010
4	x^2	x^2	0100
5	x^3	x^3	1000
6	x^4	$x+1$	0011
7	x^5	x^2+x	0110
8	x^6	x^3+x^2	1100
9	x^7	x^3+x+1	1011
10	x^8	x^2+1	0101
11	x^9	x^3+x	1010
12	x^{10}	x^2+x+1	0111
13	x^{11}	x^3+x^2+x	1110
14	x^{12}	x^3+x^2+x+1	1111
15	x^{13}	x^3+x^2+1	1101
16	x^{14}	x^3+1	1001
17	x^{15}	1	0001

Анализ *таблицы 1* показывает:

– построенное поле содержит все необходимые элементы {0; 1; x; x^2;…; x^{13}; x^{14}}, т.е. 16 недвоичных элементов, которые можно использовать для синтеза недвоичного кода с основанием $q=2^4=16$;

– элементы поля, за исключением нулевого, имеют период повторения, равный $n_0=2^4-1=15$;

– одноименные разряды двоичного представления элементов поля являются двоичными последовательностями Рида-Маллера (при исключении нулевого элемента поля длина последовательности равна $n_0=15$).

Для дальнейшего обсуждения замечания 2 выберем другой неприводимый полином $g_2(x)=x^4+x^3+x^2+x+1$. Убедимся, что при $n_0=15$ полином $x^{15}+1$ делится на $g_2(x)$ без остатка

$$\begin{array}{l|l} x^{15}+1 & x^4+x^3+x^2+x+1 \\ \underline{x^{15}+x^{14}+x^{13}+x^{12}+x^{11}} & \underline{x^{11}+x^{10}+\ldots x+1} \\ x^{14}+x^{13}+x^{12}+x^{11}+1 & \\ \underline{\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots} & \end{array}$$

$$\begin{array}{l} x^5+1 \\ \underline{x^5+x^4+x^3+x^2+x+1} \\ x^4+x^3+x^2+x+1 \\ \underline{x^4+x^3+x^2+x+1} \\ R(x)=0 \end{array}$$

Очевидно, что при $n_0=5$ полином x^5+1 делится на $g_2(x)$ без остатка.

Следствие 2. Несмотря на то, что полином $g_2(x)=x^4+x^3+x^2+x+1$ является неприводимым, он не является примитивным и его нельзя использовать для построения недвоичных кодов. Покажем это с помощью *таблицы 2*.

Таблица 2

Элементы поля GF(2^4) по $g_2(x)=x^4+x^3+x^2+x+1$

№ п/п	x^i	$R(x)$	m-разрядный вектор
1	$x^{-\infty}$	0	0000
2	x^0	1	0001
3	x^1	x	0010
4	x^2	x^2	0100
5	x^3	x^3	1000
6	x^4	x^3+x^2+x+1	1111
7	x^5	1	0001

Анализ *таблицы 2* показывает:

– по полиному $g_2(x)=x^4+x^3+x^2+x+1$ можно получить только 6 элементов поля, а требуется $2^4=16$;

– полученные элементы поля не позволяют построить двоичные последовательности Рида-Маллера.

Предложение 1. Для синтеза структурной схемы генератора элементов поля GF(2^4) по примитивному полиному $g_1(x)=x^4+x+1$ необходимо выполнить операцию умножения произвольного элемента $a(x)=a_0+a_1x+a_2x^2+a_3x^3$ на примитивный элемент.

Запишем $a(x)x=(a_0+a_1x+a_2x^2+a_3x^3)$ $x=a_0x+a_1x^2+a_2x^3+a_3x^4$. Учитывая, что $x^4\equiv x+1$ (согласно *таблицы 1*), получим общее аналитическое выражение для синтеза структурной схемы генератора элементов поля GF(2^4) $a_0x+a_1x^2+a_2x^3+a_3(x+1)=a_0x+a_1x^2+a_2x^3+a_3x+a_3=a_3+(a_0$ Å$a_3)x+a_1x^2+a_2x^3$, где знак Å реализует операцию сложения по модулю 2 (исключающее ИЛИ).

Тогда структурная схема генератора недвоичных символов кода в поле GF(2^4) будет иметь вид (*рисунок 1*).

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

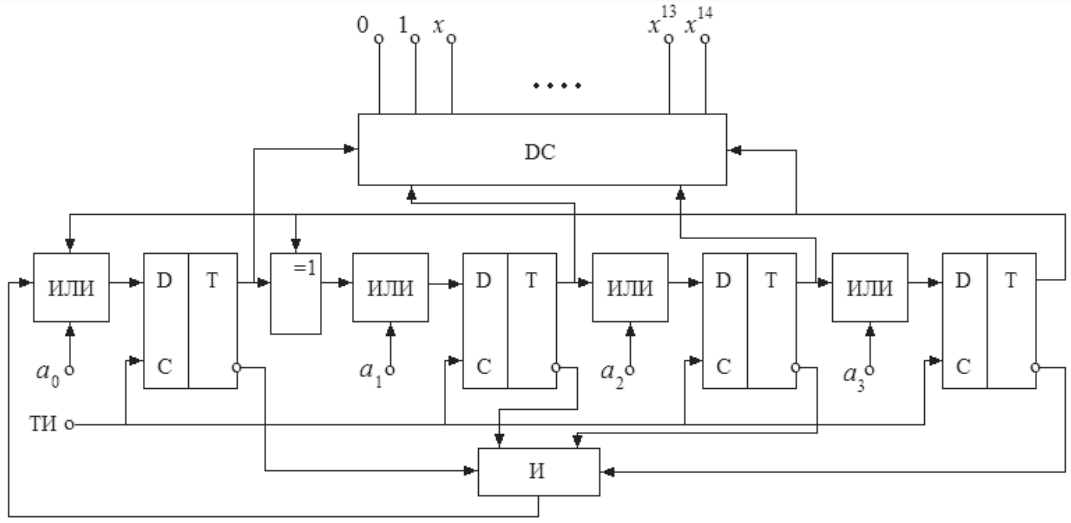


Рис. 1. Структурная схема генератора недвоичных символов кода в поле GF(2^4)

Исходное состояние $a(x)=\{a_0, a_1, a_2, a_3\}$, в том числе и нулевое, записывается в D-триггеры через схемы ИЛИ под действием первого тактового импульса. При поступлении второго и последующих тактовых импульсов осуществляется операция умножения исходного вектора $a(x)$ на примитивный элемент x. Двоичные символы с прямых выходов D-триггеров параллельным кодом поступают на вход дешифратора, на выходах которого формируются недвоичные символы $\{0; 1; x; x^2;\ldots; x^{13}; x^{14}\}$ поля GF(2^4). Наличие интегральной схемы И позволяет генератору выходить из нулевого состояния при наличии тактовых импульсов и одновременно формировать нулевой недвоичный символ.

Предложение 2. Генератор символов недвоичного кода в поле GF(2^4) можно использовать в качестве недвоичного кодирующего устройства, которое m двоичных информационных символов, записанных в D-триггеры, под действием тактовых импульсов преобразует в избыточную недвоичную кодовую комбинацию, длина которой $N_q>1$.

Кодовые комбинации недвоичного кода представлены в *таблице 3*. Анализ *таблицы 3* позволяет выявить ряд важных следствий.

Следствие 1. Полученные недвоичные кодовые комбинации являются циклическими на длине $n=2^m=16$ символов, а длина кодовой комбинации N_q определяется числом поданных тактовых импульсов, т.е. $N_q=var$.

Таблица 3

Кодовые комбинации недвоичного кода

Исходное состояние $a(x)$				Тактовые импульсы																		
a_0	a_1	a_2	a_3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0	0	0	0	0	1	x	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6	x^7	x^8	x^9	x^{10}	x^{11}	x^{12}	x^{13}	x^{14}	0	1	x
1	0	0	0	1	x	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6	x^7	x^8	x^9	x^{10}	x^{11}	x^{12}	x^{13}	x^{14}	0	1	x	x^2
0	1	0	0	x	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6	x^7	x^8	x^9	x^{10}	x^{11}	x^{12}	x^{13}	x^{14}	0	1	x	x^2	x^3
0	0	1	0	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6	x^7	x^8	x^9	x^{10}	x^{11}	x^{12}	x^{13}	x^{14}	0	1	x	x^2	x^3	x^4
0	0	0	1	x^3	x^4	x^5	x^6	x^7	x^8	x^9	x^{10}	x^{11}	x^{12}	x^{13}	x^{14}	0	1	x	x^2	x^3	x^4	x^5
1	1	0	0	x^4	x^5	x^6	x^7	x^8	x^9	x^{10}	x^{11}	x^{12}	x^{13}	x^{14}	0	1	x	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6
0	1	1	0	x^5	x^6	x^7	x^8	x^9	x^{10}	x^{11}	x^{12}	x^{13}	x^{14}	0	1	x	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6	x^7
0	0	1	1	x^6	x^7	x^8	x^9	x^{10}	x^{11}	x^{12}	x^{13}	x^{14}	0	1	x	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6	x^7	x^8
1	1	0	1	x^7	x^8	x^9	x^{10}	x^{11}	x^{12}	x^{13}	x^{14}	0	1	x	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6	x^7	x^8	x^9
1	0	1	0	x^8	x^9	x^{10}	x^{11}	x^{12}	x^{13}	x^{14}	0	1	x	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6	x^7	x^8	x^9	x^{10}
0	1	0	1	x^9	x^{10}	x^{11}	x^{12}	x^{13}	x^{14}	0	1	x	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6	x^7	x^8	x^9	x^{10}	x^{11}
1	1	1	0	x^{10}	x^{11}	x^{12}	x^{13}	x^{14}	0	1	x	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6	x^7	x^8	x^9	x^{10}	x^{11}	x^{12}
0	1	1	1	x^{11}	x^{12}	x^{13}	x^{14}	0	1	x	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6	x^7	x^8	x^9	x^{10}	x^{11}	x^{12}	x^{13}
1	1	1	1	x^{12}	x^{13}	x^{14}	0	1	x	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6	x^7	x^8	x^9	x^{10}	x^{11}	x^{12}	x^{13}	x^{14}
1	0	1	1	x^{13}	x^{14}	0	1	x	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6	x^7	x^8	x^9	x^{10}	x^{11}	x^{12}	x^{13}	x^{14}	0
1	0	0	1	x^{14}	0	1	x	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6	x^7	x^8	x^9	x^{10}	x^{11}	x^{12}	x^{13}	x^{14}	0	1

Следствие 2. Кодовое расстояние между любой парой недвоичных комбинаций равно длине кодовой комбинации, т.е. $D=N_q$, и построен новый эквидистантный недвоичный код, который позволяет передавать m двоичных информационных символов.

Следствия 1 и 2 позволяют сделать вывод о полном доказательстве теоремы 1.

Замечание 3. При $m \leq 12$ возможна реализация оптимального декодирования полученных недвоичных кодов Рида-Маллера, что значительно упрощает процесс декодирования и улучшает статистические характеристики декодирования по сравнению с известными алгоритмами декодирования недвоичных кодов Рида-Соломона [2].

Литература

1. Мак Вильямс, Ф. Дж., Слоэн, Н. Дж. А. Теория кодов, исправляющих ошибки. / Пер. с англ. под ред. Л.А. Бассалыго. М.: Связь, 1979. 744 с.

2. Скляр, Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр.: Пер. с англ. М.: Изд. дом «Вильямс», 2007. 1104 с.

УДК 004.051

МЕТОД ЭКОНОМИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ВНЕДРЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В АВИАЦИОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Алексей Иванович Тихонов
кандидат технических наук, доцент
директор ИНЖЭКИН МАИ
Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)
Адрес: 125993, Москва, Волоколамское ш., д. 4
Тел.: +7(499)158-67-83

Наталья Сергеевна Ефимова
кандидат экономических наук
доцент кафедры
Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)
Адрес: 125993, Москва, Волоколамское ш., д. 4
Тел.: +7(499)158-48-77

Валерий Михайлович Романов
кандидат экономических наук
докторант
Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)
Адрес: 125993, Москва, Волоколамское ш., д. 4
Тел.: +7(499)158-48-77

В статье разработан комплекс критериев, на основе которых определяется экономическая целесообразность внедрения информационных систем в авиационной промышленности.

In the article is developed the complex of the criteria, on basis of which is determined the economic expediency of introducing the information systems in the aircraft industry.

Ключевые слова: информационные системы, авиационная промышленность, автоматизация, экономическое обоснование.

Keywords: information systems, aircraft industry, automation, the economic rationale.

Сегодня решающим значением для достижения конкурентоспособности отечественной авиационной техники является внедрение прогрессивных информационных систем в авиационной промышленности.

При реализации проекта внедрения информационных систем на предприятиях авиационной промышленности одним из важных факторов является выбор корпоративной информационной системы (КИС), которая решала бы все задачи, связанные с автоматизацией. Каждое предприятие имеет свою специфику, связанную с производимой продукцией. Такая специфика оказывает влияние на выбор метода решения задачи автоматизации управления производством. Основными особенностями предприятий авиационной промышленности, влияющим на выбора КИС, являются: включение предприятий подотрасли в производственную кооперацию (взаимодействие с большим числом контрагентов); длительный жизненный цикл продукции; большое количество государственных регламентирующих документов; высокая наукоемкость и стоимость продукции; большой объем опытных работ и испытаний; высокие требования к надежности продукции; высокие производственные, коммерческие, эксплуатационные риски.

Методы решения задачи автоматизации в авиационной промышленности включают следующее: комплексный технико-экономический анализ базовых корпоративных информационных систем (КИС), разработка комплекса критериев выбора КИС.

На принятие решения о выборе КИС влияют следующие факторы: эксплуатационные качества базовой системы (функциональность, эргономичность, перспективность, надежность, безопасность); стоимость и сроки разработки, внедрения и эксплуатации системы (в том числе

стоимость и сроки доработки базовой системы до требуемой функциональности, стоимость интеграции, стоимость оборудования); риски разработки, внедрения и эксплуатации системы.

Практическая реализация проекта внедрения информационных систем для предприятий авиационно-промышленного комплекса состоит из следующих основных этапов.

На первом этапе осуществляется подготовка к выбору системы. Выполнение данного этапа может занимать 1-2 месяца и начинается с системного анализа и подготовки требований к базовой системе. Исходным документом для подготовки требований является стратегия развития предприятия и его сектора информационных технологий. Для этого надо проанализировать несколько концепций автоматизации при управлении производством в авиационной промышленности: покупка готового решения, адаптация информационной системы под специфику предприятия и решаемых задач, разработка собственной системы. При реализации проекта внедрения КИС необходимо учитывать, что разработка системы силами предприятия имеет следующие недостатки:

1. На разработку существующей на рынке КИС затрачены многие человеко-годы, причем не только на разработку и написание программного обеспечения, но и на его отладку. При собственной разработке для достижения такого же результата будет необходимо потратить сопоставимое количество времени.

2. Часто основные недостатки КИС выявляются уже в ходе эксплуатации. Исправление таких ошибок требует больших капиталовложений и трудозатрат. А также может быть необходимо приостановить работу системы на неопределенный срок, что повлечет за собой осложнение выполнения тех бизнес-процессов, которые непосредственно контролируются с помощью системы (например, взаимодействие с поставщиками и покупателями или бухгалтерия).

На основе анализа сроков и стоимости разработки информационной системы полностью силами предприятия можно сделать вывод о нецелесообразности такой разработки. Поэтому рассмотрим вариант внедрения уже разработанных и апробированных на ряде предприятий отрасли информационных систем.

Детализированные требования к системе включают в себя функциональные, технологические и коммерческие требования и формируются на основе анализа бизнес-процессов предприятия и обобщенном опыте разработки и внедрения систем. На основе детализированных требований разрабатываются критерии «отсечения» и осуществляется адаптация базового комплекса критериев. Критериями «отсечения» могут быть: основной функционал базовой системы; стоимость; сроки внедрения; масштаб применения системы (размер предприятия); количество одновременно работающих в системе пользователей; масштабируемость и производительность системы; платформа системы; требования к поставщику.

При внедрении КИС важную роль играют критерии, на основе которых оцениваются альтернативные варианты. Для выбора КИС на предприятиях авиационной промышленности необходимо использовать комплекс критериев, представленный на *рисунке 1*. Критерии отвечают следующим требованиям: измеримость критериев, полнота комплекса критериев, возможность разделить базовые системы на классы на основе критериев выбора, независимость критериев и групп критериев между собой, возможность сопоставить критерии целям предприятия. При формировании групп критериев принимались во внимание: возможность простановки экспертной оценки значимости группы критериев по отношению к общей цели выбора; возможность оценки разнородных групп критериев экспертами с различным уровнем компетенции; удобство и наглядность интерпретации результатов экспертизы, формирования интегральных оценок для поддержки принятия решения.

В предложенном комплексе критерии разделены на две основные группы в соответствии с целями выбора КИС: обеспечение лучших условий приобретения, разработки и внедрения системы и выбор системы с лучшими эксплуатационными качествами. Достижение целей, представленных на *рисунке 1*, и минимизация рисков внедрения системы оценивается с помощью групп критериев, представленных в *таблице 1*.

Приведенные в *таблице 1* риски не являются независимыми от эксплуатационных качеств системы, и их свертка с другими группами критериев в единую количественную интегральную оценку не представляется возможной. Риски учитываются непосредственно при окончательном внедрении системы. Например, меньшие значения оценок по группе критериев «Риски разработки» соответствуют лучшим характеристикам системы. А по группе критериев «Общая функциональность» лучшим характеристикам системы соответствуют большие значения оценок.

На втором этапе происходит отбор базовых систем для экспертизы. Выполнение данного этапа может занимать 1-2 месяца. Выполнение задач этого этапа может быть начато парал-

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

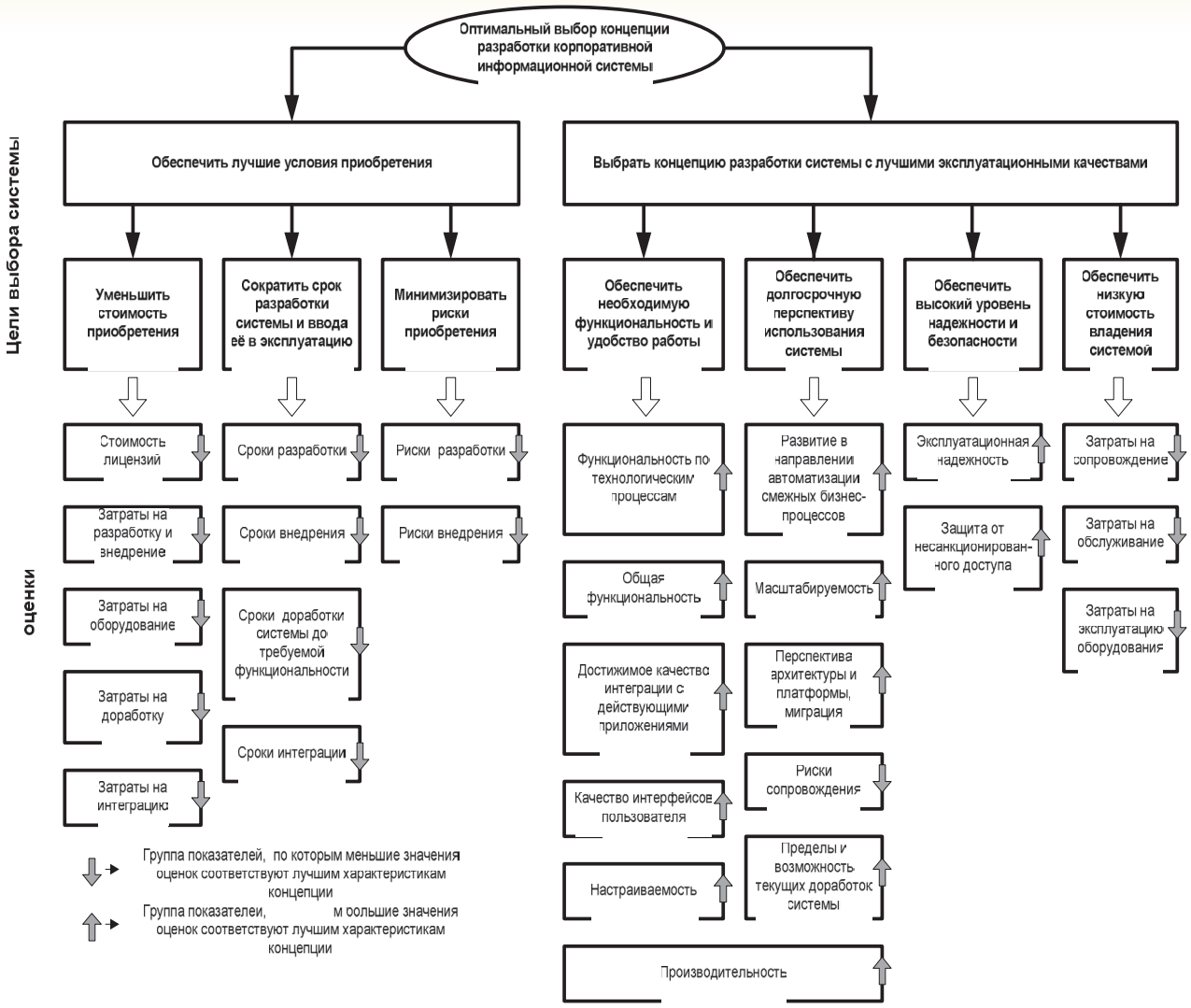


Рис. 1. Комплекс критериев выбора корпоративной информационной системы в авиационной промышленности

лельно с выполнением некоторых задач первого этапа. Второй этап начинается с формирования «длинного списка» базовых систем. При отборе систем необходимо иметь следующую информацию: техническую информацию о системах; информацию по технологиям их внедрения; информацию об опыте их внедрения и эксплуатации; информацию о поставщиках базовых систем. В «длинный список» отбираются системы, соответствующие всем критериям «отсечения», сформированным на первом этапе.

В *таблице 2* представлены информационные системы наиболее известных разработчиков, среди которых присутствуют базовые системы, содержащие различные модули управления производством, и локальные бухгалтерские и финансово-аналитические системы.

На третьем этапе осуществляется экспертиза базовых систем. Выполнение задач этого этапа может быть начато только после выполнения всех задач второго этапа, начинается с демонстрации экспертам систем и может занимать около 1 месяца. В качестве экспертов могут быть привлечены бизнес-эксперты (сотрудники предприятия), технические эксперты (специалисты по информационным технологиям), руководители предприятия, эксперт-аналитики (специалисты по информационным технологиям). На этапе разработки и внедрения системы оцениваются следующие риски:

1. Готовность поставщика базовой системы к ведению доработок: наличие у поставщика квалифицированных аналитиков и разработчиков, наличие сертифицированных партнеров в Рос-

Таблица 1

Группы критериев выбора корпоративной информационной системы

Группы критериев	Оцениваемые факторы и факторы риска
Минимизация рисков	
1. Риски разработки системы (риск увеличения стоимости и сроков разработки).	■ Недостаточный уровень настраиваемости базовой системы по требуемому функционалу. ■ Заниженная оценка разработчиком объемов и стоимости предстоящих работ по разработке.
2. Риски внедрения системы (риск увеличения стоимости и сроков внедрения).	■ Недостаточная функциональность базовой системы, следствием чего может стать необходимость доработки базовой системы поставщиком до и во время внедрения. ■ Недостаточный уровень настраиваемости базовой системы по требуемому функционалу. ■ Заниженная оценка разработчиком объемов и стоимости работ по внедрению и интеграции системы.
Обеспечение необходимой функциональности и удобства работы с системой	
1. Функциональность системы по технологическим процессам.	■ Качество реализации бизнес процессов в системе. ■ Степень соответствия функциональности системы по технологическим процессам требованиям предприятия.
2. Общая функциональность системы.	Необходимо иметь в виду при оценке модулей общую функциональность системы. Функциональность может быть «базовой», т.е. относиться ко всей системе или быть реализована в модуле системы. В любом случае оценки даются помодульно, по показателям применимости и настраиваемости этой функциональности в конкретном модуле.
3. Достижимое качество интеграции системы с существующими на предприятии приложениями.	■ Технологические возможности интеграции по составу данных в действующих системах предприятия. ■ Технические возможности интеграции с внешними источниками данных: экспорт-импорт, наличие прикладных программных интерфейсов. ■ Эффективность средств интеграции. ■ Обработка системой внешних событий.
4. Качество интерфейсов пользователя системы.	Эргономичность (удобство ввода данных, поиска и фильтрации, расположения информации в системе) оценивается по личному опыту работы с различным ПО, учитывая аспекты применения интерфейсов в соответствии с техпроцессом.
5. Настраиваемость системы.	■ Макроязыки, формульные вычисления, пользовательские запросы к базе данных. ■ Эффективность средств модификации бизнес-логики, способов построения собственных алгоритмов обработки данных. ■ Хранение определяемых пользователем данных. ■ Добавление атрибутов к объектам базы данных, создание объектов. ■ Средства настройки интерфейсов пользователя. ■ Настройка внешнего вида форм, фильтров и режимов поиска, добавление полей ввода и элементов управления, обработка событий ввода на добавленных элементах. ■ Некоторые варианты настройки базовой системы могут быть не продемонстрированы при показе систем. Однако если продемонстрирована возможность их настройки по аналогичной функциональности без использования инструментария разработки, то они должны быть оценены, как реализованные.
6. Производительность системы.	Осуществляется на основе данных поставщика базовой системы о нагрузочном тестировании.
Обеспечение долгосрочной перспективы использования системы	
1. Возможность развития системы в направлении автоматизации смежных бизнес процессов.	
2. Масштабируемость системы.	■ Платформенная масштабируемость. ■ Масштабируемость архитектуры базовой системы. ■ Масштабируемость на территориально распределенную структуру. ■ Эффективность средств удаленного доступа. ■ Возможность масштабирования разделением.

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

Таблица 1

Группы критериев выбора корпоративной информационной системы

(продолжение)

Группы критериев	Оцениваемые факторы и факторы риска
3. Перспектива архитектуры и платформы, возможность миграции системы.	
4. Риски сопровождения системы (риск снижения качества внутреннего сопровождения системы и пользователей, риск снижения качества сопровождения системы и пользователей поставщиком базовой системы).	■ Необходимость узкоспециальной квалификации специалистов по сопровождению. ■ Сложность настройки системы и прикладного администрирования. ■ Слабые возможности по программным доработкам. ■ Отсутствие ресурсов поставщика базовой системы для полноценного сопровождения. ■ Территориальная удаленность поставщика базовой системы. ■ Относительно малая значимость проекта для поставщика базовой системы.
5. Пределы и возможность текущих доработок.	Осуществляется на основе данных поставщика базовой системы о нагрузочном тестировании, с учетом возможности многократного увеличения количества хозяйственных операций предприятия.
6. Производительность системы.	Осуществляется на основе данных поставщика базовой системы о нагрузочном тестировании, с учетом возможности многократного увеличения количества хозяйственных операций предприятия.
Обеспечение высокого уровня надежности и безопасности системы	
1. Эксплуатационная надежность системы.	■ Способы обеспечения сохранности данных (архивирование, резервирование, журналы транзакций) и оперативность их восстановления. ■ Отказоустойчивость: например, время простоя в случае отказа дублируемых компонент должно составлять не более 5 минут в год (уровень стандартной надежности для кластерного решения - 99.999%), время полного восстановления после единичных сбоев в режим высокой готовности должно быть не более 2-х часов.
2. Защита системы от несанкционированного доступа.	■ Защита от несанкционированного доступа в локальной сети. Оценивается степень зашиты от несанкционированного доступа с учетом всех факторов: архитектуры, парольной защищенности, процедур администрирования пользователей, защиты трафика, прямого доступа к серверу базы данных. ■ Защита от несанкционированного доступа при работе через внешнюю сеть.

сии (для иностранных поставщиков), длительность партнерских отношений с поставщиком.

2. Опыт поставщика базовой системы по локализации: наличие у поставщика готовой локализованной версии и завершенных внедрений, сравнимых с требуемыми, и в сроки, сравнимые с планируемыми.

На этапе сопровождения системы оцениваются следующие риски: риски, влияющие на сроки текущих доработок и качество поддержки системы; риски, влияющие на возможность самостоятельной поддержки системы (наличие у поставщика службы сопровождения в режиме реального времени, возможность выезда на предприятие сотрудников поставщика с целью разрешения нештатных ситуаций). Также важно оценить риски, влияющие на увеличение стоимости проекта: оценка полноты отражения стоимости поставщиком системы.

Последним этапом выбора КИС является сравнительный анализ базовых систем. На основе экспертных оценок эксплуатационных качеств базовых систем, значений стоимости, сроков и оценки риска руководитель предприятия принимает решение о выборе системы. Оценивается значимость каждого из факторов, влияющего на принятие решения: (эксплуатационные качества, стоимость, сроки, риски). Рассчитываются следующие критерии эффективности системы, на основе которых принимается решение о ее выборе: Функциональность/Цена; Функциональность/Риск; 1/(Цена * Риск).

В статье разработан комплекс критериев, на основе которых целесообразнее осуществлять выбор КИС при реализации проектов внедрения информационных систем в авиационной промышленности.

Применение разработанного метода позволит выбрать корпоративную информационную систему, в наибольшей степени отвечающую специфике организации производства на предприятиях авиационно-промышленного комплекса, и снизить затраты в производстве.

Предлагаемый метод многофакторного выбо-

Таблица 2

Анализ рынка информационных систем

№	Наименование системы	Поставщик системы	Сегмент				Класс
			крупнейшие	крупные	средние	малые	
1	Axapta	Columbus IT Partner		☑			ERP
2	Галактика	Корпорация Галактика		☑	☑		ERP
3	Maconomy 8.0	Компания FTS Maconomy		☑	☑		ERP
4	Парус 8.5.1.1	НТЦ Мик-Информ, Парус		☑	☑		ERP
5	Syteline Budgeting	Фронтстеп		☑	☑		BPM
6	Microsoft Navision 3.60.03	Адиком системс, ЦентрИнвест			☑		ERP
7	Комтех	Бухгалтерия Комтех			☑	☑	КИС
8	КИС Флагман 5.6.0.1	Инфософт		☑	☑		КИС
9	Эталон	Цефей	☑	☑			КИС
10	«Аккорд» 5.1	Атлант-Информ			☑		КИС
11	Active Planner	Эпикрус		☑			Бюджет
12	Cognos Planning 7.1	Робертсон & Блумс	☑	☑			Бюджет
13	Hiperion Pillar	Ланит		☑	☑		Бюджет
14	Comshare	Корус Консалтинг		☑			Бюджет
15	ACCPAC Advantage Series	VDEL		☑	☑		Бюджет
16	IFS Applications Финансы	КФС		☑			Финансы
17	Инталев. Корпоративные финансы.3	1-ый архитектор бизнеса				☑	Бюджет
18	Система Реал 1.51	Бизнес Консоль			☑	☑	Бюджет
19	Тектон	ИнтелГрупп		☑	☑		Бюджет
20	System21	Системы-21 (GEAC)			☑		КИС
21	Апрель	Инистек			☑		КИС
22	Бухта	Бухта			☑		КИС
23	ИНЭК/бюджетирование	ИНЭК				☑	Бюджет
24	Алеф	Алеф Консалтинг & Софт			☑		Бюджет
25	Красный директор 4.0	БМикро				☑	Бюджет
26	КИС Millenium ERP 2.7.2	Бизнестехнология			☑		КИС
27	Top-Консультант	Центр межд. бизнеса				☑	Бюджет
28	Контур Корпорация. Бюджет	ИнтерсофтЛаб			☑	☑	Бюджет
29	КИС Бюджетирование	КИС			☑	☑	Бюджет
30	Scala	Scala		☑	☑		ERP
31	BAAN 5.0	Баан Евразия Альфа Инт.	☑	☑			ERP
32	J. D. Edwards	Робертсон & Блумс Раша	☑	☑			КИС
33	iRenaissance Financials	Интерфейс		☑	☑		ERP
34	MFG/PRO	Интерфейс		☑	☑		КИС
35	БОСС Корпорация	АйТи			☑	☑	Финансы
36	1С:Парус Бюджетное планирование1.0	1С:Парус				☑	Бюджет
37	Монополия	Meijin			☑		Финансы
38	ALFA	Информконтакт			☑		КИС
39	Бэст-про	Интеллект-сервис			☑		КИС

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

Таблица 2

Анализ рынка информационных систем
(продолжение)

№	Наименование системы	Поставщик системы	Сегмент				Класс
			крупнейшие	крупные	средние	малые	
40	ABACUS Financial	Омега		☑	☑		КИС
41	КАИССА	Борлас			☑		Финансы
42	МК Manufacturing	Мебиус		☑	☑		КИС
43	Гепард	Эйс			☑	☑	Финансы
44	М-3	КСТ-М3		☑	☑		КИС
45	Магнат	Магнат			☑		Бюджет
46	MAX	ICL			☑		КИС
47	RS-Balance 2.80	R-Style			☑		Финансы
48	KCorporate Planner	Corporate Planning			☑		Бюджет
49	Эверест	Аит			☑		-
50	Акант	Акант			☑		-
51	BS Integrator	Бизнес-сервис		☑	☑		КИС
52	mySAP	SAP	☑				ERP
53	Hansa Financials 4.0.	Ханса Бизнес Солюшнс СНГ		☑	☑		ERP
54	Гроссмейстер	Гроссмейстер			☑	☑	КИС
55	Oracle Applications (E-Business Suite)	Oracle	☑				Бюджет

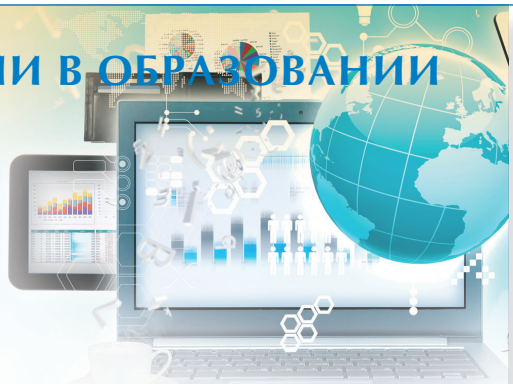
ра и внедрения информационных систем в авиационной промышленности позволяет экономически обосновать оптимальность выбора системы, выбрать систему за ограниченное время, которая в наибольшей степени отвечает требованиям предприятия. Практическое использование данного метода на предприятиях авиационной промышленности позволит снизить риски неэффективного внедрения системы, уменьшить затраты на выбор и внедрение системы, а также сократить время внедрения системы.

Литература

1. Калачанов В.Д., Рыжко А.Л., Клеев И.В., Рыбников А.И. Информационный менеджмент на предприятии авиастроения. Учебник. М.: Редакционно-издательский центр НИИСУ, 2011.

2. Калачанов В.Д., Кобко Л.И. Экономическая эффективность внедрения информационных технологий. М.: Изд-во МАИ, 2006.

3. Ефимова Н.С. Разработка методов выбора корпоративной информационной системы управления затратами при организации производства авиационной техники // Экономика, организация производства и информационный менеджмент в оборонной промышленности. Сб. науч. тр. Выпуск №1. М.: МАИ, 2009.



УДК 621.039

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЩЕСТВО: ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ КОНСТРУКТ

Людмила Николаевна Соловьёва
кандидат философских наук
доцент кафедры философии
Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)
Адрес: 125993, Москва, Волоколамское ш., 4
Тел.: +7(8652)35-25-38

Галина Дмитриевна Гриценко
доктор философских наук, профессор
главный научный сотрудник
Институт социально-экономических и
гуманитарных исследований
Южного научного центра РАН
Адрес: 355009, г. Ставрополь, ул. Пушкина, д. 1
Тел.: +7(8652)35-91-85

Статья посвящена философскому осмыслению природы современного информационного общества. В представленной работе информационное общество анализируется сквозь призму трех основных теоретико-методологических подходов: постиндустриализма, информационализма и постмодернизма.

Article is devoted to philosophical judgment of the nature of modern information society. In the presented work information society is analyzed through a prism of three main teoretiko-methodological approaches: post-industrialism, informatsionalizm and postmodernism.

Ключевые слова: информационное общество, информационализм, постиндустриализм, постмодернизм, массмедиа, инфокоммуникативные технологии.

Keywords: information society, informatsionalizm, post-industrialism, postmodernism, mass media, infokommunikativny technologies.

Социокультурные изменения последних десятилетий во многом детерминированы возрастанием потоков информации и широким внедрением инфокоммуникативных технологий в практику повседневной жизни. Интенсивное развитие средств массовой коммуникации, широкое распространение вычислительной техники, построение глобальных информационных сетей и другие технические инновации определили переход современного общества в качественно иную стадию социального развития – информационную. Стремительно развивается процесс формирования глобального информационного пространства, многие черты которого все более отчетливо проявляются, а такие понятия, как «информация», «информатизация», «информационное общество» прочно вошли в научный обиход.

В настоящее время научной общественностью широко обсуждаются проблемы информационного общества и перспективы его развития, выдвигаются новые идеи и концепции. Актуальность данной проблемы привлекает все большее внимание и ученых, поскольку информационная индустрия продолжает стремительно развиваться, охватывая все новые и новые направления. Вместе с тем природа нового типа общества во многом остается неопределенной, что обусловливает важность философского осмысления данной проблемы.

Последние десятилетия идея рождения нового типа социальности обсуждается непрерывно, предложено множество его интерпретаций. Коннотации, возникающие по поводу информационного общества: высокий уровень развития компьютерной техники и программного обеспечения, микроминиатюризация всех электронных элементов, дигитализация коммуникации и информации, наличие мощной информационной инфраструктуры, социальные сети, виртуализация культуры и т.д., породили многочисленные концепты, фиксирующие смысл произошедших перемен: «постиндустриальное общество», «информационное сообщество», «постмодерное общество», «сетевое общество», «технотронное общество», «общество знаний», «общество риска» и даже «общество после конца истории».

При всем разнообразии подходов, разнообразии акцентов, степени внимания, уделяемого тем или иным технологическим, экономическом или социальным процессам, единого взгляда на данный феномен не существует. Вместе с тем, неотъемлемой, существенной чертой информационного общества, которая фиксируется в большинстве определений, является увели-

чение возможностей доступа к информации все более широкого круга людей. Более того, почти все концепции информационного общества исходят из того, что информация и знания становятся в информационную эпоху стратегическим ресурсом, сопоставимым по значению с традиционными видами ресурсов: природными, трудовыми, финансовыми и другими. [1]

На фоне существующего многообразия трактовок нового типа социальности наиболее адекватными современности являются те определения, в которых акценты поставлены на постиндустриализм, информационизм и постмодернизм.

В рамках *постиндустриализма* новый тип социального устройства, в отличие от предшествующего индустриального, интерпретируется на основе информации, информационных технологий, сферы услуг. Ведущими признаками нового типа общества являются ускорение технического прогресса, уменьшение доли материального производства в совокупном общественном продукте, преобладание сектора услуг; повышение качества жизни [2].

Основоположником постиндустриализма является Д. Белл, которой назвал новое общество постиндустриальным и охарактеризовал его как общество, в котором на первый план выходит социальное взаимодействие, для которого информация становится важнейшим ресурсом, поскольку сфера услуг, а значит, и информационная работа, на постиндустриальном этапе развития являются определяющими [3]. В более поздней работе «Социальные рамки информационного общества» Д. Белл активно использует термин «информационное общество» как новое название для постиндустриального общества, подчеркивающее не его положение в последовательности ступеней общественного развития – после индустриального общества, а основу его социальной структуры – информацию.

Эвристичность предложенной Д. Беллом социальной модели, несмотря на оттенки технологического детерминизма, оказалась столь высока, что привела к появлению множества уточняющих и вариативных концепций, расширяющих поле данного исследовательского дискурса, в том числе и *информационализма*.

Формированию новой информационно-технологической парадигмы способствовали выдающиеся изобретения XX века: изобретение транзистора, интегральной схемы, микропроцессора, современного компьютера, глобальной сети Интернет, а в дальнейшем слияние глобальных средств массовой информации и компьютерных коммуникаций в мультимедиа, охватывающих все сферы общественной жизни.

Первые теоретические обобщения, сформулированные в рамках информационализма, принадлежит японским ученым. Собственно термин «информационное общество» в научный оборот был введен профессором Токийского технологического института Ю. Хаяши, а контуры информационного общества обозначены в докладах Агентства экономического планирования, Института разработки и использования компьютеров, Совета по структуре промышленности японскому правительству [1]. Директор Японского института информационного общества Й. Масуда связал переход к информационному обществу с процессами компьютеризации и автоматизации и отметил, что благодаря информатизации всех видов деятельности и возникновению нового интеллектуального человека современный социум превратится в полицентрическое глобальное общество, основанное на коллективизме и соревновании [4].

Специфичность японского информационализма в его утилитарном, прикладном характере, поскольку, прежде всего, он был ориентирован на решение задач экономического развития Японии.

Важное методологическое значение в формировании информационализма имеют теоретические обобщения американского социолога М. Кастельса, который, не отрицая значимость теоретических обобщений и выводов Д. Белла, существенно дополнил и расширил ряд теоретических положений постиндустриализма. Современное общество М. Кастельс называл информационным, или сетевым, а главный источник производительности – «качественная способность оптимизировать сочетание и использование факторов производства на основе знания и информации» [5].

В 1970-е гг. информационализм в США и Западной Европе постепенно приобретает статус универсалистской идеологии. Американским философом Дж. Нейсбитом в работе «Мегатренды» среди наиболее важных характеристик перехода к информационному обществу выделена определяющая роль инноваций в области связи и вычислительной техники, ускоряющих темп изменения благодаря сведению к нулю времени передачи информации (information float) [6].

Э. Тоффлер, рассуждая в духе информационализма, в фундаментальном труде «Третья волна», представил историю как непрерывное волновое движение. Им сформулированы ключевые черты грядущего супериндустриального общества, такие как: повсеместное внедрение электроники и ЭВМ, высокий уровень инновативности, преобладание высокотехнологичных отрас-

лей и наукоемких производств в структуре экономики, развитие биоиндустрии, демассификация и дестандартизация всех сторон общественной жизни [7]. Третья волна информации, захлестнувшая человечество, согласно Э. Тоффлеру, в корне меняет и восприятие внутреннего мира человека и его поведение, детерминируя трансформацию существующих систем ценностей, отказ от привычных матриц поведения, и порождая новый тип культуры – информационную. В данных условиях неизбежно формирование личности нового типа – информационно-адаптированной, отличающейся естественным включением в информационные процессы, способностью к адекватному восприятию полученной информации и настроенностью на эффективное ее использование в своей деятельности [7].

В свете последних социокультурных преобразований, обусловленных превращением знания и информации в главный фактор общественного развития, особую популярность приобрел *постмодернизм*, претендующий на статус универсальной социальной доктрины. В рамках постмодернизма, характеризующегося принципиальным отказом от традиционных проблемных полей, классических и семантических и аксиологических приоритетов, формируется представление о современном типе социальной реальности как обществе потребления, конформизма, компромисса и массмедиа, основные характеристики которого аморфны, размыты и неопределенны.

Одним из следствий вступления человечества в информационную эпоху развития является формирование единого коммуникативного пространства, определяющую роль в котором играют активно развивающиеся массмедиа, обеспечивающие мгновенную связь участников коммуникативного процесса, нивелирующие пространство и время, стирающие географические и государственные границы и конструирующие принципиально иную картину мира, не всегда совпадающую с реальностью. Еще в 60-е гг. XX века канадский культуролог и социолог М. Маклюэн предположил, что смена эпох в истории человечества определяется сменой средств коммуникации, таких как язык, печать, телевидение и т.д. Причем, если традиционные формы коммуникации – оро-акустическая, визуальная, письменная – «локализовывали» пространство и время, усиливая отчуждение, ликвидируя сопричастность отдельных индивидов к социальным процессам, то сегодняшние электронные системы, поставляя информацию о среде, гармонизируют человеческие отношения, превращая всю планету в «глобальную деревню», в которой все, что происходит, сразу же – благодаря практически мгновенному распространению электрического или радиосигнала – становится известным всем жителям, а каждое новое событие сопрягается с другими [8]. Таким образом, современный человек попадает в ситуацию плюрализма миров и культур.

Проблема влияния массмедиа на человеческое сознание и бессознательное позволяет выявить новые методологические аспекты формирования информационного общества. Так, Н. Луман в книге «Реальность массмедиа» рассуждает о проблеме конструирования реальности современными массмедиа. По мнению социолога, реальность имеет двойственную природу – в виде фактически протекающей, то есть наблюдаемой операции и в виде порождаемой тем самым реальности общества и его мира – поэтому может конструироваться по правилам массмедиа: она должна содействовать созданию желаемых конструкций и исключать независимую информацию [9].

Дж. Ваттимо называет современное общество обществом всеобщей коммуникации, где определяющая роль принадлежит средствам массовой информации и коммуникации, трансформирующим современность в постсовременность. Современный мир массмедиа глобальный, полицентрический, что обусловливает плюрализм и релятивизм, следовательно, ни один из центров не может претендовать на лидерство. Массмедиа делают историю не единой и универсальной, а симультанной, то есть одновременной, ибо они позволяют расположить все события в плоскости одновременного существования, составить из них некую синхронную мозаику, где нет последовательного хода или потока событий, направления, стадий, этапов, эпох [10].

Теоретики постмодернизма одними из первых указали на угрозы, которые возможны на информационной стадии развития, и детально осмыслили парадоксы пребывания человека в информационных сетях и работы с компьютером: феномен компьютерного отчуждения, феномен виртуальной реальности, симулирующей действительность и превращающей человека в объект манипулирования. Так, французский философ Ж. Лиотар, размышляя над современным состоянием человечества, сравнивает нынешнее общество с сетью, в которой отсутствует единый контролирующий центр, идеологическое, политическое или этическое укоренение, где не существует отношений «лицом к лицу» – с другими людьми или объектами, все опосредовано. Мыслитель констатирует, что окружающее информационное пространство становится все более на-

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

сыщенным и плотным, человек все чаще включается во множество информационных потоков, противостоять которым он не может, а процесс атомизации и фрагментации социального ослабляет все формы совместного бытия, выключая человека из социального поля, делая его одиноким [11].

Таким образом, в постнеклассической метафизике произошла постепенная замена вещей языком, а в конечном итоге, языка – информационным процессом. Современные массмедиа, транслирующие атмосферу разнообразия и, по утверждению Ж. Бодрийяра, представляют собой мир симулякра. Симулякр заключает новую реальность – не подлинную, но и не виртуальную, замещая реальное знаком реального. Если виртуальная реальность позиционируется как параллель материальной реальности, то реальность симулякра сравнить не с чем, поскольку ее не существует. Симулякр не создает новый мир, а трансформирует уже существующий – в мир, в котором все можно вообразить и любое воображаемое реализовать. Замена реального «знаками реального» является, по мнению философа, свидетельством эволюции современной культуры, отказывающейся от парадигмы «отражения реальности» и принимающей ее симуляцию [12].

Если во времена модерна средства массовой информации и коммуникации выступали источником информации о подлинной реальности средством социальной интеграции, то в эпоху постмодерна массмедиа являются агентом симуляции, обусловливая симуляцию телесности, пространства, времени, реальности и, соответственно, симуляцию коммуникации, информации и смысла. Таким образом, формируется неклассическое представление о мире как калейдоскопе, как множестве несвязанных друг с другом фрагментов, заключающих огромный потенциал для порождения иных культурных идентичностей и моделей субъективности.

На основе проведенного анализа можно заключить, что на фоне существующего многообразия концепций и подходов, по-разному интерпретирующих новый тип социальности, к началу XXI века свое методологическое оформление получили три основных подхода, – постиндустриализм, информационализм, постмодернизм, существующие в настоящее время как самостоятельные теоретические конструкты. Благодаря философскому подходу, интегрирующему существующее научное знание, возможен комплексный взгляд на природу современного общества: его можно охарактеризовать одновременно и как постиндустриальное, если выделять экономический аспект, и как информационное, если принимать за основу технологическую составляющую, и как постмодерное, если руководствоваться культурными константами. На наш взгляд, концепт «информационное общество» среди множества концептуальных новинок выделяется, прежде всего, позитивным содержанием, так как заключает в себе потенциал, ориентированный на научный, технический и социальный прогресс.

Литература

1. Алексеева И.Ю. Что такое общество знаний? М.: Изд-во «Когито-Центр», 2009. 96 с.

2. Костина А.В. Национальная культура – этническая культура – массовая культура: «Баланс интересов» в современном обществе. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 216 с.

3. Белл Д. Грядущее постиндустриальное общество. Опыт социального прогнозирования. М.: Наука, 1999.

4. Masuda Y. The Information Society as Postindustrial Society. Wash.: World Future Soc., 1983.

5. Кастельс М. Становление общества сетевых структур // Новая постиндустриальная волна на Западе: Антология. М., 1999.

6. Нейсбит Дж. Мегатренды / Пер. с англ. М.Б. Левина. М.: АСТ: ЗАО НПП «Ермак», 2003. 380 с.

7. Тоффлер Э. Третья волна. М.: АСТ, 2010. 795 с.

8. Маклюэн М. Галактика Гутенберга: Становление человека печатающего / Пер. И.О. Тюриной. М.: Академический Проект: Фонд «Мир», 2005. 496 с.

9. Луман Н. Реальность массмедиа / Пер. с нем. А.Ю. Антоновского. М.: «Канон+» РООИ «Реабилитация», 2012. 240 с.

10. Силичев Д.А. Философия постмодернизма // Философия. М.: Норма, 2008. С. 298-341.

11. Лиотар Ж.Ф. Ответ на вопрос: что такое постмодерн? // Ad marginem, 1993.

12. Бодрийяр Ж. Символический обмен и смерть. М., 2000. 78 с.

УДК 621.396

МЕТОД АКТИВИЗАЦИИ РАДИОТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ МОНИТОРИНГА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

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

В статье приводятся основные положения по активизации процесса радиотехнического контроля на основе: параметрического контроля за функционированием радиоэлектронных средств (РЭС); идентификации характеристик параметрического соответствия РЭС заданным требованиям; управления состоянием РЭС.

In article substantive provisions on activization of process of the radio engineering control over a basis are resulted: the parametrical control over functioning of radio-electronic means (REM); identification of characteristics of parametrical conformity REM to the set requirements; managements of condition REM.

Ключевые слова: активизация, идентификация, контроль, параметр, радиоэлектронное средство, управление.

Keywords: activization, identification, the control, parameter, radio-electronic means, management.

В общей постановке под активностью понимается усиление деятельности в определенной области. В военной науке, в частности, активность обороны характеризует непрерывным воздействием обороняющихся войск на противника [1].

В современных условиях, при выявлении и локализации нелицензионных радиопередатчиков, выполнении мероприятий по оперативно-розыскной деятельности или при проведении контртеррористических операций возникает проблема активизации радиотехнического контроля (РТК) за функционированием радиоэлектронных средств (РЭС) различного функционального назначения. В основу активного РТК может быть положена концепция мониторинга как процесса непрерывного слежения за состоянием окружающей среды и управления этим состоянием [2, 4]. С этой точки зрения активный РТК – это процесс, в результате которого осуществляется сбор, обработка и анализ данных о параметрах сигналов и режимах функционирования РЭС, определяется качественный состав РЭС и характер связей между ними в системе, а также осуществляется оценка уровня параметрического соответствия РЭС заданным требованиям с целью принятия решения по изменению состояния РЭС.

Таким образом, в процессе активного РТК должны решаться следующие задачи:

- параметрический контроль за функционированием РЭС в радиосистеме (РС);
- идентификация характеристик параметрического соответствия РЭС заданным требованиям;
- управление состоянием РЭС с целью достижения заданного уровня параметрического соответствия.

В результате контроля параметров излучений РЭС определяется множество $L_{РЭС}$ в системе

$$L_{РЭС} = \{l_1, l_2, \ldots, l_n\} \quad (1)$$

Каждое РЭС представляется множеством $Z_{РЭС}$ информационных параметров

$$Z_{РЭС} = \{z_1, z_2, \ldots, z_m\} \quad (2)$$

В качестве информационных параметров могут выбираться координаты РЭС, параметры излучаемых сигналов, режимы работы РЭС. Вектор параметров $Z_{РЭС}$ должен описывать каждое РЭС таким образом, чтобы их можно было раз-

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

личать между собой. Другими словами, если $l_i \equiv l_j$, *то необходимо, чтобы* $Z(l_i) \equiv Z(l_j)$. Таким образом, каждое РЭС радиосистемы необходимо отождествлять с соответствующим вектором информационных параметров. Среди компонент вектора $Z(l_i)$ могут быть выделены две, играющие существенную роль в комбинаторных отношениях. Первая из них – индекс класса РЭС – $\alpha(sl_i)$. *Он должен представлять фундаментальную характеристику РЭС, в силу чего необходимо выполнить условие*

$$\alpha(sl_i) = \alpha(l_i),\ \forall_s \in S,\ \forall_{li} \in L, \qquad (3)$$

где $s \in S$ – показатель сходства РЭС.

Второй компонентой вектора $Z(l_i)$ будет показатель связи β. С учетом специфики построения РС каждое РЭС будет характеризоваться входными $\beta_{вх}$ *и выходными* $\beta_{вых}$ *связями.*

В процессе параметрического контроля за функционированием РЭС необходимо провести измерение значений информационных параметров: амплитуды сигнала, несущей частоты сигнала, девиации частоты, начальной фазы колебаний и фазового сдвига сигнала, задержки и ее дискретного искажения.

С целью идентификации характеристик контролируемых РЭС необходимо осуществить статистическую обработку полученных значений информационных параметров сигналов. Полученные характеристики контролируемого $РЭС_к$ сравниваются с характеристиками эталонной модели $РЭС_э$ и на основе этого сравнения производится оценка вероятности параметрического соответствия $P_{пс}(z_{РЭС}, t)$ контролируемого $РЭС_к$. При решении задачи сравнивания математических описаний контролируемого радиоэлектронного средства $M_{РЭСк}$ и эталонной модели $M_{РЭСэ}$, важное значение имеет выбор меры сходства указанных математических описаний и оценка на этой основе вероятности параметрического соответствия $РЭС_к$ заданным требованиям. В тех случаях, когда статистические характеристики сравниваемых математических описаний присутствуют в явном виде, наиболее полезной мерой сходства между математическими описаниями РЭС является функция расстояния e_u. При этом решающее правило алгоритма идентификации будет иметь вид

$$M_{РЭСк} \in M_{РЭСэ}, \text{ если } e_u[M_{РЭСк}, M_{РЭСэ}] \le мин. \qquad (4)$$

В многомерном случае, когда математические описания $M_{РЭСк}$ и $M_{РЭСэ}$ представлены множеством информационных параметров $Z_{РЭС}$, в качестве меры сходства целесообразно использовать расстояние Махаланобиса

$$e_u = (\mu_к - \mu_э)^T C_k^{-1} (\mu_к - \mu_э). \qquad (5)$$

где $\mu_к$ и $\mu_э$ – средние значения информационных параметров $РЭС_к$ и эталонной модели $РЭС_э$;
T - знак транспортирования матрицы;
$C_к^{-1}$ – обратная ковариационная матрица информационных параметров.

Очевидно, что уровень параметрического соответствия будет тем выше, чем меньше различие между математическими описаниями контролируемого $РЭС_к$ и его эталонной $РЭС_э$. Математические описания $M_{РЭСк}$ и $M_{РЭСэ}$ в общем случае могут быть представлены многомерными плотностями нормального распределения. Каждая плотность распределения полностью определяется вектором средних значений m и ковариационной матрицей $C_к$. Описания $M_{РЭСк}$ и $M_{РЭСэ}$ имеют тенденцию к образованию одного кластера, центр которого определяется вектором средних значений, а форма – ковариационной матрицей. Функция расстояния e_u для множества независимых параметров $z_1, z_2, \ldots z_m$ может быть определена на основе соотношения

$$e_u = d_{кэ}^2 = \frac{(\mu_{к_1} - \mu_{э_1})^2}{\sigma_1^2} + \frac{(\mu_{к_2} - \mu_{э_2})^2}{\sigma_2^2} + \ldots + \frac{(\mu_{к_m} - \mu_{э_m})^2}{\sigma_m^2}, \qquad (6)$$

где $d_{кэ} = \dfrac{\mu_к - \mu_э}{\sigma}$ – для одномерного случая

расстояние между гипотезами о наличии информации либо о контролируемом РЭС, либо о эталонной модели;
s – среднеквадратическое отклонение.

При наличии зависимостей между параметрами функция расстояние e_u определяется с помощью соотношения (5).

В соответствии с алгоритмом, представленном в [3], вероятность параметрического соответствия $P_{пс}(z_{РЭС}, t)$ может быть представлена выражением

$$P_{пс}(z_{РЭС}, t) = F[F - 1(1 - P_{ли}) - e_u], \qquad (7)$$

где F – функция Лапласа;
F^{-1} – обратное преобразование Лапласа;
$P_{ли}$ – вероятность ложной идентификации.

Управление состоянием РЭС с целью достижения заданного уровня параметрического соответствия обусловлено изменением значений информационных параметров в процессе функционирования РЭС под действием как внутренних факторов (собственные шумы генераторов и усилителей, флуктуации параметров элементов схем, нестабильность источников питания и т.д.), так и внешних факторов (помехи различного происхождения). Принцип управления уровнем параметрического соответствия заклю-

чается в корректировке основных информационных параметров сигналов РЭС с целью сближения математических списаний контролируемого $РЭС_к$ с его эталонной моделью $РЭС_э$. В отдельных случаях, в зависимости от оперативной обстановки в районе функционирования радиосистемы, может быть осуществлено управление имитирующим; РЭС и устройствами создания прицельных помех.

Литература

1. Словарь военных терминов / А.М. Плехов. М.: Воениздат, 1988. 335 с.

2. Першиков В.И. Толковый словарь по информатике. / В.И. Першиков, В.М. Савинков. М.: Финансы и статистика, 1991. 543 с.

3. Злобин В.И. Принципы построения алгоритмов идентификации адаптивных систем радиосвязи / В.И. Злобин, В.М. Ванюшин // Электросвязь. 2000. С. 32-34.

4. Злобин В.И. Интеллектуальные адаптивные системы и комплексы в связи и управлении /В.И. Злобин, А.М. Вальваков, Н.Н. Сащенко. Серпухов, ИИФ, 2006. 276 с.

УДК 621.3.093

ОСОБЕННОСТИ ВОЛНОВОГО РЕЖИМА ЭКРАНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ОБОЛОЧКОЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ В ВЫСОКОЧАСТОТНОМ ДИАПАЗОНЕ ПРИ МОЩНЫХ МИКРОВОЛНОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Валентин Иванович Бутин
доктор технических наук,
старший научный сотрудник
начальник НИО-39
ФГУП ВНИИА им. Л.Н. Духова.
Адрес: 127055, Москва, ул. Сущевская, д. 22
Тел.: +7(495) 978-90-85
E-mail: butinvi@yandex.ru

Павел Ярославович Кундышев
аспирант
инженер НИО
ФГУП ВНИИА им. Л.Н. Духова
Адрес: 127055, Москва, ул. Сущевская, д. 22
Тел.: +7(499) 972-57-64
E-mail: enniofilm@mail.ru

В статье рассматривается проблема потенциального воздействия электромагнитного оружия, использующего технологии мощных микроволн, на радиоэлектронную аппаратуру, которая оборудована защитным экраном, в волновом режиме экранирования электромагнитных полей. Рассматриваются особенности волнового режима прохождения электромагнитного поля, которое может быть потенциально создано данным оружием, через экранирующие оболочки радиоэлектронной аппаратуры.

In this article the problem of potential electromagnetic weapon's exposure to shielded radio electronics made by high power microwave technology in wave regime is under consideration. The peculiarities of wave regime penetration through radio electronics' shell that can potentially be produced by this weapon are considered.

Ключевые слова: электромагнитное оружие, мощные микроволны, электромагнитное экранирование, волновой режим, резонансная частота.

Keywords: electromagnetic weapons, powerful microwaves, electromagnetic shielding, wave mode, the resonant frequency.

Введение

В настоящее время актуальной задачей является выбор и обоснование технических решений, направленных на обеспечение электромагнитной защищенности радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), разработанной с применением высокоинтегрированной элементной базы.

В силу того, что защищенность РЭА от внешних электромагнитных воздействий обеспечивается, в основном, электромагнитными экранами, целесообразно проведение исследований экранирующих свойств реальных конструкций РЭА с учетом их геометрии и физических свойств материалов.

Микроэлектронные изделия к настоящему времени все активнее интегрируются в РЭА. Развитие микроэлектронной базы, ее усложнение приводит к увеличению степени интеграции соответствующих элементов и к уменьшению их габаритных размеров. Соответственно, изменяются характеристики изделий: снижаются значения рабочих токов и напряжений, увеличиваются рабочие частоты. Эти обстоятельства создают условия, при которых возрастает вероятность уязвимости микроэлектроники при воздействии внешних преднамеренных источников электромагнитных полей. К настоящему моменту наиболее активно развивающимися технологиями преднамеренного электромагнитного воздействия на РЭА, включающую микроэлектронику, являются средства, сочетающие генерацию мощных электромагнитных полей в области частот, сопоставимых с рабочими частотами функционирования микроэлектроники. Эти средства относятся к так называемому электромагнитному оружию, которое использует технологии мощных микроволновых (ММВ) или High Power Microwave воздействий [1].

Типовая РЭА традиционно оборудована внешними замкнутыми металлическими корпусами, играющими роль электромагнитных экранов [2]. К настоящему времени в связи с интеграцией компонентов, включающих микроэлектронику в состав РЭА, возникает необходимость исследования и подтверждения электромагнитной защищенности аппаратуры, разработанной с применением высокоинтегрированной элементной базы, к внешним преднамеренным высокочастотным электромагнитным воздействиям.

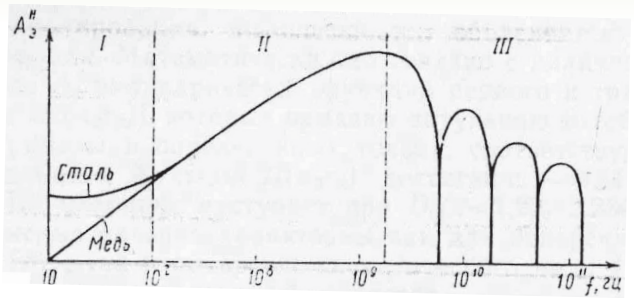
Рассмотрим некоторые основные особенности прохождения электромагнитного поля, которое потенциально может быть создано электромагнитным оружием, через экранирующие оболочки РЭА в волновом режиме экранирования.

Особенности волнового режима прохождения электромагнитного поля через экранирующие оболочки РЭА

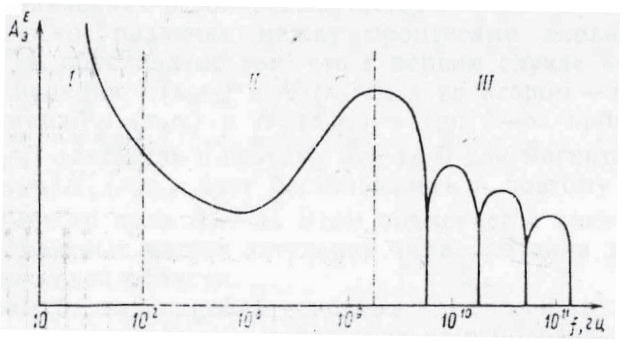
Для достижения максимального эффекта при воздействии электромагнитного оружия, использующего технологии ММВ, на РЭА, которая обладает защитным корпусом-оболочкой, необходимо, чтобы оружие было настроено в диапазоне воздействий на резонансных частотах [3]. Данный режим имеет место при воздействующих частотах электромагнитного поля, соответствующие длины волн для которых становятся соизмеримыми с геометрическими размерами экрана, такими как длина окружности в сечении внешней оболочки цилиндрического и сферического экрана, либо периметра в сечении прямоугольной оболочки. В силу того, что большинство реальных электромагнитных экранов имеют метровые и меньшие размеры внешней оболочки, резонансные частоты могут начинаться с сотен МГц – единиц ГГц и выше.

В связи с отсутствием к настоящему времени четкой и изученной картины физической сути возникновения резонансных явлений, приведем возможные причины возникновения данных явлений, исходя из уже опубликованных работ. Обратимся к терминологии режимов электромагнитного экранирования, изложенных в работах [4, 5]. В данных работах, в основном, выделяются три основных режима экранирования замкнутых оболочек в зависимости от частотного диапазона (*рисунок 1*): первый – электростатический и магнитостатический режим, второй – квазистационарный, третий – волновой.

В отличие от электростатического и магнитостатического режимов работы электромагнитного экрана-оболочки (от 0 до 10^3-10^4 Гц), которые могут быть выражены уравнениями Максвелла в виде rotH = σE, rotE = 0, в диапазоне частот от



а)



б)

Рис. 1. Основные режимы экранирования замкнутых оболочек для характеристик экранирования затухания магнитных $A_Э^H = 20\ln(H_{пад.}/H_{прош.})$ (а) и электрических полей $A_Э^E = 20\ln(E_{пад.}/E_{прош.})$ (б) в зависимости от частотного диапазона [4]

10^3-10^4 до 10^8-10^9 Гц включается электромагнитный режим работы экрана, обусловленный действием вихревых токов в толще экрана, который может быть описан уравнениями Максвелла в квазистационарном режиме (без учета токов смещения), как: rotH = σE, rotE = –jωμH. Однако, начиная с частот 10^8-10^9 Гц, когда длина волны электромагнитного излучения становится соизмерима с поперечными размерами экрана, появляются волновые процессы и электромагнитный режим работы переходит в волновой режим. В этом случае описание электромагнитных процессов при прохождении поля через экран необходимо проводить по полным уравнениям электродинамики с учетом токов смещения $\partial D/\partial t = j\omega\varepsilon E$: rotH = σE+jωεE, rotE = –jωμH. Особенность режима экранирования в данной частотной области заключается в волновом характере проникновения электромагнитного поля через экран и существованием частотной зависимости. Причем будут иметь место области локального спада и возрастания экранирующей способности оболочки. Физически это объясняется волновой природой поля СВЧ.

Кроме того, дополнительным физическим обоснованием причины образования резонансных явлений при волновом режиме может слу-

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

жить образование стоячих электромагнитных волн в оболочке при сопоставимости геометрического размера оболочки с длиной падающей волны λ (*рисунок 2*). При этом в пучностях стоячей волны в оболочке будут наблюдаться резко повышенные значения протекающих токов, а в узлах – минимальные значения, как это продемонстрировано экспериментально в работе [6]. Отсюда, образовавшиеся электромагнитное поле внутри оболочки также будет неравномерно распределено в его сечении, и во внутренней экранируемой области будут присутствовать как области локального возрастания, так и снижения напряженностей полей.

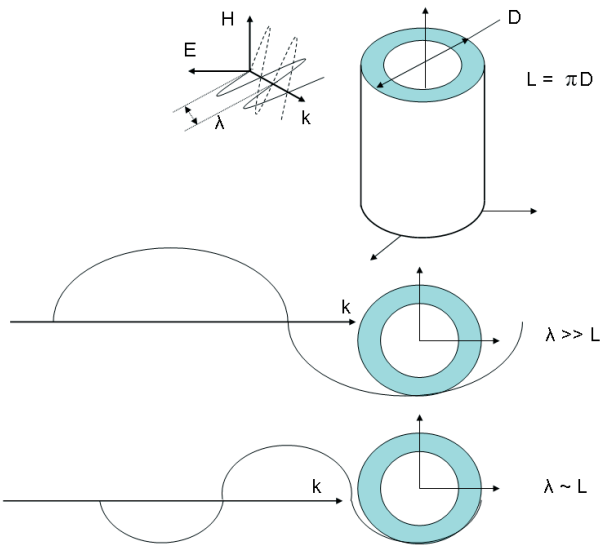


Рис. 2. Возможный механизм возникновения резонансных явлений в полом толстостенном цилиндре. При падении плоской волны (с компонентами E, H и постоянной распространения k) с внешней стороны на цилиндр в случае λ >> L (L – длина окружности) возникновение стоячих волн маловероятно, а при λ ~ L в сечении цилиндра может уложиться целая длина волны λ, которая образует стоячую волну в оболочке.

В заключение необходимо отметить, что при применении электромагнитного оружия, использующего принципы ММВ, для поражения чувствительной микроэлектронной базы РЭА, которая оборудована защитным корпусом, максимальный эффект может быть достигнут при настройке оружия на характерные резонансные частоты цели. При облучении корпуса электромагнитным излучением на данных частотах проникновение поля внутрь корпуса может быть резко увеличено по сравнению с нерезонансной частотной областью воздействия. Данное обстоятельство возможно вследствие того, что защитный корпус РЭА в резонансном частотном диапазоне переходит в волновой режим экранирования внешних электромагнитных полей, который характеризуется колебательным характером изменения экранирующей способности оболочки вплоть до ее резкого снижения. Таким образом, вышеприведенные обстоятельства необходимо учитывать при обеспечении электромагнитной защищенности РЭА, содержащей в составе чувствительную микроэлектронную базу, от внешних источников преднамеренных электромагнитных полей, в т.ч. от потенциального воздействия электромагнитного оружия, в котором используются технологии мощных микроволн.

Выводы

Таким образом, волновой режим прохождения электромагнитного поля через экранирующую оболочку РЭА представляет интерес при оценке воздействия электромагнитного оружия, использующего технологии мощных микроволновых воздействий, на РЭА. Колебательный характер экранирующей оболочки в данном режиме, как показывают теоретические выводы, может привести к значительному уменьшению экранирующей способности оболочки РЭА. Снижение экранирующего эффекта корпуса конструкции РЭА при данном режиме потенциально может привести к тому, что в резонансном частотном диапазоне возможно повышение проникновения электромагнитного поля в экранируемое пространство, которое включает непосредственно РЭА, и, следовательно, увеличение степени воздействия электромагнитного излучения на чувствительную микроэлектронную базу РЭА.

Данные обстоятельства наряду с ранее проведенными изысканиями в данной области могут быть использованы в качестве основы для проведения более детального исследования электромагнитных экранирующих свойств электропроводящих оболочек в волновом режиме экранирования, результатами которых станут как численные результаты, так и более детальное понимание происходящих физических процессов.

Литература

1. Балюк Н.В., Кечиев Л.Н., Степанов П.В. Мощный электромагнитный импульс: Воздействие на электронные средства и методы защиты. М.: ООО «Группа ИДТ», 2007. 478 с.

2. Кечиев Л.Н., Акбашев Б.Б., Степанов П.В. Экранирование технических средств и экранирующие системы. М.: ООО «Группа ИДТ», 2010. 470 с.

3. Baum C.E. Maximization of electromagnetic response at a distance. IEEE Trans. on EMC. 1992. Vol. EMC-34. № 3. P. 148-153.

4. Гроднев И.И. Электромагнитное экранирование в широком диапазоне частот. М.: Связь, 1972. 112 с.

5. Аполлонский С.М. Электромагнитное поле в неоднородных средах: Учеб. пособие. Изд. 2-е, перераб. и. доп. СПб.: Изд-во СЗТУ, 2006. 538 с.

6. Burton R.W. Induced currents and charges on thin cylinders in a time-varying electromagnetic field. IEEE Trans. on EMC. 1975. Vol. EMC-17. №3. Pp. 149-155.

УДК 621.39

МЕТОД РЕКОНСТРУКЦИИ ГАРМОНИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ СПЕКТРАЛЬНЫХ ОПИСАНИЙ ИСКАЖЕННОЙ ШУМАМИ И ПОМЕХАМИ РЕЧИ

Сергей Владимирович Дворянкин
доктор технических наук, профессор
НИЯУ МИФИ
Адрес: 115409, Москва, Каширское ш., д. 31
Тел.: +7(915)091-76-00
E-mail: svdvoryankin@mephi.ru

Виктор Михайлович Алюшин
ассистент
НИЯУ МИФИ
Адрес: 115409, Москва, Каширское ш., д. 31
Тел.: +7(915)091-76-00
E-mail: AVictor2007@yandex.ru

В работе представлен метод реконструкции гармонической структуры зашумленного речевого сигнала, основанный на определении частоты основного тона и кратных ему гармоник на вокализованных участках изображений спектрограмм. Рассмотрен алгоритм уточнения частоты основного тона по вершинам парабол в окрестностях локальных максимумов на текущих срезах спектральных разверток. Полученные результаты могут быть использованы при решении задач восстановления разборчивости речи из шумов и помех, синтеза и кодирования звукового сигнала, а также автоматической идентификации диктора.

The harmonic structure of noisy speech reconstruction method based on pitch and divisible harmonies frequency determination on vocalized sections along spectral-time descriptions images presented in work. The main tone frequency calculation algorithm utilizing parabolas tops on current spectral dissections slices examined. The results obtained may be used in solving problems of speech recovery from noises and disturbers, synthesis and coding sound signals and automatic speaker identification.

Ключевые слова: речь, звуковой сигнал, помехи, шум, синтез, кодирование, основной тон, шумоочистка, спектральные развертки.

Keywords: speech, sound signal, disturbers, noise, synthesis, coding, pitch, noise cleaning, spectral dissection.

Введение

Речевые сообщения являются одним из наиболее часто используемых людьми средств информационного обмена. В последние десятилетия широкое распространение получили средства звукозаписи и передачи звуковых сообщений. При записи речи в естественных условиях помеховая обстановка довольно часто является неблагоприятной. Кроме того, при передаче звукового сообщения по линиям связи низкого качества или низкой пропускной способности разборчивость речи значительно снижается. В связи с этим, является актуальной задача реконструкции и восстановления искаженного речевого сигнала с целью повышения разборчивости речевого сообщения [1, 2, 3]. Мощным инструментом решения поставленной задачи является цифровая обработка сигналов, в основе которой, как правило, лежит кратковременное преобразование Фурье [4]. Хорошие результаты процесса очистки речевых сообщений от помех показывают методы, основанные на реконструкции спектральных описаний с последующим синтезом сигнала с помощью обратного преобразования Фурье [5].

В работах [6, 7] предложен ряд методов «шумоочистки» и определения параметров речевых сообщений. В целом, все методы можно разделить на две группы. Методы первой группы используют узкополосный фильтр для анализа звукового сообщения [6]. Применение методов этой группы оправдано при малых вычислительных мощностях, когда требуется получить лишь общую информацию о сигнале, не идентифицируя говорящего человека. Методы второй группы [7] проводят полный анализ речевого сообщения и позволяют получить из него гораздо больше информации, однако требуют для этого больших вычислительных ресурсов или времени анализа.

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

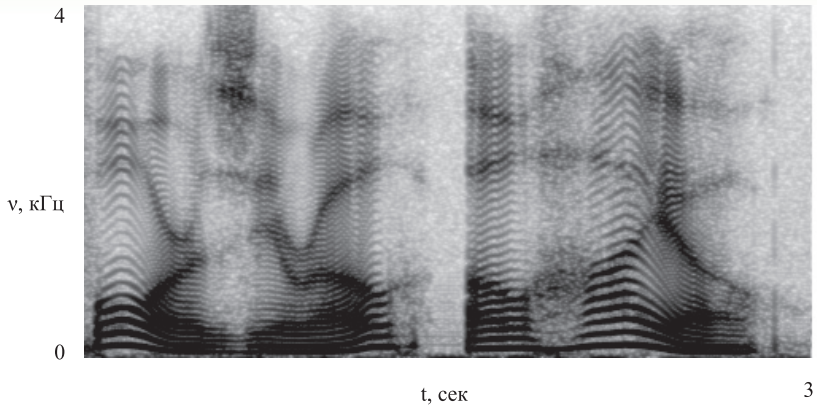


Рис. 1. Пример узкополосной сонограммы речевого сигнала

Целью проведенного исследования являлась разработка метода, позволяющего определить частоту основного тона искаженного речевого сообщения, принимаемого в условиях шумов, по его спектральным описаниям. При этом вычисления, основанные на предложенном методе, нетрудно распараллелить между несколькими ядрами процессора или видеокарты, что дает возможность использовать видеокарту для ускорения вычислений и позволяет в режиме реального времени анализировать несколько каналов речевых сигналов и проводить их «шумоочистку» на обычном персональном компьютере.

Спектральные описания речи

Как известно, смысловая часть информации содержится в частотной огибающей речевого сигнала [8], а основой конструкций всех речевых сообщений являются вокализованные участки речи [9, 10]. Изменением формы огибающей спектра речи достигается понятное и разборчивое звучание всего речевого сигнала. В случае вокализованного участка речи, соответствующего произношению гласных звуков, спектр сигнала имеет гармоническую структуру, т.е. представляет собой набор гармоник, все частоты которых кратны частоте самой первой гармоники [11], называемой основным тоном.

На *рисунке 1* изображена сонограмма речевого сигнала в оттенках серого цвета. Амплитуда гармоник изображена в логарифмическом масштабе, черные линии соответствуют максимумам мощности основного тона и кратных ему гармоник.

Как правило, при наличии помех верхние гармоники, как наименее мощные, скрываются под шумом, а несколько мощных первых гармоник в нижней части спектра с наибольшей амплитудой проявляются на фоне шумов и помех (*рисунок 2*).

Можно предположить, что по этим оставшимся гармоникам возможно нахождение основного тона и восстановление гармонической структуры звукового сигнала. Попытаемся это сделать, используя информацию, полученную из изображений узкополосных амплитудных спектрограмм речевого сообщения, искаженного помехами и шумами.

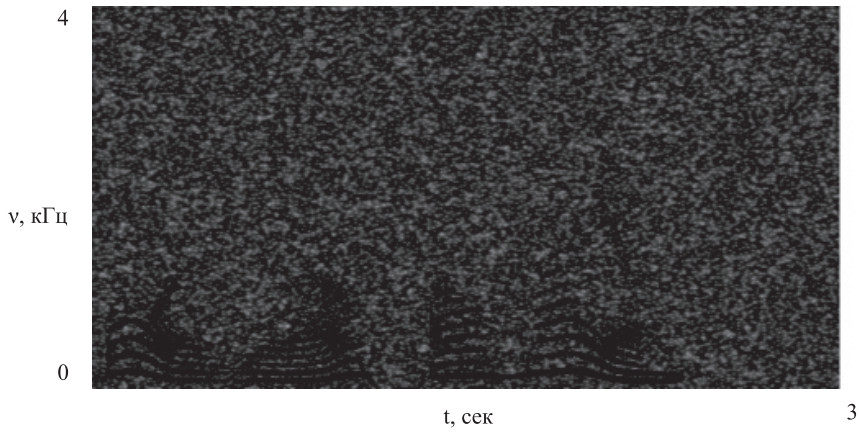


Рис. 2. Сонограмма зашумленного сигнала

Метод нахождения частоты основного тона по вершинам парабол гармоник на спектральных развертках

В качестве первого приближения, будем считать частоту основного тона равной частоте гармоники с самой большой амплитудой:

$$\omega_{\text{осн}} = \frac{2\pi}{N}\nu \cdot \arg \max_{i=0\ldots\frac{N}{2}-1} |X_i|,$$

где N – база преобразования Фурье;
$\{X_i\}_{i=0}^{N-1}$ – кратковременное дискретное преобразование Фурье от вокализованного участка речи;
ν – частота дискретизации исходного звукового сигнала.

У данного приближения есть ряд недостатков, а именно:

1. Довольно часто максимальной амплитудой обладает не основной тон, а одна из кратных ему гармоник нижней части спектра. Поэтому найденная таким образом частота основного тона может кратно превышать свое истинное значение.

2. Частота основного тона находится с погрешностью

$$\Delta\omega = \frac{2\pi}{N}\nu$$

(разница между частотами двух соседних гармоник при дискретном преобразовании Фурье).

3. В каждый интервал времени кратковременного анализа Фурье частота основного тона находится независимо от других интервалов времени, что может приводить к увеличению ошибки.

4. Так как частоты всех гармоник на вокализованных участках речи пропорциональны частоте основного тона, то с увеличением номера гармоники растет и погрешность определения ее частоты по спектральному описанию. В итоге линии гармоник, определенных таким образом, получаются разрывными.

Действие указанных недостатков продемонстрировано на *рисунке 3*. Попытаемся исправить эти недостатки.

Для исправления влияния первого недостатка, частота основного тона искалась не на всем диапазоне частот, а только в области [70 Гц – 750 Гц], где с большой вероятностью находятся гармоники речевых вокализмов:

$$\omega_{\text{осн}} = \frac{2\pi}{N}\nu \cdot \arg \max_{i=\frac{70\cdot N}{\nu}\ldots\frac{750\cdot N}{\nu}} |X_i|.$$

В этом случае возможна ошибка, заключающаяся в принятии второй или третьей гармоники за основной тон (ошибка по частоте в 2 или 3 раза соответственно). Для ее исправления используется следующее эмпирическое предположение, которое значительно повышает точность нахождения частоты основного тона.

Пусть a – номер элемента X_a дискретного преобразования Фурье с максимальной амплитудой (в этом случае частота основного тона равна $\omega_{\text{осн}} = \frac{2\pi}{N}\nu \cdot a$). Рассмотрим элемент $X_{a/2}$. Если его амплитуда незначительно отличается от амплитуды X_a $\left(\left||X_{a/2}| - |X_a|\right| < \frac{2}{3}|X_a|\right)$, то уменьшим частоту основного тона в два раза. Рассмотрим элемент $X_{a/3}$. Если его амплитуда незначительно отличается от амплитуды X_a, то уменьшим частоту основного тона в три раза $\left(\left||X_{a/3}| - |X_a|\right| < \frac{2}{3}|X_a|\right)$.

Верхние гармоники являются разрывными ступенчатыми линиями и плохо совпадают с исходными значениями. Это связано с тем, что частота основного тона находится с точностью до величины

$$\Delta\omega = \frac{2\pi}{N}\nu$$

(разница частот между двумя соседними по вертикали пикселями на сонограмме), и данное расхождение между истинным и рассчитанным положением линии гармоники основного тона растет линейно с ее номером.

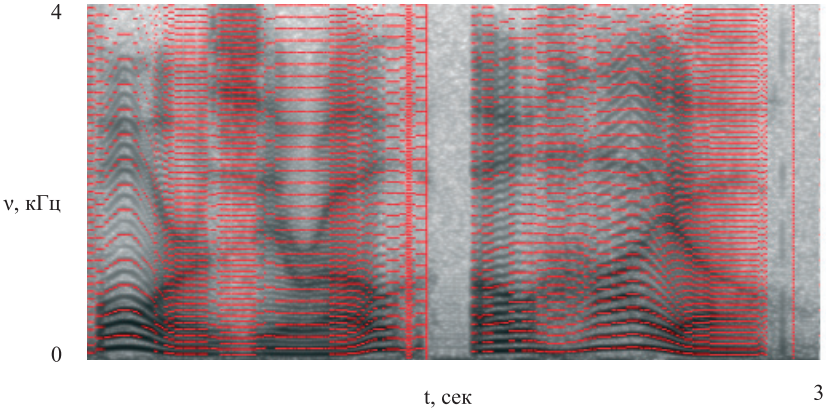


Рис. 3. Сонограмма и линии гармоник (красные), найденные без корректировки частоты основного тона

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

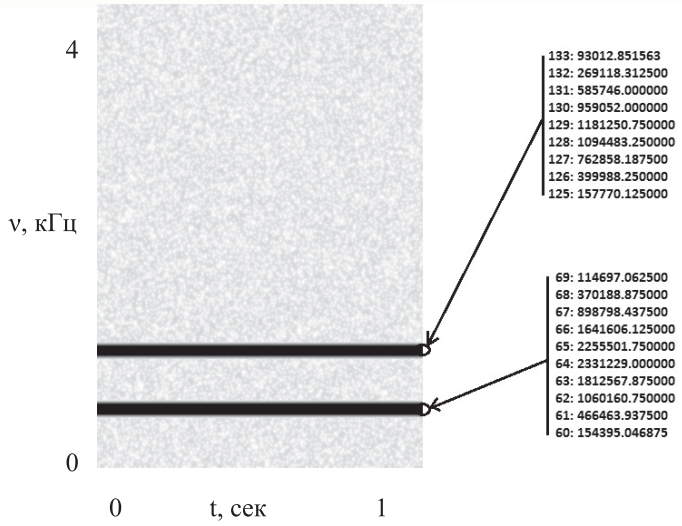


Рис. 4. Развертка спектральных срезов тестового сигнала, состоящего из двух кратных гармоник 503 Гц и 1006 Гц

Для исправления этого недостатка использовалась корректировка частоты основного тона по вершинам парабол гармоник на спектральных развертках.

Пусть X_a – элемент дискретного преобразования Фурье: локальный максимум, в первом приближении соответствующий основному тону. Построим параболу через три соседних элемента преобразования Фурье

$$y = f(x) = Ax^2 + Bx + C$$

$$|X_{a-1}| = f(a-1),\ \ |X_a| = f(a),\ \ |X_{a+1}| = f(a+1)$$

Решая систему уравнений относительно A, B, C, получаем решение:

$$A = \frac{|X_{a+1}| - 2|X_a| + |X_{a-1}|}{2};$$

$$B = |X_a| - |X_{a-1}| - A \cdot (2a-1);$$

$$C = |X_a| - Aa^2 - Ba$$

Найдем координату вершины параболы $x_0 = -\frac{B}{2A}$, тогда уточненная частота основного тона будет равна $\omega_{\text{осн}} = \frac{2\pi}{N}\nu \cdot a$. Именно такой метод скорректированного определения основного тона мы назвали параболическим. Следует заметить, что после коррекции по вершинам парабол спектральных разверток найденная частота основного тона уже не кратна шагу преобразования Фурье.

Поясним это, рассмотрев тестовый сигнал с частотой дискретизации ν=8 кГц, состоящий из двух гармоник:
$y(t) = A_1 \cos(\omega_1 t + \varphi_1) + A_2 \cos(\omega_2 t + \varphi_2)$,
где $\omega_1 = 2\pi\nu$ $\omega_2 = 4\pi\nu$ $\nu = 503$ Гц (частота основного тона). Для построения каждого спектрального среза возьмем в качестве базы БПФ – N, возьмем 1024 отсчета звукового сигнала, и умножим их на окно анализа, в качестве которого может быть взято рекомендуемое в [12] окно Гаусса $w(x) = e^{-\frac{(x-N)^2}{2N^2\sigma^2}}$, где x – номер отсчета $0 \le x < N$ $\sigma = 0.17$. Применив преобразование Фурье к полученной последовательности, получаем развертку спектральных срезов, изображенную на *рисунке 4*.

Наибольшей амплитудой (2331229.000) обладает гармоника №64. Частота данной гармоники $\nu_{64} = \frac{\nu}{N}n = \frac{8000}{1024} \cdot 64 = 500$ Гц, что отличается от истинной частоты основного тона на 3 Гц. Хоть полученная ошибка мала, но она будет расти линейно в верхней части области с ростом номера гармоники. То есть погрешность определения частоты 10-й гармоники составит уже 30 Гц.

Произведем параболическую корректировку частоты основного тона. Рассмотрим две соседние гармоники: №63 с амплитудой 1812567.875 и №65 с амплитудой 2255501.750. Проведем через них параболу и вычислим по описанным выше формулам коэффициенты: $A = -297194.1875; B = 38262322.9375$. Координата вершины параболы

$$x_{\text{в}} = -\frac{B}{2A} = 64.3726,$$

что соответствует частоте

$$\nu_{\text{в}} = \frac{\nu}{N}x_{\text{в}} = \frac{8000}{1024} \cdot 64.3726 = 502.9109 \text{ Гц}.$$

Как видим, с применением параболического метода, рассчитанное значение отличается от истинной частоты основного тона менее чем на 0.1 Гц.

На *рисунке 5* представлены результаты пара-

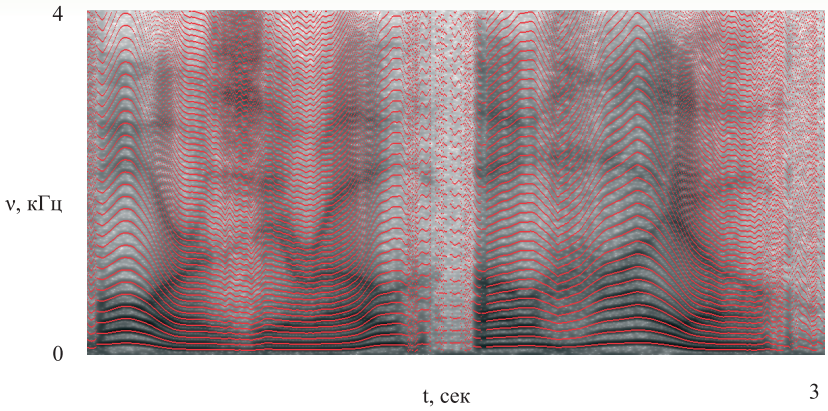


Рис. 5. Сонограмма и линии гармоник (красные) после коррекции частоты основного тона по вершинам парабол спектральных разверток

болической коррекции линий гармоник по вершинам парабол спектральных разверток. Как видно, после проведенной коррекции треки даже верхних гармоник являются непрерывными и совпадают с точными исходными значениями на изображении узкополосной спектрограммы.

Дополнительным критерием проверки правильности нахождения основного тона являлась максимизация суммы амплитуд первых 7 кратных гармоник:

$$\sum_{i=1}^{7} \left| X_{[i \cdot x_в]} \right| \to max,$$

где [a] – целая часть числа a.

Результаты учета этого критерия также продемонстрированы на *рисунке 5*.

Как показали вычислительные эксперименты, предложенный метод работает даже в случае зашумленного сигнала при условии, что треки только некоторых первых гармоник “видны” на фоне шумов (*рисунок 6*).

Как показали эксперименты, при зашумлении речевого сообщения белым шумом треки гармоник и восстановленная по ним гармоническая структура может находиться корректно даже при отношении сигнал/шум до –12 Дб. При зашумлении речевого сообщения естественными помехами, гармоническая структура может корректно восстанавливаться при отношении сигнал/шум до –8 … –5 Дб.

Для реализации метода определения основного тона вокализованного участка зашумленной речи по вершинам парабол гармоник на спектральных развертках была написана программа на языке C++ с использованием технологии NVIDIA CUDA, позволяющая на персональном компьютере с видеокартой в режиме реального времени обрабатывать и восстанавливать гармоническую структуру сразу нескольких звуковых потоков.

После восстановления гармонической структуры искаженного голоса возможно построение скорректированной спектральной огибающей исправляемого речевого сигнала конкретного

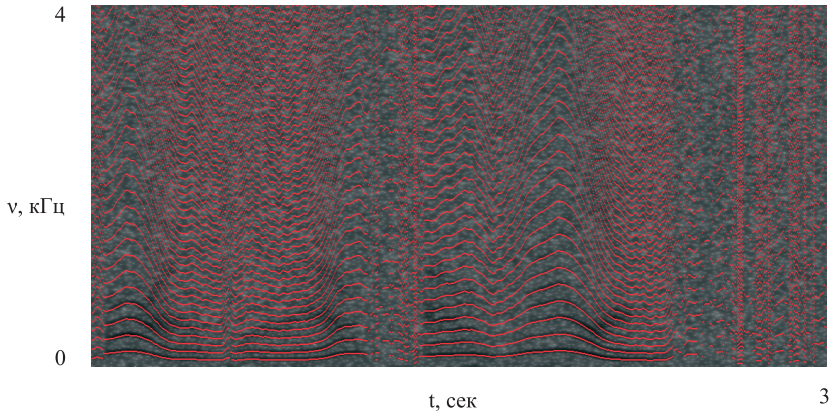


Рис. 6. Сонограмма и линии гармоник (красные) в случае зашумленного сигнала

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

диктора с использованием накопленной базы данных его речевых вокализмов в результате совмещения новой гармонической и взятой из голосовой базы связанной с ней формантной структуры. Найденная таким образом скорректированная спектральная огибающая может использоваться для решения задач, связанных с синтезом акустического сигнала с заданными свойствами, восстановлением разборчивости искаженной шумами и помехами речи, идентификацией личности говорящего человека и др.

Заключение

В настоящее время актуальной является задача "шумоочистки" искаженного речевого сигнала и получения из него исходной смысловой информации. В данной статье предложен метод определения частоты основного тона вокализованного участка зашумленной речи по вершинам парабол гармоник на спектральных развертках. Разработанное ПО, реализующее данный метод, позволяет в режиме реального времени при небольших вычислительных мощностях восстанавливать гармоническую и связанную с ней по голосовой базе формантную структуру сигнала, и может быть задействовано при решении таких задач как: восстановление речевой разборчивости; идентификация говорящего; синтез речи по изображению сонограмм; очистка речи от шумов и помех; сжатие и восстановление звукового сигнала.

Литература

1. Максимов Е.М., Ромашкин Ю.Н., Лопатина С.А. Актуальные задачи речевой акустики // Речевые Технологии, 2008. №2. С. 66-70.

2. Хитров М.В. Распознавание русской речи: состояние и перспективы // Речевые Технологии, 2008. №1. С. 83-87.

3. Михайлов В.Г. Из истории исследований преобразования речи // Речевые Технологии, 2008. .№1. С. 93-113.

4. Рабинер Л.Р., Шафер Р.В. Цифровая обработка речевых сигналов: Пер. с англ. / Под ред. М.В. Назарова и Ю. Н. Прохорова. М.: Радио и связь, 1981. 496 с.

5. Дворянкин С.В. Цифровая шумоочистка аудиоинформации. Под ред. А.В. Петракова. М.: ИП РадиоСофт, 2011. 208 с.

6. Азаров И.С., Петровский А.А. Вычисление мгновенных гармонических параметров речевого сигнала // Речевые Технологии, 2008. № 1. С. 67-77.

7. Жиляков Е.Г., Курлов А.В., Эсауленко А.В., Котович Н.В. Об одном методе очистки речи от шумов на основе применения фильтрующей субполосной матрицы // Доклады 11-й Международной Конференции DSPA-2011.

8. Гусятинский И.А., Пирогов А.А. Радиосвязь и радиовещание. М.: Советское радио, 1974.

9. Сапожков М.А., Михайлов В. Г. Вокодерная связь. М.: Радио и связь, 1983. 248 с.

10. Калинцев Ю.К. Разборчивость речи в цифровых вокодерах. М.: Радио и связь, 1991. 218 с.

11. Кузнецов В.Б., Чучупал В.Я. Классификация звуков русской речи с помощью бинарных решающих деревьев // Речевые Технологии, 2008. №2. С.24-35.

12. Женило В.Р. Компьютерная фоноскопия. М.: Изд-во Акад. МВД РФ, 1995. 208 с.

УДК 004.8

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА И ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

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

В статье рассматриваются вопросы формирования архитектуры экспертной системы для ее представления в автоматизированных информационных системах.

The article deals with the formation of an expert system architecture to her represent in automated information systems.

Ключевые слова: нечеткий (лингвистический) характер, экспертная система, строительный объект, техническое состояние, оценка технического состояния.

Keywords: fuzzy (linguistic) the nature, expert system, building object, a technical condition, an estimation of a technical condition.

Рыночные условия современной экономики предъявляют высокие требования к обоснованности и оперативности принимаемых решений в области управления качеством, в том числе и в области строительства. В связи с этим появляется необходимость использования передовых информационных технологий управления коммерческой, административной и хозяйственной деятельностью предприятия и организаций различных форм собственности. В международной практике управления активно развивается и пропагандируются так называемая CALS-технология [1] (Continuous Acquisition and Life-cycle Support), которая направлена на процесс непрерывной информационной поддержки жизненного цикла продукции (объекта), позволяющая значительно повысить эффективность производственной деятельности в результате внедрения современных методов информационного взаимодействия участников жизненного цикла продукта (объекта). Эффект от внедрения CALS-технологии достигается за счет интеграции и совместного использования информации, применяемой при разработке, проектировании, производстве и сопровождении продукта.

Базой для создания автоматизированных информационных систем управления качеством в рамках системы качества могут служить пакеты программ для обработки статистических данных SPSS, Statistica, STADIA, STATGRAPHICS. Примеры создания отдельных программ для целей контроля и управления качеством содержатся в [2].

Реализация CALS-технологии для оценки качества строительно-монтажных работ (СМР) может быть представлена в виде информационной экспертной системы. Как известно [3, 4], экспертная система (ЭС) – это система искусственного интеллекта (разновидность информационных систем) для решения задач в узкой предметной области на основе информации, представляемой экспертами, в том числе и в области строительства. ЭС содержит характерные элементы искусственного интеллекта, моделирующего процесс принятия решения человеком: цели, факты, правила, показатели, механизмы допущения, вывода, получения новых знаний. Цель моделирующего процесса определяется проблемной областью (назначением) экспертной системы. Факты и правила составляют базу знаний или правил ЭС. Перечень показателей устанавливает оцениваемые характеристики продукта (объекта). Механизм вывода (интерпретатор знаний) служит для организации логических выводов из исходных фактов (базы данных) при помощи известных правил (базы правил). В механизм вывода обычно заложен и механизм условных допущений, который в алгоритмиче-

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

ских методах решения задач связан с принятием определенных упрощений представления продукта (объекта) и игнорированием второстепенных фактов. Подсистема приобретения знаний моделирует процесс запоминания новых знаний, полученных в результате решения задачи.

Критериями применимости экспертной системы для решения задач в области строительства могут быть:

- отсутствие эффективных алгоритмических методов решения задачи определенной предметной области строительства;
- отнесение задачи к области оценки, диагностики, интерпретации или прогнозирования состояния строительных объектов и сооружений;
- нечеткий (лингвистический) характер доступных исходных данных о состоянии строительных объектов и сооружений;
- наличие экспертов, обладающих определенными знаниями и опытом в данной предметной области строительства.

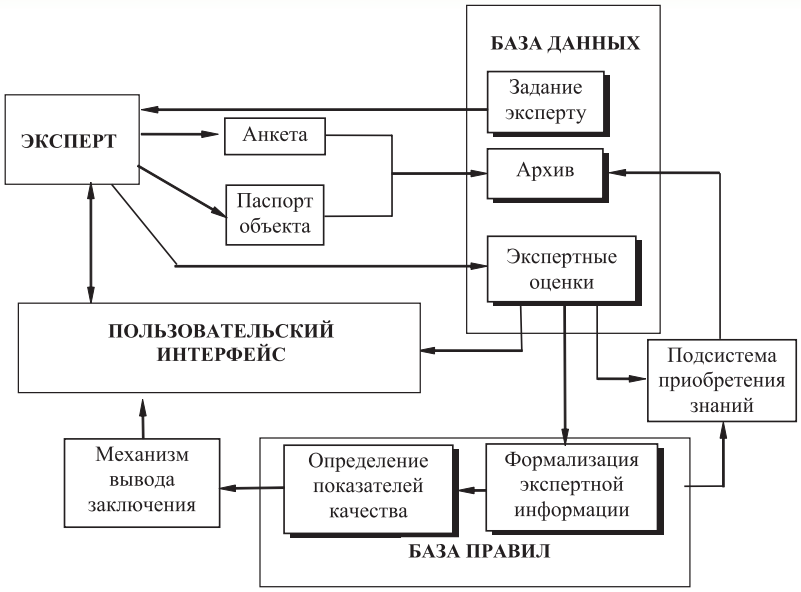


Рис. 1. Архитектура экспертной системы

Оценка качества строительно-монтажных работ, как актуальная задача предметной области строительства, отвечает всем критериям применимости экспертных систем. Очевидно, что применение алгоритмических методов при решении задач оценки качества строительных технологий затруднено неопределенностью исходных данных, многие из которых носят качественный характер и получены с определенной достоверностью [5-7], что позволяет говорить о нечетком (лингвистическом) характере оцениваемых параметров.

Экспертные системы обладают определенными преимуществами перед отдельным человеком–экспертом: отсутствием предубеждений и преждевременных выводов; устойчивостью к факторам внешнего преднамеренного и непреднамеренного воздействия; практически неограниченным объемом базы знаний; систематичностью и быстротой решения задач. Однако экспертная система не является полноценной заменой специалиста в конкретной предметной области, в том числе и в области строительства, а скорее является инструментом, орудием труда эксперта. Причем, если пользователь не являлся экспертом, наполнившим базу знаний экспертной системы, то он не может в полной мере доверять полученному ЭС заключению, пока не будет знать, каким образом оно было получено.

Поскольку экспертная система реализуется, как правило, на базе автоматизированной, информационной системы, которая понимает только установленный перечень машинных команд, для общения с конечным пользователем в нее (систему) включаются средства общения на естественном, понятном для человеческого восприятия языке. Последние, совместно с подсистемой формализации, образуют так называемый пользовательский интерфейс, позволяющий пользователю вести диалог с информационной системой.

Основные функции в экспертной системе выполняет эксперт, который задает исходную информацию и управляет процессом решения задачи по установленному алгоритму. Для получения первичной экспертной информации используются процедуры анкетирования, тестовые задания, регламенты, набор стандартных правил, установление перечня оцениваемых параметров (показателей), образующих в совокупности систему получения знаний. Первичная экспертная информация зачастую носит качественный, нечеткий характер и может быть представлена (формализована) лингвистическими переменными. Для решения задач оценки качества строительных технологий, технического состояния строительных объектов, наиболее перспективными способами формализации экспертной информации являются методы и правила нечеткой логики [5, 7].

Экспертные системы диагностики качества строительных технологий, технического состо-

яния строительных объектов, целесообразно строить блочным методом с возможностью масштабирования уровней решаемых задач. Это связано с тем, что результаты экспертизы качества, могут быть использованы для разных целей: производственного и приемочного контроля, сертификации строительного производства или системы качества, оценки (диагностики) технического состояния строительных объектов и сооружений, страхования строительных рисков и т.д. Кроме этого, экспертная система приобретает и накапливает базу знаний, которая может быть использована для совершенствования и перевода системы на следующий, более высокий уровень функционирования [8].

На основании вышеизложенного, архитектура экспертной системы по оценке качества строительных технологий и (или) оценке технического состояния строительных объектов (зданий и сооружений) может быть представлена в виде информационной системы, структурная схема которой представлена на *рисунке 1*.

Состав базы данных, представленной структуры экспертной системы, имеет три компонентных блока, а именно: задание эксперту, экспертные оценки и архив. Блок заданий эксперту объединяет в себе следующие группы данных: требования к системе качества и оценке технического состояния; нормативные требования к качеству СМР; базовые (нормативные, проектные) перечень, значения контролируемых параметров (показателей). В архив включаются следующие данные: анкета эксперта, паспорт объекта экспертизы; правила измерений; погрешности приборов и средств оценки технического состояния; классификатор основных дефектов СМР по степени их влияния на конструктивную надежность. При необходимости в архиве могут накапливаться экспертные оценки и (или) приобретенные знания. В банке данных могут храниться тестовые задания (примеры) для проверки работоспособности отдельных компонентов экспертной системы. Тестовые задания (примеры) проверяются предварительным ручным расчетом и представляют собой промежуточные контрольные результаты вычислений, по которым можно судить о готовности экспертной системы к работе. Если тестовые задания (примеры) не включаются в базу данных, они должны быть обязательно приведены в описании экспертной системы.

Совокупный формализованный механизм вывода заключения экспертной системы может содержать:

- правила комплексной оценки системы качества строительства, технического состояния строительных объектов на основе частных оценок установленных показателей;
- вывод заключения о показателях качества технологических процессов СМР и технического состояния строительных объектов;
- рекомендации по применению средств диагностики технического состояния строительных объектов на основе оценки необходимой точности измерений и достоверности контроля;
- заключение об уровне технического состояния строительных объектов.

Подсистема приобретения знаний обеспечивает накопление статистических характеристик дефектов и отклонений, данных о степени их влияния на показатели технического состояния строительных объектов с корректировкой классификатора дефектов. В этой подсистеме также формируются и при необходимости корректируются базовые значения показателей точности технологических процессов СМР и конструктивной надежности для целей оценки качества при строительстве, лицензировании, сертификации, страховании рисков и т.д.

Литература

1. Управление качеством строительной продукции. Техническое регулирование безопасности и качества в строительстве: Учеб. Пособие / С.К. Сергеев, В.И. Теличенко, В.И. Колчунов и др. М.: Изд-во АСВ, 2003. 512 с.

2. Контроль качества с помощью персональных компьютеров / Т. Макино, М. Охаси, Х. Докэ, К. Макино. М.: Машиностроение, 1991. 224 с.

3. Таунсенд К., Фохт Д. Проектирование и программная реализация экспертных систем на ЭВМ / Пер. с англ. М.: Финансы и статистика, 1990. 320 с.

4. Практическое введение в технологию искусственного интеллекта и экспертных систем с иллюстрациями на Бейсике/ Р. Левин, Д. Дранг, Б. Эдельсон. М.: Финансы и статистика, 1990. 239 с.

5. Байбурин А.Х. Оценка качества строительно-монтажных работ методами теории нечетких множеств // Известия вузов. Строительство. 2002. № 6. С.54–58.

6. Байбурин А.Х., Субботин Т.В. Проектирование экспертной системы оценки качества // Жилищное строительство. 2004. №5. С. 4–5.

7. Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. М.: Наука, 1981. 208 с.

8. Байбурин А.Х. Контроль и оценка качества в строительстве / Учебное пособие. Издательство ЮУрГУ. 2004. 54 с.

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

УДК 621.3.087.92

ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ ЦИФРО-АНАЛОГОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Михаил Всеволодович Руфицкий
доктор технических наук, профессор
Владимирский государственный университет
Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87
Тел.: +7(4922)34-00-99
E-mail: mvr59@mail.ru

Артем Николаевич Золотов
аспирант
Владимирский государственный университет
Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87
Тел.: +7(4922)34-00-99
E-mail: zolotovan@inbox.ru

Статья посвящена исследованию возможности построения цифро-аналогового преобразования на новых оптоэлектронных принципах, которые позволят расширить частотный диапазон преобразования, а так же увеличить разрядность преобразования, тем самым повысить точность. Представлена структурная и функциональная схема такого оптоэлектронного преобразователя. Даны положения, объясняющие возможность формирования различного весового значения фототока. Приводится анализ современной технологии и элементной базы для построения многоразрядного быстродействующего оптоэлектронного АЦП. Главное достоинство нового подхода в создании быстродействующих преобразователей – замена сложно реализуемых высокоскоростных электрических схем оптическими.

The article investigates the possibility of constructing an digital-analog conversion on the new opto-electronic principles. This allows us to extend the frequency range of conversion and increase conversion bit, and therefore increases the accuracy. Structural and functional diagram of the optoelectronic converter is presented. Regulations that explain the possible formation of different weight values of the photocurrent are presented. Analysis of modern technology and components for the construction of multi-digit high-speed optoelectronic DAC is presented. The main advantage of the new approach in the creation of high-speed converters is a replacement of complexly high-speed electrical circuits for optical circuits.

Ключевые слова: цифро-аналоговое преобразование, оптоэлектроника.
Keywords: digital-analog conversion, optoelectronics.

Высокоскоростные цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП) используются во многих современных отраслях: в медицине, телекоммуникации, автоматике и других. Практические применения очень велики: широкополосные беспроводные системы связи различных технологий (LTE, WiMAX, GSM, CDMA, и др.), спутниковая связь, радары, магнитно-резонансная томография и др. Поэтому вопросы реализации высокоскоростного цифрового синтеза сигнала всегда остаются актуальными.

Современный рынок ЦАП представлен крупнейшими фирмами, которые в своих разработках добились быстродействия преобразователей до нескольких единиц Ггц. Однако разрядность большинства быстродействующих преобразователей ограничивается 12, 14 битами, что существенно снижает точность преобразования. В результате этого возникает задача выбора между высокоскоростными и менее точными преобразователями или прецизионными, но обладающими низким быстродействием. Компромисс в этом вопросе может быть найден путем разработки многоразрядных параллельных ЦАП, однако решение этой задачи традиционными методами построения параллельных ЦАП весьма затруднительно. Большинство современных параллельных ЦАП построены на основе использования стабильных источников тока. При таком принципе суммирующиеся весовые токи, сила каждого из которых пропорциональна весу цифрового двоичного разряда, формируются транзисторными источниками тока. Недостатками данного принципа являются [1]:

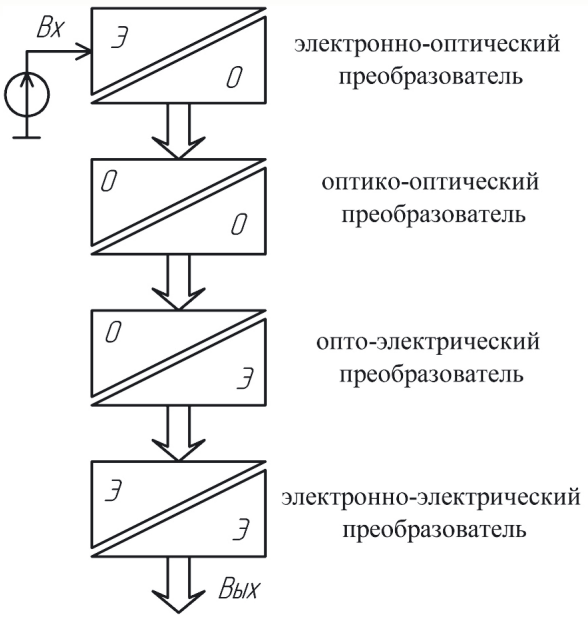


Рис. 1. Структура оптоэлектронного цифро-аналогового преобразования

● сложность технологического изготовления необходимой точности весовых источников тока старших разрядов, из-за применения составные параллельных транзисторов большой площади, для обеспечения одинакового база-эмиттерного напряжения;

● большие искажения преобразуемого сигнала, выраженные в выбросах при переходе от одной комбинации к другой, вследствие неодновременного переключения источников тока.

Переход от схем электрических к оптоэлектронным, структура которых показана на *рисунке 1*, в которых цифро-аналоговое преобразование выполняется в оптическом виде, а потом декодируется в электрические сигналы, позволит реализовать быстродействующее преобразование высокой точности.

Наиболее простой для реализации оптоэлектронного параллельного ЦАП является функциональная схема, представленная на *рисунке 2*.

Работа ЦАП осуществляется следующим образом. На вход блока формирователя тока 1 поступают двоичные цифровые коды в параллельном виде. Этот блок служит для уменьшения времени нарастания и спада оптического сигнала светодиодов [2] за счет избыточного тока, протекающего по цепи, позволяющего ускорить процесс достижения требуемой стационарной концентрации носителей в активной области. С выхода формирователя тока сигналы (коды) поступают на модуль светодиодов 2_1, 2_2, …, 2_N , где N – разрядность ЦАП.

В нулевом состоянии все светодиоды отключены, фототок фотоприемника 4 равен нулю. С подачей кода на модуль светодиодов, они испускают излучение продолжительностью, равной продолжительности кода на входе ЦАП. Часть излучения от светодиодов, отражаясь от зеркальной поверхности 3, располагающейся про-

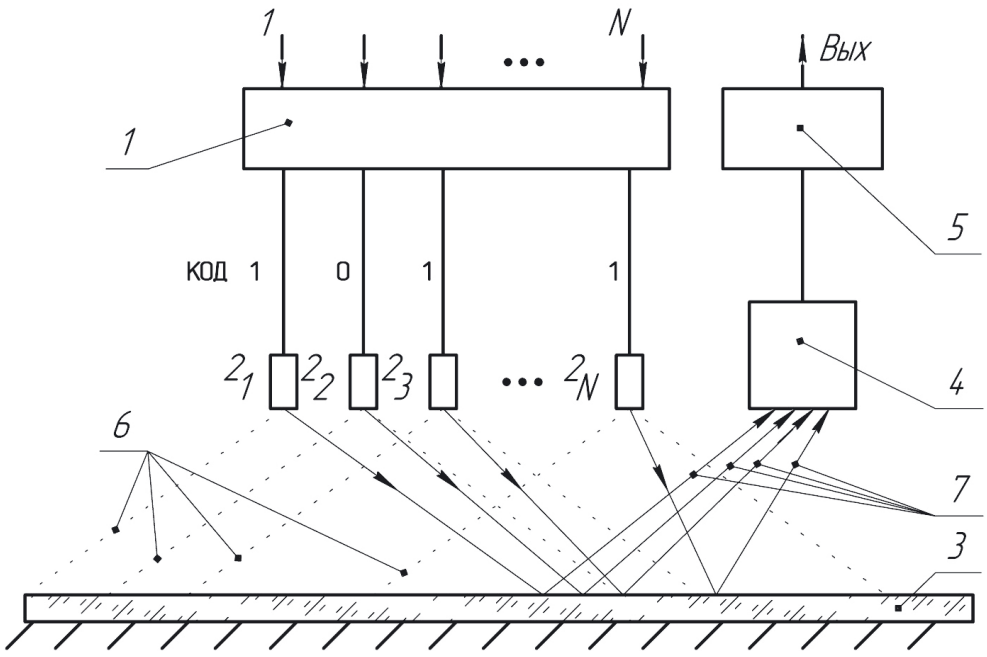


Рис. 2. Функциональная схема работы оптоэлектронного ЦАП:
1 – формирователя тока; 2_1, 2_2, …, 2_N – набор светодиодов; 3 – зеркальная поверхность; 4 – фотоприемник; 5 – усилитель сигнала; 6 – угол излучения светодиодов; 7 - световые лучи, падающие на фотоприемник.

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

тивоположно плоскости модуля светодиодов, попадает на фотоприемник 4.

При увеличении расстояния l световой поток светодиода, отразившись от зеркала, будет пропорционально смещаться относительно фотодиода. Таким образом, за счёт изменения расстояния l между светодиодами 2_1, 2_2 … 2_N и фотоприемником 4 создается вес пропорциональный цифровому двоичному разряду. Суммарный поток, принимаемый фотодиодом прямо пропорционален величине кода, величина же аналогового сигнала с выхода усилителя 5 прямо пропорциональна световому потоку набора светодиодов 2_1, 2_2 … 2_N.

Расположение светодиодов в модуле выполняется по правилу: светодиод, соответствующий меньшему разряду ЦАП располагается на расстоянии, большем, чем предыдущий. Таким образом, можно выделить следующие варианты формирования набора светодиодов: линейный, матричный и спиральный [3].

Физический принцип формирования различного весового значения фототока, поясняющий работу оптоэлектронного ЦАП (*рисунок 2*), представлен на *рисунке 3* и описывается следующими положениями.

1. *Закон освещенности.*

Для точечного источника освещенность определяется по закону обратных квадратов:

$$E = I_v \cos\alpha / r^2,$$

где E – освещенность;

I_v – сила света;

r – расстояние до источника излучения;

α – угол падения света на площадку.

Закон обратных квадратов соблюдается при размере источника излучения d в 10 раз меньшего расстояния r до освещаемой поверхности. Если $r<10d$, то освещенность убывает медленнее.

На *рисунке 3* отображено, что расстояние r для разных источников освещенности, расположенных друг от друга на некотором расстоянии, будет разным и отличаться на расстояние k. Это утверждение справедливо, при условии

$$0° < \beta < 90°.$$

2. *Зависимость силы света I_v от прямого тока I через светодиод.*

Различные типы светодиодов имеет различную зависимость $I_v = f(I)$. У некоторых светодиодов это функция линейная практически на всей области определения. Чем выше ток, проходящий через светодиод, тем больше сила света и, следовательно, освещенность.

3. *Пространственное распределение излучения.*

Различия между показателями преломления излучающего материала и материала окружающей среды, где распространяется излучение, ве-

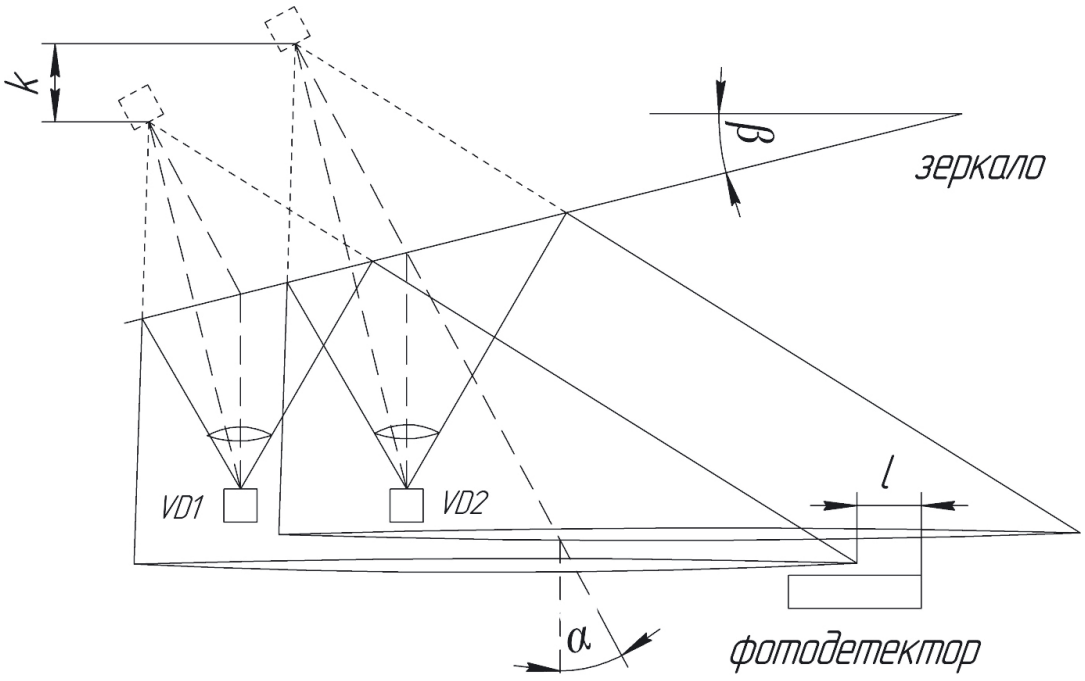


Рис. 3. Принцип создания различного фототока от двух точечных источников света: VD1, VD2 – источники света; k – разность между расстояниями до источником VD1 и VD2; l – расстояние на которое световой поток источника VD1 смещен относительно фотодетектора; α – угол падения света на площадку; β – угол наклона зеркальной поверхности.

дет к анизотропии пространственного распределения излучения. Для планарных светодиодов, на основе материалов с высокими значениями преломления, характерно ламбертовское распределение [2]:

$$I_{env} = \frac{P_{source}}{4\pi r^2} \cdot \frac{n_{env}^2}{n_s^2} \cdot cos\Phi,$$

где I_{env} – интенсивность излучения в окружающей среде;
P_{sourse} – полная мощность источника света;
n_s, n_{env} – показатель преломления полупроводника и окружающей среды, соответственно;
r – радиус поверхности сферического конуса;
Ф – угол между нормалью и лучом света, отразившегося от поверхности раздела.

Данное выражение выводится в работе [2], оно показывает, что интенсивность света максимальна при излучении, перпендикулярном поверхности полупроводника. При увеличении угла, интенсивность снижается до значения половины максимума.

4. *Площадь освещенности фотодетектора.*

С увеличением расстояния между светодиодом и фотодетектором световое пятно смещается и может перекрывать фотодетектор не полностью. На *рисунке 3* показано, что световое пятно у светодиода VD1 смещено относительно фотодетектора на расстояние l. Уменьшение площади засветки фотодетектора ведет к уменьшению фототока.

Быстродействие оптоэлектронных параллельных ЦАП будет ограничиваться скоростью преобразования из электрической в оптическую форму, и наоборот. Современные достижения в различных областях науки позволяют выпускать pin фотодиоды с быстродействием свыше 50 ГГц [4]. Быстродействие светодиодов при применении схем формирования токов и минимизации паразитных параметров достигает скорости 1 ГГц, повысить эту частоту можно путем уменьшения времени жизни неосновных носителей за счет сильного легирования активной области [2], при этом снижается квантовый выход. Такой метод реализован в работах [5] и позволяет получить светодиоды с быстродействием 1,7 ГГц. Другой более перспективным методом является переход от светодиода к светотранзистору, быстродействие которых достигает 7 ГГц и выше [6].

Таким образом, оптоэлектронные параллельные ЦАП могут иметь скорости до нескольких единиц ГГц. А при дальнейшем развитии схемотехники высокоскоростных светодиодов быстродействие увеличится и достигнет десятков ГГц. Разрядность, а, следовательно, и точность преобразования в оптоэлектронных ЦАП напрямую зависят от расстояния между светодиодами и фотодиодом, что на современном этапе развития технологии производства при нормах 16 нм и ниже, могут быть достаточно высокими. Структура таких преобразователей довольно сложна и требует создания математических моделей, учитывающих большое число параметров и факторов, влияющих на работу светодиодов и фотодиодов, а также их геометрическое расположение. Создание средств САПР для проектирования таких преобразователей может явиться отправной точкой для их практического применения.

Литература

1. Волович Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых устройств / Г.И. Волович. 2-е изд. М.: Издательский дом «Додека XXI», 2007. 528 с.

2. Шуберт Ф.Е. Светодиоды: пер. с англ. / под ред. А.Э. Юновича. 2-е изд. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 496 с.

3. Цифро-аналоговый преобразователь: пат. 2459352 Рос. Федерация : МПК H 03M 1/66 / Золотов А.Н., Руфицкий М.В.; заявитель и патентообладатель Владимирский государственный университет им. А.Г и Н.Г. Столетовых. № 2011124564/08; заявл. 16.06.2011; опубл. 20.08.2012, Бюл. № 23. 8с.

4. www.discoverysemi.com

5. Chen, C. H. “GHz bandwidth GaAs light-emitting didoes” / C. H. Chen, M. Hargis, J. M. Woodall, M. R. Melloch, J. S. Reynolds, W. Wang, and E. Yablonovitch // Appl. Phys. Lett., vol. 74, pp. 3140-3142, 1999.

6. Walter, G Tilted-charge high speed (7 GHz) light emitting diode / Walter, G.; Wu, C. H.; Then, H. W.; Feng, M.; Holonyak, N. // Applied Physics Letters, Volume 94, Issue 23, id. 23112, 2009.

УДК 623.681.93

ВЛИЯНИЕ НИЗКОИНТЕНСИВНЫХ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧНЫХ АТМОСФЕРНЫХ НЕЙТРОНОВ НА БОРТОВУЮ ЭЛЕКТРОННУЮ АППАРАТУРУ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Андрей Викторович Афонин
начальник 5494 военного представительства Министерства обороны Российской Федерации
г. Москва
Тел.: +7(965)294-81-29
E-mail: af8nas@ya.ru

Алексей Иванович Лоскот
старший инженер
17 отдел 137 военного представительства Министерства обороны Российской Федерации
г. Санкт-Петербург
Тел.: +7(905)206-21-80
E-mail: loskot@bk.ru

Андрей Иванович Дедуль
старший научный сотрудник
филиал ФБУ «46 ЦНИИ Минобороны России»
Адрес: Московская обл., г. Мытищи
Тел.: +7(903)287-73-19
E-mail: dedul@list.ru

Вячеслав Михайлович Исаев
доктор технических наук, профессор
первый заместитель директора
ФГУП «МНИИРИП»
Тел.: +7(916)980-32-37
Адрес: Московская обл., г. Мытищи
E-mail: ekb_isaev@mail.ru

В статье представлено моделирование эффектов энерговыделения в микрообъемах элементов субмикронных ИС при воздействии нейтронов. Экспериментально показано значительное влияние высокоэнергетичных нейтронов на современные высокоинтегрированные изделия микроэлектроники в части возникновения локальных радиационных эффектов, что требует пересмотра системы испытаний и требований к современным ИС к нейтронному воздействию.

The article presents a simulation of the effects of energy in micro-elements of submicron ICs exposed neutrons. Experimentally demonstrated a significant effect of high-energy neutrons in the modern highly integrated microelectronics in terms of localized radiation effects, which requires a review of the tests and requirements for advanced IC to neutron exposure.

Ключевые слова: нейтрон, интегральная схема, энерговыделение, локальные радиационные эффекты.

Keywords: neutron, integrated circuit, energy in micro-elements, local radiation effects.

Совершенствование характеристик бортовой электронной аппаратуры военной авиационной техники напрямую связано с развитием ее функциональных возможностей и, как следствие, широким использованием современных функционально-сложных изделий микроэлектроники и методов сбора и обработки информации. Современные электронные средства, входящие в состав бортовой электронной аппаратуры авиационной техники, как правило, реализуют различные функции за счет высокоскоростной обработки информации цифровыми методами. Это приводит к необходимости применения высокоинтегрированной и высокопроизводительной электронной компонентной базы (ЭКБ) для реализации подобных функций.

Электронные устройства современной авиационной техники включают в себя средства обработки информации (модули электронных вычислительных машин (ЭВМ) и хранения информации), связного оборудования, управления и диагностики исполнительных устройств, визуализации и ряда других. Необходимость функционирования этих устройств в реальном масштабе времени предъявляет повышенные требования к элементной базе, модулям и ЭВМ на их

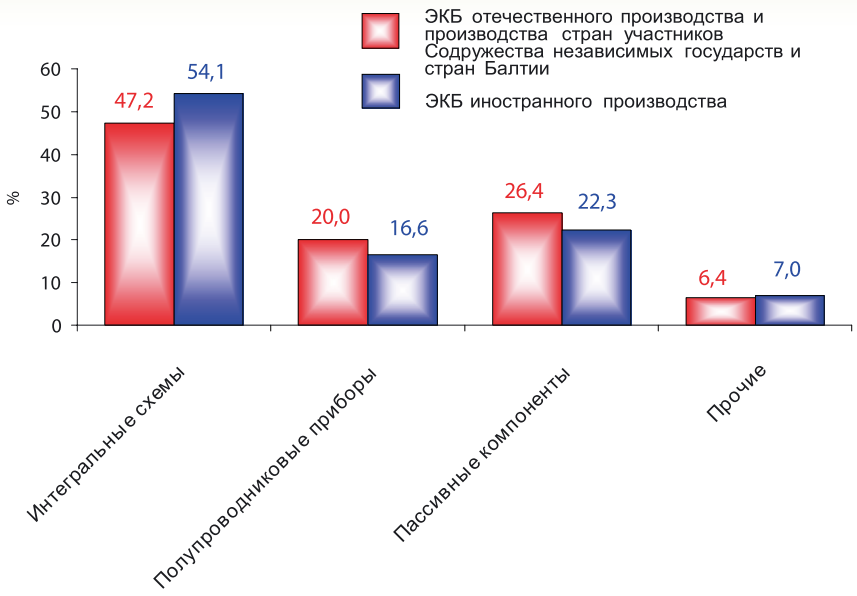


Рис. 1. Состав номенклатуры ЭКБ отечественного производства (стран Содружества независимых государств и стран Балтии) и иностранного производства, применяемой в бортовой электронной аппаратуре авиационной техники

основе. К сожалению, создание этих устройств полностью на базе отечественных изделий микроэлектроники не позволяет в полной мере реализовать требования из-за отсутствия быстродействующих схем оперативных и флэш запоминающих устройств (ОЗУ) большой емкости, аналого-цифровых (АЦП) и цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП). Поэтому в настоящее время приходится частично использовать интегральные микросхемы (ИС) иностранного производства [1] (*рисунок 1*).

Проведенный анализ выявил, что бортовая аппаратуры авиационной техники строится на современной элементной базе с субмикронными технологическими нормами. Между тем известно, что в подобной элементной базе имеют место локальные радиационные эффекты, вызванные эффектами от действия отдельных высокоэнергетичных ядерных частиц искусственного и естественного происхождений [2-4]. В настоящее время большое как в отечественной практике, так и «зарубежом» большое внимание уделено исследованиям локальных радиационных эффектов в ИС и полупроводниковых приборах, вызванных воздействием отдельных ядерных частиц: тяжелых заряженных частиц и высокоэнергетичных протонов космического пространства. Однако при реализации бортовой электронной аппаратуры авиационной техники необходимо предусмотреть меры, направленные на обеспечение стойкости при воздействии низкоинтенсивных высокоэнергетичных атмосферных нейтронов, способных вызывать подобные эффекты в полупроводниковых структурах современной элементной базы.

Фоновое нейтронное излучение является следствием космического излучения. Нейтроны в атмосфере являются вторичными частицами, которые образуются как из первичных частиц космического излучения (протонов, а-частиц, тяжелых ядер, возможно, фотонов и электронов), так и из вторичных частиц (вторичных протонов, вторичных нейтронов высоких энергий, р- и m-мезонов, фотонов и др.) (*рисунок 2*).

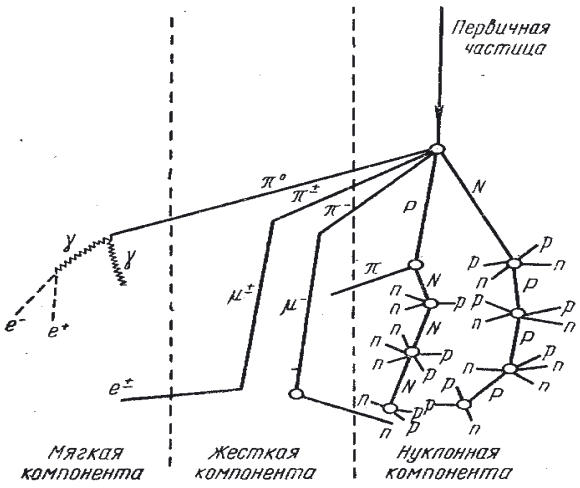


Рис. 2. Схема образования нейтронов и других вторичных частиц в атмосфере (пунктирными линиями разделены принятые в настоящее время компоненты космического излучения)

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

Первичная частица космического излучения при взаимодействии с ядрами воздуха может передать нейтрону значительную часть своей энергии. Экспериментально установлено [5], что в атмосфере имеются нейтроны с энергией во много сотен МэВ. Замедляясь в атмосфере, вследствие упругих и неупругих столкновений, нейтроны могут в конце концов достигнуть тепловых энергий. Таким образом, в атмосфере имеются нейтроны всевозможных энергий – от тепловых (порядка 0,025 эВ) до энергий первичных космических частиц.

Локальные радиационные эффекты в ИС при воздействии нейтронов возникают от вторичных ядерных частиц – продуктов ядерных взаимодействий, образующихся за счет двух основных механизмов: упругого и неупругого взаимодействия нейтронов с ядрами контрукционных материалов. Если столкновения упругие, то в соответствии с классической нерелятивистской механикой энергия атома отдачи T определяется как:

$$T = \frac{4 \cdot M_1 \cdot M_2}{(M_1 + M_2)^2} E \cdot \sin^2 \frac{\varphi}{2} \quad , \qquad (1)$$

где M_1 и M_2 – массы налетающей и покоящейся частиц;
E – энергия налетающей частицы;
φ – угол отдачи между направлениями движения частицы до и после столкновения.

Максимальная энергия $T_{макс}$, которая может быть передана при упругом рассеянии равна:

$$T_{макс} = \frac{4 \cdot M_1 \cdot M_2}{(M_1 + M_2)^2} E \, . \qquad (2)$$

Для большинства задач можно предполагать, что упругое рассеяние при энергиях ниже нескольких МэВ происходит по закону взаимодействия твердых шаров, что позволяет рассматривать однородное распределение ядер отдачи в системе центра масс. В предположении изотропного рассеяния спектр ядер отдачи определяется в виде:

$$\frac{dN}{dT} = \frac{1}{T_{макс}} \cdot [\eta(T) - \eta(T - T_{макс})], \qquad (3)$$

где η(T) является единичной ступенчатой функцией энергии ядра отдачи.
Аналогичную энергетику дает неупругое рассеяние нейтрона на атоме кремния. Единственное отличие заключается в спектральной характеристике первично-выбитого атома (ПВА). Если пренебречь возможностью возбуждения ПВА и считать, что в системе центра масс рассеяние будет изотропно, то интегральный и дифференциальный спектры могут быть оценены аналитически. В частности, плотность вероятности $p_n(T)$ и вероятность получения ПВА $P_n(T>E_o)$ с энергией T большей пороговой энергии переключения элемента E_o – при сделанных предположениях равна:

$$p_n(T) = \begin{cases} \left(\frac{2\pi \cdot E \cdot A_s}{A_s + A_n} \right)^2 \frac{A_s \cdot A_n}{(A_s + A_n)^2} - \\ 0. T > T_{\max} \end{cases}$$

$$- \pi^2 \left[T - \frac{E \cdot (A_s{}^2 + A_s A_n)}{(A_s + A_n)^2} \right]^2, T < T_{\max} \qquad (4)$$

$$P_n(T > E_o) = \begin{cases} 0, T_{\max} < E_o \\ 0.5 - \arcsin(x_n(E_o)) / \pi \, ; \end{cases} \qquad (5)$$

где $x_n(E_o) = \frac{2E_o \cdot}{T_{\max}} - 1$, A_{Si}, A_n – массы атома Si и нейтрона.

На *рисунке 3* представлены дифференциальный и интегральный спектры ПВА в случае неупругого рассеяния 14 МэВ нейтронов. Нетрудно заметить, что, несмотря на принципиальные различия в дифференциальных спектрах, интегральные спектры при упругом и неупругом рассеяниях очень близки. Таким образом, можно говорить о том, что за счет упругого и неупругого рассеяния 14 МэВ нейтронов в активных объемах элементах сверхбольших ИС будут иметь эффекты, пороговые значения энергий которых ниже 1.9 МэВ (точнее, менее 1.65 МэВ по эффектам объемной ионизации и 0.25 МэВ – по эффектам структурных повреждений).

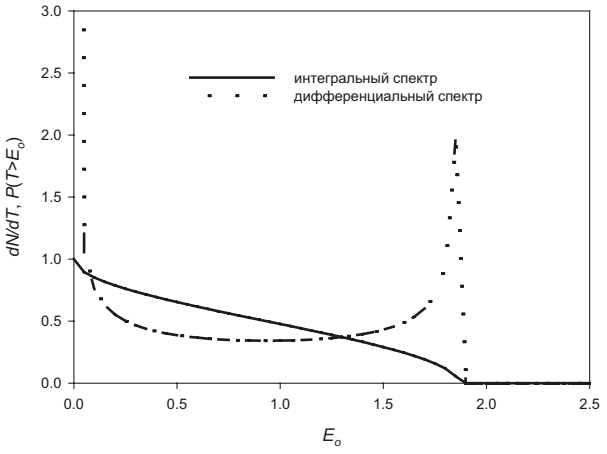


Рис. 3. Интегральный и дифференциальный спектры ПВА при неупругом рассеянии 14 МэВ нейтронов на атомах кремния

Полученные спектры относятся к энерговыделению в относительно большом объеме, т.е. в предположении, что в этом объеме частица ро-

дилась и в нем же она полностью потеряла энергию. Очевидно, что это не совсем корректно, так как возможны как рождения вторичной ядерной частицы за пределами микрообъема, так и частичный вылет частицы из микрообъема (*рисунок 4*). Поэтому при разработке моделей возникновения одиночных сбоев необходимо также учесть геометрический фактор.

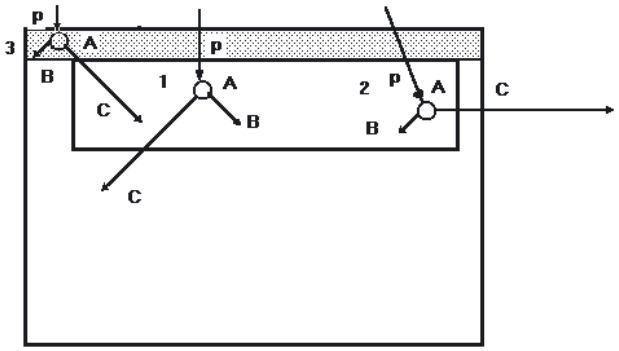


Рис. 4. Генерация локального заряда внутри чувствительного объема вторичными частицами

Оценку энерговыделения в чувствительном микрообъеме можно получить, если известно интегральное распределение для длин хорд $F(l)$ при воздействии ядерных частиц полностью проходящих через чувствительный микрообъем. Если микрообъем находится в однородном изотропном поле треков, длина которых подчиняется интегральному распределению $R(x)$, то интегральное распределение $P(s)$ длины сегмента s в пределах данного микрообъема определяется следующей формулой [6]:

$$P(s) = k \cdot \left[F(s) \cdot \int_s^\infty R(x)dx + R(s) \cdot \int_s^\infty F(l)dl \right], \qquad (6)$$

где k – нормирующий множитель, определяемый условием $P(0)=1$.

Интегральное распределение $R(x)$, в свою очередь, определяется дифференциальным распределением пробегов $r(x)$:

$$R(x) = \int_x^\infty r(z)dz \,. \qquad (7)$$

Дифференциальное распределение пробегов определяется через функцию $p_n(T)$, если известна связь между пробегами и энергией ядерной частицы:

$$r(r) = f_n(T(r)) \, dT(r) \Big/ dr \,. \qquad (8)$$

Интегральное распределение $F(x)$ длины сегмента в пределах данного микрообъема определяется параметрами чувствительного объема. Для большинства задач по оценке локальных радиационных эффектов чувствительный объем представляют в виде прямоугольного параллелепипеда, для которого получена следующая аппроксимация [7]:

$$F(x) = \begin{cases} \left(1 - \dfrac{2.37c}{1.8c + x_{\max}}\right) \cdot \left(\dfrac{x_{\max}^{3.8} - x^{3.8}}{x_{\max}^{3.8} - c^{3.8}}\right)^3 \cdot \left(\dfrac{c}{x}\right)^2, & x \ge c \\ 1 - \dfrac{2.37}{1.8c + x_{\max}} \cdot x, & x < c \end{cases}, \qquad (9)$$

где a, b, c – стороны прямоугольного параллелепипеда;

x_{max} – максимальная длина хорды для рассматриваемого объекта: $x_{\max} = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$.

В частности, дифференциальный и интегральный спектры тяжелых вторичных ядерных частиц – продуктов ядерных частиц, могут быть представлены в виде [6]:

$$p_n(T) = \begin{cases} 0, T < T_{\min} \\ 4\pi^2 \cdot E^2 \cdot C_b \cdot C_1 - \pi^2 [T - E \cdot C_b - E \cdot C_1]^2, T_{\min} < T < T_{\max} \\ 0, T > T_{\max} \end{cases}, \qquad (10)$$

где $C_b = \dfrac{A_n A_b}{(A_s + A_n)^2}$; $C_1 = C_b \dfrac{A_s \cdot A_c}{A_n \cdot A_b} \left[1 - \dfrac{\Delta Q}{E}\left(1 + \dfrac{A_n}{A_s}\right)\right]$;

$T_{\min} = E\left(\sqrt{C_b} - \sqrt{C_1}\right)^2$; $T_{\max} = E\left(\sqrt{C_b} + \sqrt{C_1}\right)^2$;

A_b, A_c – массы тяжелой и легкой ядерных частиц – продуктов ядерной реакции; ΔQ - энергия ядерной реакции.

Среди возможных ядерных реакций в кремнии при воздействии 14 МэВ нейтронов максимальное энерговыделение имеет место для реакции $Si^{28}(n,\alpha)Mg^{25}$. Поэтому в дальнейшем остановимся на ней более подробно. На *рисунке 5* представлены интегральный и дифференциальный спектры для ионов магния, рассчитанные в рамках указанных приближений.

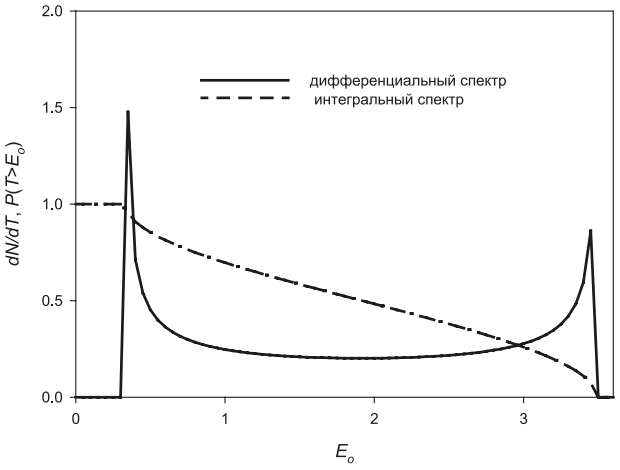


Рис. 5. Интегральный и дифференциальный спектры атомов Mg^{25} при ядерной реакции 14 МэВ нейтронов на атомах кремния

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

Таблица 1
Результаты экспериментальных исследований ИС операционного усилителя 1484УД1 при воздействии 14 МэВ нейтронов

Номер ИС	Выход нейтронов	Расстояние до мишени, см	Флюенс нейтронов, нейтрон/см^2	Число «иголок»	Сечение сбоев при пороге 28 мВ, ИС/см^2
№18	$8{,}1\cdot10^{12}$	6	$1{,}8\cdot10^{10}$	13	$7{,}3\cdot10^{-10}$
№13	$8{,}0\cdot10^{12}$	5	$2{,}6\cdot10^{10}$	29	$1{,}1\cdot10^{-9}$
№3	$8{,}0\cdot10^{12}$	4	$4{,}0\cdot10^{10}$	36	$9{,}3\cdot10^{-10}$

Интегральный и дифференциальный спектры энерговыделения атомов магния в микрообъеме, представляющим собой куб с длиной ребра равного 3 мкм, представлен на рисунке 6. Нетрудно заметить, что исходный спектр очень изменился за счет влияния геометрических факторов. В нем более значительную долю стали занимать события с меньшими значениями энерговыделения в микрообъеме. Действительно, в исходном спектре количество событий с энергиями более 1 МэВ составляло почти 70%, а стало 27%, т.е. уменьшилось почти в 3 раза. Таким образом, геометрический фактор существенно искажает картину распределения энергии в неограниченном объеме.

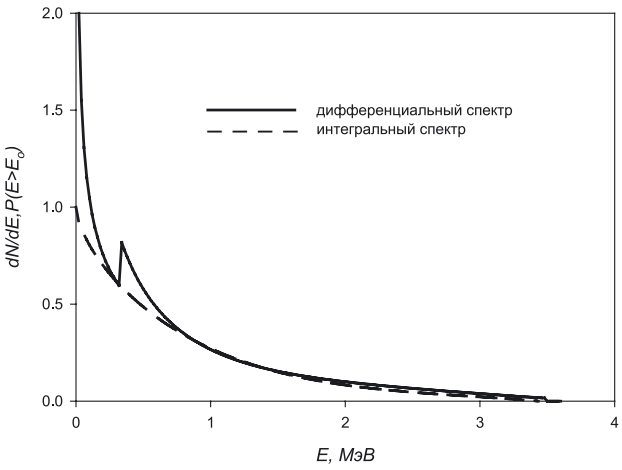


Рис. 6. Интегральная и дифференциальная функции энерговыделения атомов Mg25 при ядерной реакции 14 МэВ нейтронов на атомах кремния в кубе с размером стороны равной 3 мкм

Таким образом, воздействие нейтронов на ИС может стать результатом появления в них локальных радиационных эффектов (одиночных сбоев, тиристорных эффектов, кратковременных импульсов ионизационной реакции («иголок») и т.д.). Результаты экспериментальных исследований на испытательных комплексах на основе генераторов нейтронов показывает значительное влияние их на ИС [8]. Так, например, при испытаниях операционного усилителя 1484УД1У на генераторе 14 МэВ нейтронов, были зарегистрированы выходные импульсы («иголки») с амплитудой более 10 мВ (*таблица 1* и *рисунок 7*).

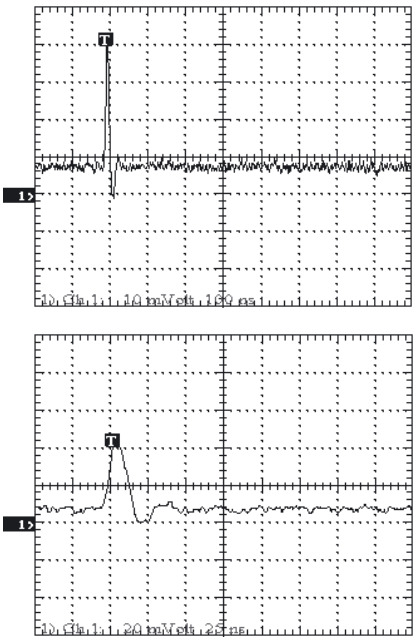


Рис. 7. Типовые осциллограммы выходной реакции операционного усилителя 1484УД1У в поле 14 МэВ нейтронов: а) 10 мВ/дел., 100 нс/дел.; б) 20 мВ/дел., 25 нс/дел.

Литература

1. Криницкий А.В. Воздействие отдельных ядерных частиц на интегральные схемы // Современная электроника. 2008. №4. С. 60-63.

2. Holmes-Siedle A., Adams L. Handbook of Radiation Effects // Oxford University Press. – 1993. – 479 p.

3. Oldham T. How device scaling affects single event effects sensitivity // IEEE NSREC. Short Course: «Radiation effects in advanced commercial technologies: how design scaling has affected the selection of speceborne electronics». – Monteray, California, USA. – 2003. – PP. IV1-IV66.

4. Беляков В.В., Чумаков А.И., Никифоров А.Ю., Першенков В.С., Скоробогатов П.К., Согоян А.В. Расчетно-экспериментальные методы прогнозирования эффектов одиночных сбоев в элементах современной микроэлектроники // Микроэлектроника. 2003. Т.32. №2. С. 134-151.

5. Горшков Г.В. и др. Естественный нейтронный фон атмосферы и земной коры. М.: Атомиздат, 1966. 237 с.

6. Чумаков А.И. Действие космической радиации на ИС. М.: Радио и связь, 2004. 320 с.

7. Messenger G., Ash M. Single event phenomena // Chapman and Hall. – 1997. – 368 p.

8. Баранов С.В., Васелегин Б.В., Осипенко П.Н., Чумаков А.И., Яненко А.В. Моделирование локальных радиационных эффектов при воздействии высокоэнергетичных нейтронов в тестовых образцах СБИС, изготовленных по различным технологиям // Микроэлектроника. 2008. Т. 37. №1. С. 52-59.

УДК 548.1, 621.3

МОНИТОРИНГ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ТЕХНОЛОГИИ «ALOX™»

Олег Рафаилович Никитин
заслуженный деятель науки РФ
доктор технических наук, профессор
заведующий кафедрой
Владимирский государственный университет
Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87
Тел.: +7(4922)34-33-33

Константин Васильевич Скворцов
заведующий лабораториями
Владимирский государственный университет
Адрес: 600024, г. Владимир, ул. Горького, д. 87
Тел.: +7(4922)47-99-84, 47-96-73
k-skv@yandex.ru

Алексей Викторович Осин
кандидат технических наук
Владимирский государственный университет
Адрес: 600024, г. Владимир, ул. Горького, д. 87
Тел.: +7(4922)47-99-84, 47-96-73

Михаил Всеволодович Руфицкий
доктор технических наук, профессор
Владимирский государственный университет
Адрес: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87
Тел.: +7(4922)34-00-99
E-mail: mvr59@mail.ru

Тамара Федоровна Рау
кандидат физико-математических наук, доцент
Владимирский государственный гуманитарный университет
Адрес: 600024, г. Владимир, п-т Строителей, д. 11
Тел.: +7(4922)36-86-04

Валерий Георгиевич Рау
доктор физико-математических наук, профессор
Владимирский государственный университет
Адрес: 600024, г. Владимир, ул. Горького, д. 87
Тел.: +7(4922)47-99-84, 47-96-73
vgrau@mail.ru

Проведены экспериментальные исследования химического, рентгенофазового и электронно-микроскопического анализа структуры реальной поверхности алюмооксидов, получаемых при производстве подложек для светодиодов по технологии «ALOX™». Создана структурная модель поверхности на основе нанокластеров $(Al_2O_3)n$, полученных в компьютерном эксперименте Полученные результаты могут быть использованы при проектировании радиотехнических систем.

Experimental studies of chemical, X-ray and electron microscopic analysis of the structure of the real surface alumina obtained during the production of substrates for LED technology «ALOX™». Create a structural model of the surface-based nanoclusters $(Al_2O_3)n$, obtained in computer simulations. The results can be used in design of radio systems.

Ключевые слова: светодиоды, технология «ALOX™», алюмооксид, нанокластер.
Keywords: LEDs, the «ALOX™» technology, alumina, nanoclusters.

Список сокращений: ЦКП – центр коллективного пользования; РЭМ – растровый электронный микроскоп; АСМ – атомно-силовой микроскоп.

С целью мониторинга технологического процесса производства алюмооксидных подложек нами проведены экспериментальные исследования химического, рентгенофазового и электронно-микроскопического анализа структуры реальной поверхности алюмооксидов, получаемых, по технологии «ALOX™». Основные характеристики подложки приведены ниже:

STA01 ALOX™ подложка – это электрически изолированная алюминиевая подложка–радиатор для монтажа светодиодов LIXEON Rebel.

STA01 ALOX™ подложка объединяет в себе высокую надежность и продолжительность жизни светодиодов с простотой монтажа, и общими требованиями к освещению.

Собственная электрическая изоляция по-

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

средством анодирования теплопроводящих слоев не требующая дополнительной изоляции.

ALOX™ подложка обеспечивает превосходные тепловые качества, основанные на интегрированной технологии, металл, диэлектрик и диэлектрик-металл в прямом соединении, без использования третьего клейкого материала (полимера). Теплопроводность диэлектрика ALOX™ – T = 10 Вт/м·К.

Изготавливается без операций склеивания и сверления.

Проведены также модельные теоретические расчеты распределения температуры по алюмооксидному материалу и создана структурная модель поверхности на основе нанокластеров $(Al_2O_3)n$, полученных в компьютерном эксперименте. Ниже приводятся результаты этих исследований.

1. Электронная микроскопия
(рисунки 1 а-д)

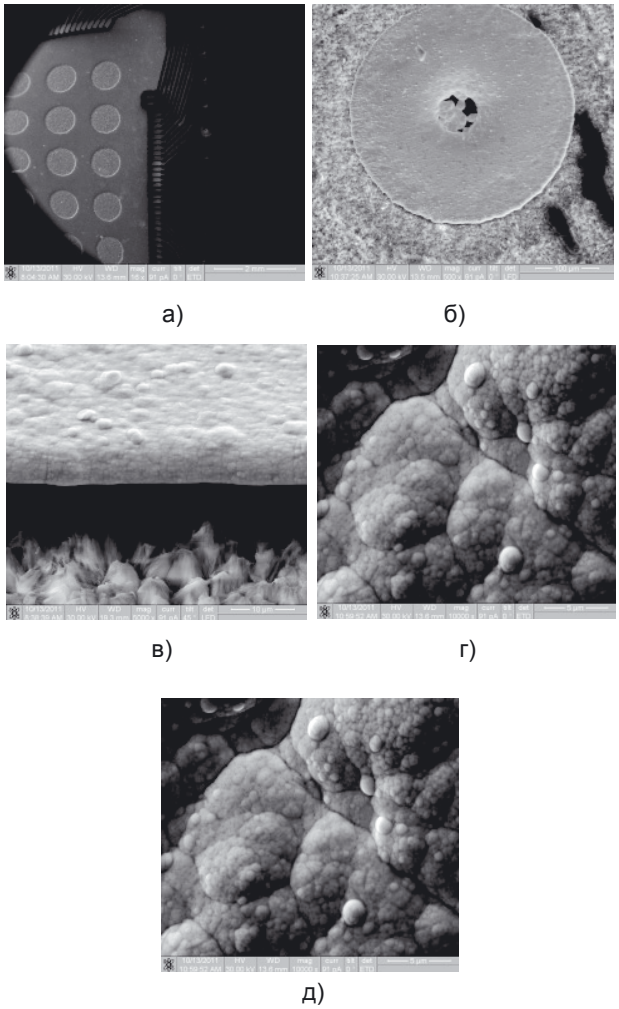


Рис. 1. Элементы печатных плат (а) для светодиодов в деталях: контакт (б), на краю контакта (в), структура поверхности контакта (г), появление нанометровых дефектов на поверхности контакта (д).

Наиболее информативными являются *рисунок 1в* и *рисунок 1г*. На первом из них видна структура края контакта (сверху) и структура не пористого алюмооксидного слоя (снизу), явно имеющая вид относительно крупных кристаллитов (масштаб 1 мкм). На последнем явно видны структурные дефекты нанометровых размеров, появляющиеся на контакте при масштабе 1 мкм.

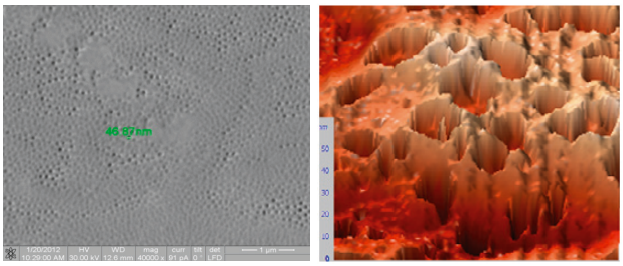


Рис. 2. Электронная РЭМ (слева) и АСМ (справа) микроскопия поверхности пористого анодированного оксида алюминия, полученного по технологии «ALOXTM».

Электронная микроскопия (растровый электронный микроскоп) поверхности анодированного алюминия, полученного по технологии «ALOX™», показана на *рисунке 2*.

Такая пористая среда имеет хорошую теплоотдачу и, естественно, используется в качестве основы производства подложек для светодиодов. Для выяснения состава и структуры поверхности подложки нами был проведен химический и рентгенофазовый анализ. Основным являлся вопрос о кристаллическом или аморфном состоянии алюмооксида, образующегося на поверхности.

2. Химический анализ

Химический анализ был проведен на волновом рентгенофлуоресцентном спектрометре последовательного анализа «ARL ADVANT'X» (ЦКП ВлГУ). Распечатка данных результатов химического анализа приведена на *рисунке 3*.

3. Рентгенофазовый анализ (РФА)

Результаты проведения РФА на дифрактометре D8 ADVANCE (Bruker AXS, Germany, ЦКП ВлГУ) показали, что если мы имеем дело с поликристаллическим состоянием вещества, то основная фаза должна принадлежать кристаллам Al_2O_3. Тем не менее, дифрактограмма поверхности подложки, приведенная на *рисунке 4*, не дала однозначного ответа на вопрос о структуре поверхности и степени ее кристалличности. Очевидно, что в малых углах рассеяния хорошо фиксируется аморфная фаза (либо гелевое состо-

```
                    VLADIMIR STATE UNIVERSITY - RU

C:\UQ5\USER\ARL\JOB\JOB.019    2012-01-20
AlOx          52

ARL ADXP-2399 Rh 60kV LiF200 PET AX03 LiF220          Method   :
X_UQ_ElMa
C:\UQ5\USER\ARL\Appl\AnySample.kap 2011-07-14
Calculated as :  Oxides       Matrix (Shape & ImpFc) :  1|Teflon
X-ray path    =  Vacuum       Film type      = No supporting film
Case number   =  0  All known
Eff.Diam.     = 14.0 mm       Eff.Area       = 153.9 mm2
KnownConc     =  0    %
Rest          =  0    %                      Viewed Mass    =
5644.800 mg
Dil/Sample    =  0                           Sample Height = 25.0
mm

          Compound m/m%   StdErr  | El     Weight%  StdErr
          ------ -------- ------- | --     -------- -------
          Al2O3   99.64    0.04   | Al       52.72    0.02
          MgO      0.0998  0.0050 | Mg        0.0602  0.0030
          Cl       0.0424  0.0021 | Cl        0.0424  0.0021
          SO3      0.0422  0.0021 | Sx        0.0169  0.0008

          CuO      0.0415  0.0021 | Cu        0.0332  0.0017
          TiO2     0.0284  0.0014 | Ti        0.0170  0.0009
          Fe2O3    0.0239  0.0012 | Fe        0.0167  0.0008
          Na2O     0.0189  0.0036 | Na        0.0140  0.0026
          Ga2O3    0.0162  0.0008 | Ga        0.0121  0.0006

          V2O5     0.0130  0.0012 | V         0.0073  0.0007

KnownConc= 0                    REST= 0                    D/S= 0
Sum Conc's before normalisation to 100% :   63.9 %
Total % stripped Oxygen: 47.040
```

Рис. 3. Распечатка данных химического анализа

яние) с присутствием небольших пиков, характеризующих кристаллическую фазу. В больших углах положение пиков соответствуют кристаллической фазе алюминиевой подложки.

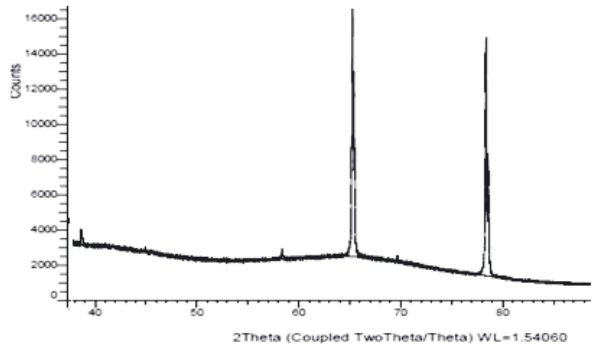


Рис. 4. Дифрактограмма поверхности анодированного алюминия

Основным выводом, к которому привели эти эксперименты, является утверждение о наличии на поверхности алюминиевой подложки аморфного состояния Al_2O_3 либо в молекулярном, либо структурированном виде алюмогеля из кластеров $(Al_2O_3)n$.

4. Модельное наноструктурное исследование поверхности

Учитывая результаты рентгенофазового анализа, структурное моделирование нанопорошка на анодированной поверхности алюминия было проведено на основе расчета геометрии кристаллических зародышей корунда, методом послойного роста и кластеризации разбиений периодического пространства, разработанным нами ранее [3, 4]. Пусть в кристаллической ячейке трехмерного периодического пространства задана упаковка многогранников или, в частном случае, разбиение пространства на многогранники. В качестве таких многогранников могут выступать, например, поликубы, используемые в методе дискретного моделирования упаковок в молекулярных кристаллах или молекулярные кластеры [4]. Выберем один или несколько многогранников в качестве исходного множества – затравки. На первом шаге добавим к затравке ее первое координационное окружение – совокупность многогранников, являющихся соседними хотя бы для одного из многогранников затравки. Например, соседними, можно считать многогранники, имеющие хотя бы одну общую грань. Затем описанная процедура повторяется многократно, используя на каждом новом шаге в качестве затравки построенную на предыдущем шаге совокупность многогранников. Во всех случаях при увеличении номера слоя обнаруживается общая закономерность: постепенное формирование некоторого феноменологического многогранника (многоугольника в плоском случае), дальнейшее увеличение размеров которого в компьютерном эксперименте происходит с сохранением его формы.

Динамика этого процесса в трехмерном случае демонстрируется на *рисунке 5*, где в упаковочном пространстве $S32_12_1^2$ [3] (код разбиения 753667345767) образовался феноменологический 14-гранник [3].

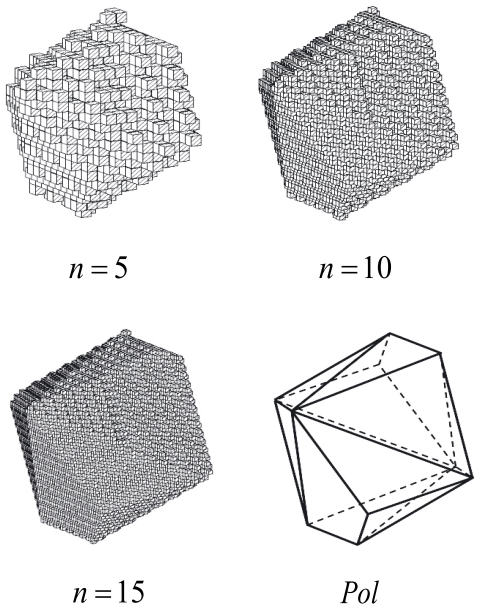


Рис. 5. Формирование многогранника роста в разбиении пространства на поликубы

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

Использована методика многоцентрового роста наноструктур в моделях со случайным распределением во времени центров ненаправленного роста в объеме среды (модель Колмогорова), результаты расчетов в соответствии с которой представлены на *рисунке 6*.

Проблемы построения модели роста отдельного молекулярного кластера $(Al_2O_3)n$ и результаты моделирования самих молекул подробно рассмотрены в [3].

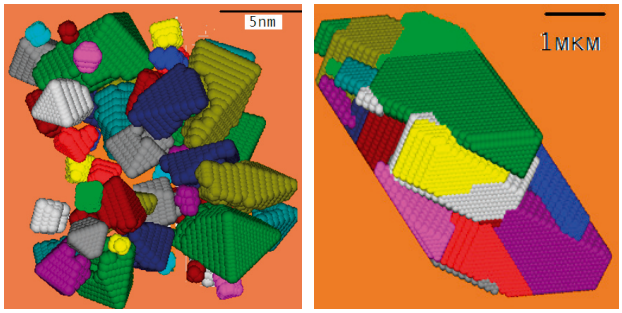


Рис. 6. Нанокластеры $(Al_2O_3)n$ (ненаправленный рост в среде) в компьютерной модели

Появление на поверхности алюмооксида пористой структуры потребует дальнейших исследований в рамках предложенных моделей. Возможно включение дефектов роста, либо учет особенностей границ нанокластеров при согласованном направленном росте на поверхности. Возможна ситуация, при которой основная среда, состоящая из хаотически распределенных молекул Al_2O_3, содержит «вкрапления» нанокластеров. Наконец, еще один вариант связан с моделированием алюмогеля. Этот вариант рассмотрен в [5].

Результаты, описанные в данной статье, получены при проведении НИР по теме «Разработка прикладного программного обеспечения для конструирования светодиодных подложек, производимых по технологии «ALOX™» с учетом тепловых процессов» в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы», государственный контракт №07.514.11.4061 от 13.10.2011 г. на выполнение научно-исследовательских работ. Эксперименты проведены на оборудовании ЦКП ВлГУ.

Литература

1. http:// www.led-e.ru
2. http://rusalox.ru/product-alox.html
3. Рау В.Г., Журавлев В.Г., Рау Т.Ф., Малеев А.В. Морфогенез кристаллических структур в методе дискретного моделирования упаковок // Кристаллография. 2002. Т. 47, №5, С.793-796.
4. Rau V.G., Pugaev A.A., Rau T.F., Maleev A.V. // Crystallography Reports. 2009. V. 54. No. 7. P. 28.
5. Рау В.Г., Руфицкий М.В., Скворцов К.В., Горшков К.А., Рау Т.Ф., Решетняк В.В. Модели нанокластеров алюмооксида для технологических процессов // Журнал структурной химии. 2012.

УДК 004.657

МЕТОДИКА РЕКУРРЕНТНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЕКТИРОВАНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

Сергей Юрьевич Дмитриев
старший инженер
Серпуховской завод «Металлист»
Адрес: 142200, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Луначарского, д. 32
Тел.: +7(916)800-43-98

Анатолий Васильевич Гуляев
директор Департамента вооружения
Министерства обороны РФ

В статье изложены процедуры методики рекуррентного оценивания информационных параметров системы управления технологическим проектированием элементов военной техники, которая основана на регрессионной настраиваемой модели, вероятностном подходе и методе статистических испытаний.

The article presents procedure of recursive estimation methods of information parameters control system for the design of elements of military equipment, which is based on a custom regression model, a probabilistic approach and the method of statistical tests.

Ключевые слова: технологическое проектирование, информационные параметры, система управления, регрессионная настраиваемая модель.

Keywords: technological design, informational parameters, control system, customizable regression model.

Современное инновационное производство характеризуется непрерывным изменением целей управления, изменчивостью внешних и внутренних условий его функционирования. Поэтому требования к управлению проектированием элементов военной техники (ЭВТ) постоянно дополняются и уточняются. Тогда управление проектированием может характеризоваться показателями вариативности (изменения выбора вариантов и способов управления) как технологический процесс сбора, обработки, хранения и представления конструкторской информации. Следовательно, процесс управления представляет собой целенаправленное информационное действие, эффективно реализующее идею и замысел конструктора по проектированию наилучшего варианта ЭВТ в условиях частичной неопределенности исходной информации. Для эффективного решения задачи технологического проектирования необходимо построить модель данной предметной области и соответствующую ей информационную модель системы управления на основе функционально-целевого подхода. Формальные рекуррентные модели предметной области основаны на иерархической структуре задач управления проектированием, которые являются организованной совокупностью процедур (шагов) проектирования различных ЭВТ, нормирования и экономического планирования. Основой построения автоматизированной системы управления технологическим проектированием ЭВТ являются математические модели, в процессе синтеза которых возникают проблемы, связанные с недостатком априорной информации о системе управления. Поэтому предлагается рекуррентное оценивание параметров математической модели управления проектированием ЭВТ.

В настоящее время автоматизированные системы управления (АСУ) технологическим проектированием представляют в виде регрессионно-авторегрессионных дискретных моделей типа «вход – выход». Общий вид таких моделей имеет вид [1, 2]

$$y^s = \sum_{i=1}^{K_1} a_i^s y^{s-i} + \sum_{i=1}^{K_2} b_i^s u^{s-i}, \qquad (1)$$

где y^s – выходной параметр элемента проектирования в момент времени s;

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

u^{s-i} – входное информационное воздействие на элемент проектирования;
$\{a_i\},\{b_i\}$ – множества входных параметров, зависящих от дискретного времени s;
K_1 и K_2 – целочисленные параметры, определяющие ход процесса управления проектированием и количество входных информационных воздействий на элемент проектирования.

Известны различные подходы к построению модели (1). При этом либо полагают, что K_1 и K_2 известны по опытным данным, либо ставится задача при заданных K_1 и K_2 подобрать параметры модели (1) таким образом, чтобы она как можно точнее описывала выходной параметр y^s реального элемента проектирования. Обычно, точное значение выходного параметра y^s недоступно для измерения и вместо него проектировщику приходится оперировать с $q^s = y^s + \xi^s$, где ξ^s – абсолютная случайная погрешность выходного параметра элемента, полученная при его измерении на соответствующем шаге проектирования. В частном случае, когда модель (1) может быть построена в классе моделей с постоянными параметрами, то для оценки параметров используют метод стохастической аппроксимации [1].

Применение этого метода приводит к рекуррентным алгоритмам идентификации с убывающими коэффициентами. При моделировании системы управления технологическим процессом проектирования приходится оперировать переменными параметрами, так как степень неопределенности существенно различна для задач управления действующим технологическим процессом и проектируемым. Отличие может возникать из-за неточного знания параметров элемента и системы управления проектированием или их «дрейфа», либо из-за неучтенных при моделировании, но реально присутствующих в системе быстро меняющихся во времени различных возмущений.

В работе [1] указывается на возможность использования модифицированных алгоритмов стохастической аппроксимации для оценки нестационарных (дрейфующих) параметров, в частности, двухуровневых с настраиваемыми коэффициентами. При построении алгоритмов стохастической аппроксимации, дающих приемлемую точность оценивания на выборках фиксированного размера, необходимо располагать информацией о вероятностных характеристиках ξ^s. Эта информация заключена в плотности распределения случайной погрешности $f(\xi)$. Зачастую вид функции $f(\xi)$ неизвестен и возникает необходимость его оценивания. Однако подобные алгоритмы могут не давать приемлемых результатов [1]. Поэтому необходимо разработать такую методику, следуя которой можно построить процедуры оценивания параметров, не требующие априорной информации о статистических свойствах погрешности ξ^s. Ввиду того, что параметры исследуемой системы являются нестационарными, т.е. среднее количество событий, появляющихся в единицу времени на различных не пересекающихся между собой интервалах времени, является величиной не постоянной, то для получения положительных результатов следует применить регрессионную настраиваемую модель.

Тогда по аналогии с (1) уравнение настраиваемой модели имеет вид:

$$\bar{y}^s = \sum_{i=1}^{K_1} \bar{a}_i^s q^{s-i} + \sum_{i=1}^{K_2} \bar{b}_i^s u^{s-i}, \qquad (2)$$

где $\bar{y}^s$ – выходной параметр элемента проектирования;
u^{s-i} – входное информационное воздействие на элемент проектирования;
q^s – измеряемый выходной параметр элемента проектирования.

Введем обозначения: $n = K_1 + K_2$;
$c^s = \left(a_1^s,...,a_{K_1}^s;\ b_1^s,...,b_{K2}^s\right)$ – вектор параметров;
$\bar{c}^s = \left(\bar{a}_1^s,...,\bar{a}_{K_1}^s;\ \bar{b}_1^s,...,\bar{b}_{K2}^s\right)$ – вектор оценок параметров;
$e^s = y^s - \bar{y}^s$ – расхождение между выходными параметрами элемента; $\varepsilon^s = q^s - y^s$ – измеренное значение расхождения. Очевидно, что расхождение e^s можно получить так:

$$e^s = \varepsilon^s + \xi^s = \left(c^s - \bar{c}^s\right)x^s + \xi^s = \Delta c^s x^s + \xi^s, \qquad (3)$$

где $x^s = \left(y^{s-1},...,y^{s-K_1};u^{s-1},...,u^{s-K_2}\right)$ – вектор наблюдений.

Из (3) видим, что измеренное значение расхождения e^s на каждом шаге проектирования определяется значением погрешности ξ^s измерения выходного параметра и наличием разности Δc^s между векторами $\tilde{n}^s$ и $\bar{c}^s$. Целесообразно заменить значение e^s величиной ε^s, что сделает процедуру оценивания независимой от свойств помех. Поскольку ε^s неизвестно, то воспользуемся оценкой $\bar{\varepsilon}^s = e^s - \bar{\xi}^s$, где $\bar{\xi}^s$ – оценка погрешности, значение которой следует определять путем обработки измерений параметров «входа-выхода» элемента проектирования методом математической статистики. Для определения оценки $\bar{\xi}^s$ воспользуемся методом максимума правдоподобия, в соответствии с которым следует выбирать $\bar{\xi}^s$ из условия максимума плотности распределения $f(\xi)$. Информацию о $f(\xi)$ можно получить на основе статистической обработки выборочных значений погрешности

непараметрическим методом оценивания плотности вероятности случайной величины по ее выборочным значениям [1]. Пусть имеется выборка объемом N значений случайной величины ξ. Тогда оценка плотности ее распределения $\bar{f}(\xi)$, задаваемая непараметрически, определяется:

$$\bar{f}(\xi)=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\Phi\left(\bar{\xi}-\xi_i\cdot\beta_i\right), \quad (4)$$

где $\Phi(\cdot)$ – функция погрешности;

$\bar{\xi}$ – среднее значение (оценка математического ожидания) погрешности ξ;

β_i – коэффициенты размытости функции, выражающие степень доверия к i-му измерению погрешности, т.е. чем меньше β_i, тем «увереннее» используется i-е измерение.

Поскольку среднее значение $\bar{\xi}$ неизвестно, то оно заменяется оценкой

$$\bar{\bar{\xi}}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\bar{\xi}_i\,. \quad (5)$$

Для работы алгоритма с выборками большого объема, а также для удобства использования алгоритма в «реальном времени» выражениям (4) и (5) следует придать рекуррентную форму:

$$\bar{f}(\xi)=\frac{1}{N}\sum_{i=S-N-1}^{S-1}\Phi\left(\bar{\bar{\xi}}^{s-1}-\bar{\xi}_i\cdot\beta_i\right); \quad (6)$$

$$\bar{\bar{\xi}}^{s}=\frac{N-1}{N}\bar{\xi}^{s-1}+\frac{1}{N}\bar{\xi}^{s-1}. \quad (7)$$

Так как оценки в этом случае становятся «скользящими», то $\bar{\xi}^s$ можно получить, имея выражение для $\bar{f}(\xi)$. Поэтому в качестве $\bar{\xi}^s$ следует выбирать величину

$$\bar{\xi}^s=\bar{f}\left(e^s\right)\cdot e^s, \quad (8)$$

что обеспечивает выполнение очевидного требования $0\le\left|\bar{\xi}\right|\le\left|e^s\right|$.

Следовательно, получим следующие выражения:

$$e^{s+1}=\bar{c}^s-\Gamma^s X^s\bar{\varepsilon}^s; \quad (9)$$

$$\bar{\varepsilon}^s=e^s-\bar{\xi}^s; \quad (10)$$

$$\bar{f}(\xi)=\left[\frac{1}{N}\sum_{i=S-N-1}^{S-1}\Phi\left(\bar{\bar{\xi}}^{s-i}-e^s\beta_i\right)\right]e^s; \quad (11)$$

$$\bar{\bar{\xi}}^{s}=\frac{N-1}{N}\bar{\bar{\xi}}^{s-1}+\frac{1}{N}\bar{\xi}^{s-1}. \quad (12)$$

Тогда основные процедуры методики состоят в следующем:

- измеряется последовательность выходных параметров элемента q^s;
- вычисляется расхождение измеренного значения выходных параметров элемента с его прогнозом, полученным по настраиваемой модели;
- значение расхождения e^s используется для вычисления оценки погрешности $\bar{\xi}^s$ путем обработки измерений входных и выходных параметров элемента;
- полученная оценка погрешности $\bar{\xi}^s$ по выражению (10) позволяет вычислить оценку расхождения выходных параметров модели и элемента $\bar{\varepsilon}^s$;
- корректируются значения компонент вектора оценок параметров для следующего шага;
- полученная на этом шаге оценка $\bar{\xi}^s$ по выражению (12) позволяет вычислить оценку среднего значения $\bar{\bar{\xi}}^{s+1}$ для следующего шага;
- вычисляется $\bar{y}^{s-1}$ компонента вектора x^s для следующего шага.

Для того, чтобы использовать выражения (9-12) необходимо:

- определить метод выбора матрицы коэффициентов $\left\{\Gamma^s\right\}$, где $S=(1,\ldots,n)$, обеспечивающей необходимую инерционность алгоритма;
- выбрать число N;
- задать либо набор элементов вектора $(\beta_1,\ldots,\beta_N)$, либо правило определения этого набора в том случае, когда он зависит от времени.

В качестве матрицы $\left\{\Gamma^s\right\}$ выбирается диагональная матрица, элементы которой определяются по отношению

$$\gamma_{ii}=\left|\bar{c}^s\right|\Big/\sum_{i=1}^{n}\left|\bar{c}_i^s\right| \quad (13)$$

и удовлетворяют условию $\sum_{i=1}^{n}\gamma_{ii}=1$.

Выбор $\left\{\Gamma^s\right\}$ в таком виде соответствует естественному предположению о том, что относительное влияние отдельных компонент вектора $\bar{c}^s$ на выходной параметр модели в s-м шаге пропорционально их относительной величине с учетом коэффициентов чувствительности. Роль таких коэффициентов в данном случае играют элементы вектора X^s. В таком случае может оказаться эффективной замена вектора коэффициентов чувствительности настраиваемой модели на нормированный эквивалент вида

$$X^s\Big/\sum_{i=1}^{n}\left|X_i^s\right|.$$

Величина N определяет консервативность алгоритма методики. Она тем больше, чем больше N.

Поэтому выбор N определяется поиском компромисса между восприимчивостью алгоритма к меняющимся условиям внешней среды и защищенностью от случайных выбросов значений $\bar{\xi}^s$. Коэффициенты β_i можно выбрать так, чтобы со-

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

блюдалось условие $\beta_i \geq \beta_{i+1}$. В том случае, если желательно выбрать β_i функциями времени, то целесообразно обеспечить их плановое уменьшение до 1, в то время как на начальной стадии работы алгоритма значения β_i могут быть больше 1, поскольку вместо значения ξ^s используется оценка $\overline{\xi}^s$. Следовательно, вектор оценок входных параметров модели можно представить следующим образом:

$$\overline{c}^{s+1} = c^s - \rho \frac{\left|\overline{c}^s\right|}{\sum_{i=1}^{n}\left|\overline{c}_i^s\right|} \cdot \frac{X^s}{\sum_{i=1}^{n}\left|X_i^s\right|} \cdot \overline{\varepsilon}^s, \qquad (14)$$

где

$$\overline{\varepsilon}^s = e^s - \overline{\xi}^s; \quad \overline{\xi}^s = \left[\frac{1}{N}\sum_{i=S-N-1}^{S-1}\Phi\left(\overline{\xi}^i - e^s\beta_i^s\right)\right]e^s; \qquad (15)$$

ρ – оператор, преобразующий вектор $\left|\overline{c}^s\right| \Big/ \sum_{i=1}^{n}\left|\overline{c}_i^s\right|$ в диагональную матрицу;

$\left|\overline{c}^s\right|$ – вектор, составленный из абсолютных значений компонент вектора $\overline{c}^s$.

В качестве элементов y^i вектора X^s следует использовать результаты наблюдений g^i и изменить g^i на оценку $\overline{y} = q^i - \overline{\xi}^i$, где начальные условия имеют вид: $\overline{\xi}^0 = \overline{\xi}_0$; $\overline{c}^0 = \overline{C}_0$.

Таким образом, рассмотрение сущности рекуррентного оценивания позволило перейти от регрессионно-авторегрессионной математической модели к настраиваемой модели, позволяющей найти входные и выходные значения параметров на основе использования вероятностного подхода метода статистических испытаний. Важным является вывод, что на процесс оценивания оказывает влияние лишь случайная погрешность, определяемая факторами внешней среды и случайными отклонениями состояния системы управления. Информация о характере закона распределения погрешности и его начального и центральных моментов может быть достаточной для повышения качества и эффективности управления технологическим проектированием ЭВТ.

Литература

1. Жданов В.С. Статистические методы проектирования автоматизированных систем централизованного контроля и управления. М.: Финансы и статистика, 2007. 64 с.

2. Основы проектирования информационно-управляющих систем / Под ред. Р.В. Мубаракшина. М.: Изд. МАИ, 2009. 432 с.

УДК 535.8:681.3:771.46

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ ФИЛЬТРА ЧАСТИЦ В ЗАДАЧЕ НАВИГАЦИИ ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА

Ринат Наилевич Садеков
кандидат технических наук, доцент
докторант
филиал Военной академии РВСН
им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(926)392-03-92 E-mail: sadekovlar@mail.ru

Артем Геннадьевич Букин
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: bukin.artem@gmail.com

Сергей Владимирович Мальцев
преподаватель
факультет ВМК МГУ им. Ломоносова
Адрес: 119991, Москва, Ленинские горы, МГУ, д. 1, стр. 52
Тел.: +7(495)939-30-10
E-mail: maltsev@newmail.ru

В статье рассматривается простейший алгоритм навигации и картографирования на основе фильтра частиц. Приводятся математические модели движения объекта, соотношения описывающие пеленг ориентиров, расчет весов частиц и правила для «перезапуска» выборки. На основе библиотеки SLAM программы Matlab разработана программа моделирования работы фильтра частиц. В конце статьи приводится результаты создания макета позволяющего отрабатывать технологию навигации и картографирования.

The article deals with the simplest navigation and mapping algorithm based on particle filter. A mathematical model of the motion of the object, the relations describing the bearing orientation, calculation of weights of the particles and the rules for the «restart» of the sample. SLAM based on the library program developed Matlab simulation program of the filter particles. At the end of the article the results of layout allow testing of navigation and mapping technology.

Ключевые слова: навигация и картографирование, фильтр частиц, расширенный фильтр Калмана, особенности среды, мобильный робот.

Keywords: navigation and mapping, particle filter, extended Kalman filter, feature environment, mobile robot.

Введение

Одновременная навигация и картографирование, в зарубежной литературе называемая задачей SLAM (Simultaneous localization and mapping), является фундаментальной проблемой автономных подвижных объектов? осуществляющих свое движение в неизвестной среде. Решение проблемы повышения точности навигации и построения карты не является тривиальным вследствие, взаимного влияния точности карты на точность определения координат и наоборот.

Решение задачи SLAM, как правило, организуется на базе двух подходов с применением расширенного фильтра Калмана (Extended kalman filter (EKF)) [1, 3] и фильтра частиц (Rao-Blackwellized particle filter (FastSLAM)) [2]. Исторически EKF появились первыми, что подтверждается распространенностью данного подхода. На базе EKF фильтра разработаны алгоритмы движения внутри помещений (indoor) [9, 4], движения на открытом пространстве (outdoor) [6], движения под водой и под землей [7, 8]. Однако использование EKF фильтра сопряжено как минимум с двумя проблемами: вычислительной сложности из-за увеличения количества ориентиров и неоднозначности сопоставления ориентиров [10].

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

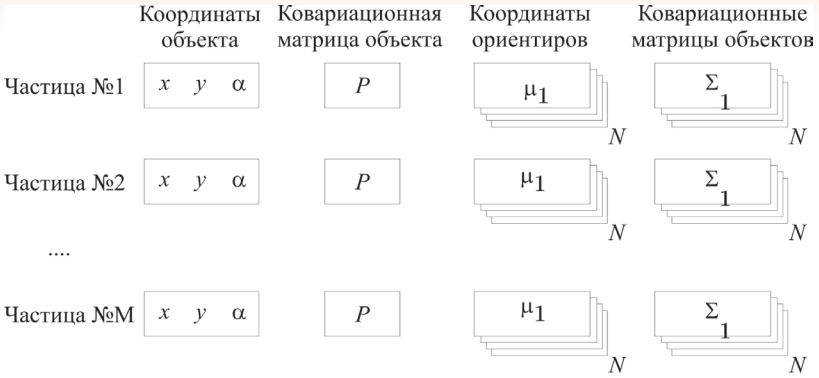


Рис. 1. Структура частицы в particle filter

Фильтры частиц (particle filter) получили широкое распространение в настоящее время. Однако, количество публикаций раскрывающих суть метода частиц на русском языке незначительно. Для освещения механизмов и проблем применения фильтра частиц (particle filter) авторы подготовили ряд статей, данная статья является первой и освещает основные этапы навигационного алгоритма организованного на базе фильтре частиц. В статье приводятся математический аппарат, положенный в основу работы фильтра частиц и результаты моделирования, доказывающие его работоспособность, а также освещается вопрос создания макета подвижного объекта для проверки алгоритмов SLAM.

Постановка задачи навигации и картографирования

Целью SLAM является вычисление координат и построение карты окружающего пространства. Чтобы описать работу SLAM введем карту – Θ и местоположение робота в момент времени t – s_t. Карта включает в себя N стационарных ориентиров, координаты которых задаются векторами θ_n. Тогда SLAM проблему можно формализовать в виде нахождения таких параметров Θ и s_t максимизирующих байесовскую вероятность

$$p(s_t, \Theta / z^t, u^t, n^t), \quad (1)$$

где $z^t = \{z_1, ... z_t\}$ – вектор измерений на внешние ориентиры; $u^t = \{u_1, ... u_t\}$ – вектор управления; n^t – количество идентифицированных ориентиров, определяющих соответствие между точками карты Θ измерениями z^t.

Проблема оценивания Θ и s_t решается с применением байесовской фильтрации

$$\begin{aligned} &p(s_t, \Theta / z^t, u^t, n^t) \propto p(z^t / s_t, \Theta, n^t) \\ &p(s_t, \Theta / z^{t-1}, u^t, n^t) = \int p(s_t / s_{t-1}, u^t) \\ &p(s_{t-1}, \Theta / z^{t-1}, u^t, n^t) ds_{t-1} \end{aligned}, \quad (2)$$

где $p(s_t / s_{t-1}, u^t)$ – модель движения;

$p(z^t / s_t, \Theta, n^t)$ – модель измерений.

Стандартное Байесовское решение (2) является вычислительно сложным для карты Θ большой размерности. Поэтому поступают следующим образом,

$$\begin{aligned} &p(s_t, \Theta / z^t, u^t, n^t) = p(s_t / z^t, u^t, n^t) \\ &\prod_{n=1}^{N} p(\theta_n / s^t, z^t, u^t, n^t) \end{aligned} \quad (3)$$

где $s_t = \{s_1, ..., s_t\}$ – траектория подвижного объекта.

Такая декомпозиция позволяет отдельно вычислить оценки местоположения робота s_t и уточнить карту по имеющимся оценкам Θ. В предлагаемом алгоритме оценка $p(s_t / z^t, u^t, n^t)$ осуществляется на основе частиц (particles), а положение ориентиров $p(\theta_n / s^t, z^t, u^t, n^t)$ на основе EKF фильтров. На *рисунке 1* представлена структура частиц фильтра.

Частица фильтра, m задаваемая структурой $S_t^{[m]}$ в момент времени t содержит информацию

$$S_t^{[m]} = \left\langle s^{t,[m]}, P_t^{[m]}, \mu_{1,t}^{[m]}, \sum_{1,t}^{[m]}, ..., \mu_{N,t}^{[m]}, \sum_{N,t}^{[m]} \right\rangle, \quad (4)$$

где $S^{t,[m]}$ – оценка местоположения объекта;

$P_t^{[m]}$ – ковариационная матрица ошибок оценивания координат объекта;

$\mu_{N,t}^{[m]}, \sum_{N,t}^{[m]}$ – математическое ожидание и ковариационная матрица N-го ориентира.

Алгоритм работы particle filter включает в себя, следующие шаги:

- Вычисление нового положения объекта для каждой частицы по данным управления.
- Обновление карты ориентиров в каждой частице с использованием EKF фильтра.
- Вычисление новых весов для каждой частицы.
- Перезапуск фильтра.

Вычисление нового положения объекта по данным управления

Первый этап particle filter алгоритма это расчет для каждой частицы $\mathbf{s}_t^{[m]}$ нового положения подвижного объекта $\mathbf{s}_{t-1}^{[m]}$ по предыдущим значениям $\mathbf{u}_t$ и данным об управлении . Вероятностную модель движения для каждой из частиц можно записать в виде

$$\mathbf{s}_t^{[m]} \sim p(\mathbf{s}_t \mid \mathbf{u}_t, \mathbf{s}_{t-1}^{[m]}). \qquad (5)$$

Для большого класса объектов используется следующая модель движения, описываемая в виде. В процессе движения с ошибками $\mathbf{v} = [v_V \quad v_\gamma]$ измеряются параметры скорости и угла поворота колеса $\mathbf{u}_t = [V_t \quad \gamma_t]$, такие что $\mathbf{u}_t = \mathbf{u}_t + \mathbf{v}$. Текущие координаты объекта и угол, задаваемые вектором $\mathbf{s}_t = [x_t \quad y_t \quad \alpha_t]^T$ можно рассчитать по формуле

$$\mathbf{s}_t = \mathbf{F}(\mathbf{s}_{t-1}, \mathbf{u}_t, \mathbf{v}) = \mathbf{s}_{t-1} + \begin{bmatrix} V \cdot \cos(\mathbf{s}_{t-1,\alpha} + \gamma) \\ V \cdot \sin(\mathbf{s}_{t-1,\alpha} + \gamma) \\ V \cdot \sin(\gamma + v_\gamma) \cdot L^{-1} \end{bmatrix} \Delta t, \qquad (6)$$

где $\mathbf{u}_t$ – вектор управления;
L – расстояние между продольными осями транспортного средства (*рисунок 2*);
$\mathbf{v} = [v_V \quad v_\gamma]$ – вектор шумов, измерителя скорости и датчика угла поворота соответственно.

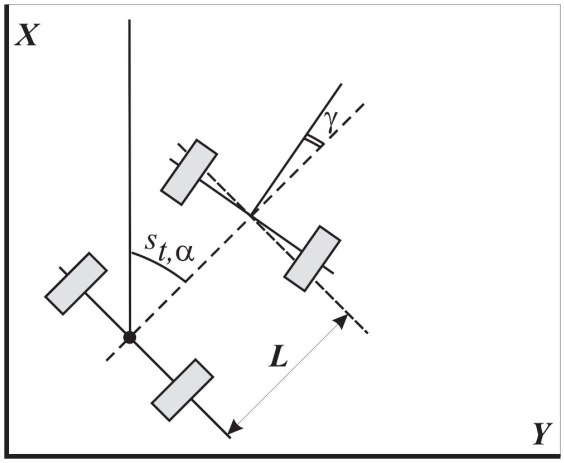


Рис. 2. Параметры объекта

Новое значение ковариационной матрицы $\mathbf{P}_t$ задающей ошибки определения местоположения и ориентации объекта, можно рассчитать по формуле (7),
где $\mathbf{P}_{t-1}$ – значение ковариационной матрицы в момент времени t–1;

$$\mathbf{P}_t = \mathbf{G}_v \cdot \mathbf{P}_{t-1} \cdot \mathbf{G}_v^T + \mathbf{G}_u \cdot \mathbf{Q} \cdot \mathbf{G}_u^T$$

$$\mathbf{G}_v = \frac{\mathbf{F}(\mathbf{s}_{t-1}, \mathbf{u}_t, \mathbf{v})}{\partial \mathbf{s}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -V \cdot \sin(\mathbf{s}_{t-1,\alpha} + \gamma)\Delta t \\ 0 & 1 & V \cdot \cos(\mathbf{s}_{t-1,\alpha} + \gamma)\Delta t \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \mathbf{Q} = \begin{bmatrix} \sigma_V^2 & 0 \\ 0 & \sigma_\gamma^2 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{G}_u = \frac{\mathbf{F}(\mathbf{s}_{t-1}, \mathbf{u}_t, \mathbf{v})}{\partial \mathbf{u}} = \begin{bmatrix} \cos(\mathbf{s}_{t-1,\alpha} + \gamma) & -V \cdot \sin(\mathbf{s}_{t-1,\alpha} + \gamma) \\ \sin(\mathbf{s}_{t-1,\alpha} + \gamma) & V \cdot \cos(\mathbf{s}_{t-1,\alpha} + \gamma) \\ \sin(\gamma) \cdot L^{-1} & \frac{V \cdot \cos(\gamma)}{L} \end{bmatrix} \Delta t \qquad (7)$$

$\mathbf{G}_v$ – матрица частных производных по вектору состояния;
$\mathbf{G}_u$ – матрица частных производных по вектору управления;
$\mathbf{Q}$ – ковариационная матрица шумов.

Обновление карты ориентиров в каждой частице с использованием EKF фильтра

Прежде чем рассмотреть работу алгоритма на данном этапе введем несколько базовых формул, определяющих связь параметров местоположения подвижного объекта и координат ориентира. Координаты местоположения подвижного объекта $\mathbf{s}_t = \{s_{t,x} \quad s_{t,y} \quad s_{t,\alpha}\}$ в момент времени t и координаты n-го ориентира $\boldsymbol{\theta}_{n_t} = \{\theta_{n_t,x} \quad \theta_{n_t,y}\}$ связанны следующими соотношениями (см. *рисунок 3*):

$$g(\mathbf{s}_t, \boldsymbol{\theta}_{n_t}) = \begin{bmatrix} r(\mathbf{s}_t, \boldsymbol{\theta}_{n_t}) \\ \phi(\mathbf{s}_t, \boldsymbol{\theta}_{n_t}) \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} \sqrt{(\theta_{n_t,x} - s_{t,x})^2 + (\theta_{n_t,y} - s_{t,y})^2} \\ a\tan\left(\frac{\theta_{n_t,y} - s_{t,y}}{\theta_{n_t,x} - s_{t,x}}\right) - s_{t,\alpha} \end{bmatrix}. \qquad (8)$$

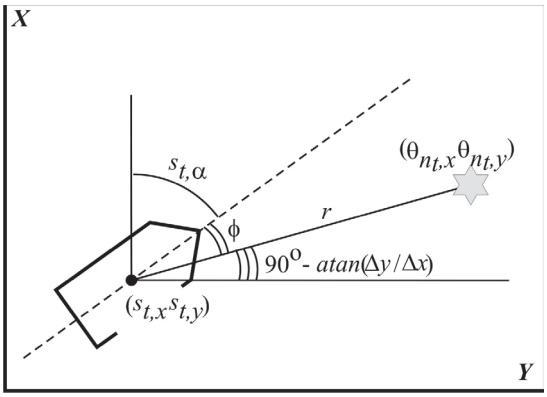


Рис. 3. Связь параметров объекта с координатами ориентира

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

Матрица частных производных (Якобиан)

$$G_{\theta_{n_t}} = \frac{g(\mathbf{s}_t, \boldsymbol{\theta}_{n_t})}{\partial \boldsymbol{\theta}_{n_t}} = \begin{bmatrix} \frac{\theta_{n_t,x} - s_{t,x}}{r^2(s_t, \theta_{n_t})} & \frac{\theta_{n_t,y} - s_{t,y}}{r^2(s_t, \theta_{n_t})} \\ -\frac{\theta_{n_t,y} - s_{t,y}}{r^4(s_t, \theta_{n_t})} & \frac{\theta_{n_t,x} - s_{t,x}}{r^4(s_t, \theta_{n_t})} \end{bmatrix}. \quad (9)$$

В процессе реального движения осуществляется обнаружение ориентиров сцены, измеряются углы пеленга и дальности до них $\mathbf{z}_t = [r \quad \phi]^T$, где r – дальность до ориентира, ϕ – угол пеленга относительно продольной оси. Далее проверяется принадлежность ориентира карте находящейся в частице m, другими словами проверяется «новый» ориентир или известный. Для общего случая решения задачи SLAM данная операция носит не тривиальный характер и может быть достаточно сложной. Для простоты предположим, что карта заранее известна, тогда для всех n ориентиров с координатами θ_n хранящихся в частице m рассчитываются параметры

$$\begin{aligned} G_{\boldsymbol{\theta},n} &= \nabla_{\boldsymbol{\theta}_n} g(\mathbf{s}_t, \boldsymbol{\theta}_n)\big|_{\mathbf{s}_t = \mathbf{s}_t^{[m]}; \boldsymbol{\theta}_n = \boldsymbol{\mu}_{n,t-1}^{[m]}} \\ \hat{\mathbf{z}}_{n,t} &= g(\mathbf{s}_t^{[m]}, \boldsymbol{\mu}_{n,t-1}), \quad (10) \\ \mathbf{Z}_{n,t} &= \mathbf{G}_{\theta,n} \sum\nolimits_{\mathrm{n},t-1}^{[\mathrm{m}]} \mathbf{G}_{\theta,n}{}^T + \mathbf{R}_t \end{aligned}$$

и с использованием поступивших измерений $\mathbf{z}_t$ вычисляется вероятность принадлежности текущего измерения «известному» ориентиру

$$p_{n,t}^{[m]} = \left|2\pi \mathbf{Z}_{n,t}\right|^{-0.5} \exp\left\{-\frac{1}{2}(\mathbf{z}_t - \hat{\mathbf{z}}_{n,t})^T \mathbf{Z}_{n,t}^{-1}(\mathbf{z}_t - \hat{\mathbf{z}}_{n,t})\right\} \quad (11)$$

где $\mathbf{R}_t$ – ковариационная матрица шумов измерителя дальности и угла пеленга.

Таким образом, в каждой частице m для одного измерения $\mathbf{z}_t$ формируется набор $p_{n,t}^{[m]}$ из вероятностей. Далее задаются некоторым допуском p_0. В случае если $\max(p_{n,t}^{[m]}) > p_0$, то такой ориентир $\hat{n}_t$ уже известен, тогда на основе EKF оценивают «новые» параметры ориентира

$$\begin{aligned} K_{\hat{n}_t} &= \sum\nolimits_{\hat{n}_t,t-1}^{[\mathrm{m}]} G^T{}_{\theta,\hat{n}_t} Z_{\hat{n}_t,t}^{-1} \\ \mu_{\hat{n}_t,t}^{[m]} &= \mu_{\hat{n}_t,t-1}^{[m]} + K_{\hat{n}_t}(z_t - \hat{z}_t) \quad . \quad (12) \\ \sum\nolimits_{\hat{n}_t,t}^{[\mathrm{m}]} &= \left(I - K_{\hat{n}_t} G_{\theta,\hat{n}_t}\right) \sum\nolimits_{\hat{n}_t,t-1}^{[\mathrm{m}]} \end{aligned}$$

Если $\max(p_{n,t}^{[m]}) < p_0$, то ориентир $\hat{n}_t$ «новый», тогда

$$\begin{aligned} \mu_{\hat{n}_t,t}^{[m]} &= \begin{bmatrix} s_{t,x}^{[m]} \\ s_{t,y}^{[m]} \end{bmatrix} + r \cdot \begin{bmatrix} \cos(s_{t,\alpha}^{[m]} + \varphi) \\ \sin(s_{t,\alpha}^{[m]} + \varphi) \end{bmatrix} \\ G_z &= \begin{bmatrix} \cos(s_{t,\alpha}^{[m]} + \varphi) & -r \cdot \sin(s_{t,\alpha}^{[m]} + \varphi) \\ \sin(s_{t,\alpha}^{[m]} + \varphi) & r \cdot \cos(s_{t,\alpha}^{[m]} + \varphi) \end{bmatrix} \\ \sum\nolimits_{\hat{n}_t,t}^{[m]} &= P + G_z{}^T \cdot R^{-1} \cdot G_z{}^T \quad , \quad (13) \end{aligned}$$

а количество ориентиров в частице m увеличивается на один $N_{t-1}^{[m]} + 1$ с параметрами $\mu_{\hat{n}_t,t}^{[m]}, \sum_{\hat{n}_t,t}^{[m]}$.

Параметры остальных ориентиров не участвующих в EKF фильтре для каждой частицы m остаются без изменений

$$\mu_{\hat{n}_t,t}^{[m]} = \mu_{\hat{n}_t,t-1}^{[m]} \quad \sum\nolimits_{\hat{n}_t,t}^{[m]} = \sum\nolimits_{\hat{n}_t,t-1}^{[m]}$$

Вычисление весов

В случае, если полученное измерение принадлежит «известному ориентиру», то вычисляется вероятность

$$\eta_t^{[m]} = \left|2\pi Z_{n,t}\right|^{-0.5} \exp\left\{-\frac{1}{2}(z_t - \hat{z}_{n,t})^T Z_{n,t}^{-1}(z_t - \hat{z}_{n,t})\right\}. \quad (14)$$

При обнаружении сразу нескольких ориентиров суммарный вес частицы рассчитывается по формуле

$$\eta_t^{[m]} = \prod_{j=1}^{k} \eta_{j,t}^{[m]}, \quad (15)$$

где j – количество обнаруженных ориентиров.

Новое значение частицы m может быть вычислено по формуле

$$\begin{aligned} w_t^{[m]} &= \eta_t^{[m]} \cdot w_{t-1}^{[m]} \\ w_t^{[m]} &= w_t^{[m]} \Big/ sum(w_t^{[m]}) \end{aligned} \quad . \quad (16)$$

Перезапуск фильтра

Процедура перезапуска фильтра необходима для предотвращения «вырождения» весов частиц. В процессе работы фильтра происходит расслоение частиц по весам, может возникнуть ситуация когда доминирующее значение в выборке будут оказывать несколько частиц, а остальные будут близки к нулю. Для исключения ситуации «вырождения» используется процедура перезапуска фильтра, в самом простом случае, состоящая из операции осреднения «весов» $w_t^i = 1/N$. Для определения факта вырождения «весов» обычно рассчитывают число эффективных частиц M_{eff}

$$M_{eff} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{N} w^{(i)}}. \quad (17)$$

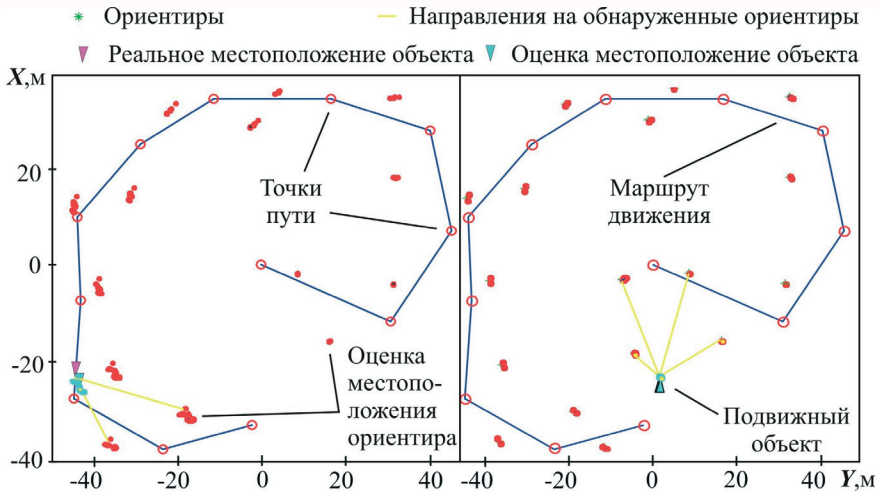


Рис. 4. Движение объекта при первом объезде маршрута и повторном

Плановое значение количества эффективных частиц находят как $M_{pl} = 0.75 \cdot M$. Тогда в случае если $M_{eff} < M_{pl}$ осуществляется процедура перезапуска.

Математическое моделирование работы фильтра частиц

Для демонстрации эффективности разработанного метода в программной среде Matlab с использованием библиотеки SLAM было проведено моделирование. На *рисунке 4* показан маршрут движения объекта, а также представлены оценки собственного местоположения подвижного объекта и местоположения ориентиров.

Из рисунка видно, что в процессе первого заезда по маршруту, точность определения координат ухудшается, погрешности определения собственного местоположения, и местоположения ориентиров нарастают, происходит процесс построения карты ориентиров.

Ситуация меняется при повторном прохождении маршрута. Карта ориентиров уже создана, а текущие измерения сравниваются с вычисленными по карте. Полученная невязка положительно сказывается на точности определения координат, что наглядно демонстрируется на *рисунке 5*, происходит резкое снижение погрешностей.

Макет для отработки алгоритмов навигации и картографирования

Для натурной отработки технологии навигации и картографирования был разработан макет подвижного средства (*рисунок 6*). В основу макета положено шасси известной радиоуправляемой модели Traxxas Summit. Для размещения оборудования на базе данного шасси из оргстекла был создан специальный корпус. В качестве устройства позволяющего пеленговать внешние объекты (лазерного сканера), был выбран не дорогой

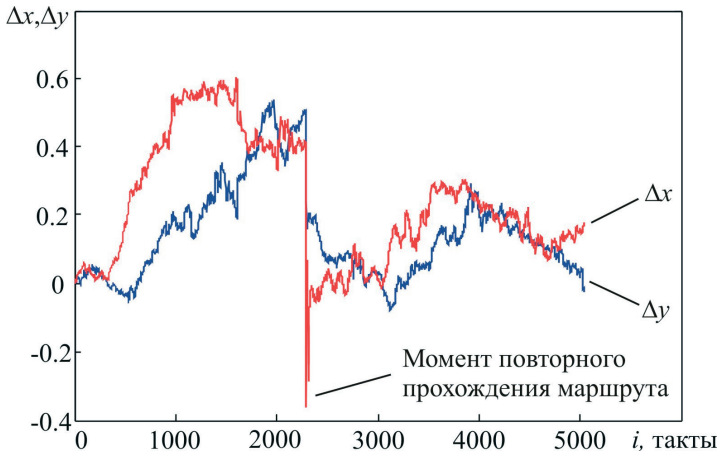


Рис. 5. Ошибки определения координат объекта при движении по участку местности

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

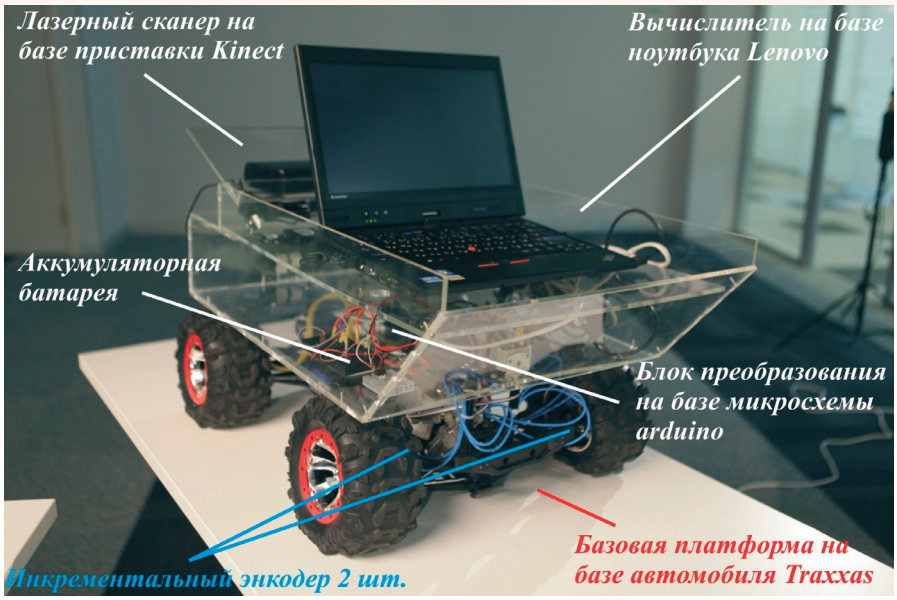


Рис. 6. Общий вид макета для отработки алгоритмов навигации и картографирования

и широко использующийся в настоящее время датчик Kinect. Благодаря инфракрасному приемнику и излучателю, датчик позволяет строить карту глубины окружающего пространства в диапазоне около 60 градусов и дальностью 5 м, что вполне достаточно для навигации внутри помещений.

Измерение пройденного пути и угла поворота осуществляется с помощью двух датчиков Холла и 40 магнитных пластин прикрепленных к внутренним сторонам ободов передних колес.

Для простоты реализации в качестве вычислителя используется ноутбук фирмы Lenovo. Использование ноутбука позволяет облегчить процесс разработки и отладки навигационного обеспечения и алгоритмов управления, используя объектно-ориентированные высокоуровневые языки программирования, такие как ROS (Robot Operating System).

Питание всех приборов за исключением ноутбука осуществляется от штатной батареи макета.

Данный макет позволяет быстро и легко протестировать новое программное обеспечение, о чем будет подробно изложено в следующей статье.

Выводы

Совместное использование информации автономной навигационной системы и лазерного сканера позволяет повысить точность определения навигационных параметров при длительном движении объекта по «конечному» участку местности. Решение задачи оценивания может быть построено как на основе Extended kalman filter, так и на основе particle filter, последний подход позволяет резко снизить объем вычислительных затрат и повысить надежность работы алгоритма, поэтому широко применяется в настоящее время.

Литература

1. Садеков Р.Н. Комплексирование данных систем счисления пути и стерео-визуальных систем в целях навигации наземных мобильных объектов // Известия Института инженерной физики, №4(26), 2012. С. 70-74.

2. Austin I.Eliazar. DP-SLAM 2.0, pp. 1-7.

3. M. I. Ribeiro. Kalman and Extended Kalman Filters: Concept, Derivation and Properties. 2004. P. 44.

4. M. Bosse, J. Leonard. Large-scale CML using a network of multiple local maps in workshop Notes of the ICRA Work-shop on Concurent Mapping and Localization for Autonomous Mobile Robots (W4), Washington, D.C., 2002.

5. R. Smith, P.Cheeseman. On the representation and estimation of spatial uncertainty. Int. J. Robot. Res, vol. 5, no. 4, 1986. pp. 56-68.

6. T. Bailey. Mobile robot localization and mapping in extensive outdoor environment. Ph.D dissertation, Univ Sydney, Sydney, NSW, Australia, 2002.

7. S. Williams, G. Dissanayake, H.F. Durrant-Whyte. Towards terrain-aided navigation for underwater roboyics.. Adv.Robot, vol. 15 no.5, 2001. pp. 533-550.

8. S. Thrun, D.H. Ahnel, M. Montemerlo. A system for volumetric robotic mapping of abandoned mines. In. Proc. IEEE Int. Conf Robot.Automat. Taiwan, May 2003, pp. 4270-4275.

9. S. Thrun, D. Fox and W. Burgard. A probabilistic approach to concurrent mapping and localization for mobile robots, Mach. Learn., vol. 31, 1998. pp. 29-53.

10. S. Thrun, W. Burgard, D.Fox, Probabilistic robotics, MIT Press, Cambridge, 2005.

УДК 65.014

СОВРЕМЕННАЯ КЛАСТЕРИЗАЦИЯ КАК КОМПЛЕМЕНТНО РАЗВИВАЮЩИЙСЯ УПРАВЛЯЕМЫЙ СИСТЕМНО ИННОВАЦИОННЫЙ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС*

Валерий Николаевич Умников
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

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

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

Кластеризация – один из факторов нового экономического развития, основанного на гибком применении целевой инновационной концентрации социально-экономических ресурсов без рисков финансово-экономической монополизации. Авторы статьи обращают внимание на появление и развитие системы социальной комплементаризации всех сторон деятельности кластерных образований. Показано, что МОУ «ИИФ» – диверсифицированный кластер с развитой базовой инновационной социализацией.

Clustering is one of the factors of the new economic development, based on the flexible use of the target of innovative concentration of social and economic resources without the risk of financial and economic monopolization. The authors draw attention to the appearance and development of the system of social complementarity all sides of the cluster formations. It is shown that the IPO «IEP» is diversified cluster with development of basic innovation socialization.

Ключевые слова: кластеризация, социальная комплементность, целевая инновационная концентрация, социально-экономические ресурсы, диверсифицированный кластер.

Keywords: : clustering, social complementarity, targeted innovative concentration, socio-economic resources, diversified cluster.

В Российской Федерации, как и в большинстве стран, объединения предприятий по законодательству могут образовываться в разных формах: союзы, ассоциации, концерны, тресты, межотраслевые, региональные и т.д. Объединения предприятий создаются на договорной основе в целях расширения возможностей предприятий в производственном, научно-техническом и социальном развитии. Предприятия, входящие в состав объединения, сохраняют самостоятельность и права юридического лица. Руководящие органы объединения не обладают распорядительной властью в отношении его предприятий и выполняют свои функции на основании договоров с предприятиями.

Причина поиска разных форм образований объясняется необходимостью максимальной легитимизации того или иного вида *концентрации* ресурсов и функций для тех или иных условий.

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

Крайне важной особенностью технологий экономики, достигающей высших ступеней развития, является нарастающее сосредоточение (концентрация) в одном объединении того или одного вида связанных между собой обобщающим проектом деятельности представителей разных отраслей промышленности (ранее называемая *комбинация*, а теперь – *диверсификация*). И именно разнообразие и рост видов концентрации в кластерах повышает их эффективность, но одновременно заставляет вернуться к давно известной опасности, идущей от безудержной концентрации возможностей объединений – их тематической *монополизации*, разрастания и кризиса.

Мировая экономика нового времени, в том числе и отечественная (российская и советская), всегда характеризовалась высоким уровнем монополизации в различных видах деятельности. При этом одной из основных функций государства являлось сохранение условий для конкуренции как важного экономического механизма. Отсюда в целях преодоления тенденции ослабления конкуренции фактическими монополиями требуются меры государственного влияния на уровень, характер экономической концентрации и активность ее перехода к монополизации. Важно, что в большинстве стран, запрещая и жестко контролируя избыточные экономические союзы и сговоры, антимонопольные законы стимулируют не только конкуренцию, но и диверсификацию производства, а также определяют условия грани существования, как подобных объединений, так и пространства деятельности среднего и мелкого бизнеса.

Картель – классическая форма монополистического слабо устойчивого объединения или соглашения. В отличие от других, более устойчивых форм монополистических структур (синдикаты, тресты, концерны), каждое предприятие, вошедшее в картель, сохраняло финансовую и производственную самостоятельность. Объектами соглашения в картели могли быть (как правило, для производственной цепочки одной отрасли): ценообразование, сферы влияния, условия продаж, использование патентов, регулирование объемов производства, согласование условий сбыта продукции, наем рабочих. При этом затруднялась конкуренция, ослаблялось функционирование рыночных механизмов. В ряде стран картели попадали под действие антимонопольного законодательства. Однако в других странах, напротив, в определенные периоды создание картелей поощрялось в целях реструктуризации промышленности, стандартизации материалов и комплектующих, ограничения конкуренции между мелкими фирмами. С картельным эффектом производственных цепочек экономика знакома еще с XVII века. На рубеже XVII и XVIII веков прототипы картелей появились в России (в солеварении, а позже – металлургии). Позже территориально-промышленные комплексы советского времени и финансово-промышленные группы по всему миру также работали в логике формирования и развития компактно размещенных в пространстве монопольных длинных производственных цепочек, формируя *протокластерные технологии* без внутренней конкуренции между участниками.

Сегодня, в отличие от монопольных картелей и финансово-промышленных групп, в кластерах участвуют одна или группа независимых мощных компаний, в среде которых при тесной взаимосвязи сохраняются предотвращающие монополизм как внутренние конкурентные, так и дающие устойчивость государственно-частные отношения. Сейчас пришло время нового перехода от количества к качеству через переход от *простого корпорирования к сложному комплементированию*, время современных еще более гибких в отношениях кластеров: *комплементирующих систем инновационного типа*, строящихся на обменной «экономике знаний», уводящих от монополизма и связанных с ним опасных последствий.

Кластерное движение вступило в свою новую эпоху во второй половине XX века. Кластеризация – один из источников и факторов нового ускоренного экономического развития, основанного на гибком безопасном применении системной целевой инновационной концентрации социально-экономических ресурсов без рисков соскальзывания в губительную для территорий их деятельности финансово-экономическую монополизацию. Новый тип технопромышленного уклада связан с формирующимся типом собственности на трансферт, перенос знаний и технологий из одной области в другие. Кластерный подход в социально-экономической политике все чаще выступает как *социально сопрягаемая схема управления с переносом технологий для экономического развития, как регионов, так и нации в целом*. Нормально, когда регионы, на территории которых образуются кластеры, становятся лидерами социально-экономического развития, определяющими конкурентоспособность национальной экономики.

Кластеризация неизбежно сопровождается проблемными трудностями развития. Например, сегодня главная из опасностей – *«ползучая неофеодализация»*, тактика скрытой местной коллективной, групповой монополизации деятель-

ностного пространства, фактически захватываемого временщиками. Государство, поддерживая отдельные кластеры, иногда невольно поддерживает через них и скрытые владения (*«неофеоды»*). Государство обычно поощряет концентрацию производства, и оно будет всегда, так или иначе, присутствовать в бизнесе кластеров. Поэтому придется всегда следить и за возможной угрозой неумышленной легальной государственно-хозяйственной картелизации действий кластеров, когда в интересах отдельных участников кластеров могут быть пролоббированы некие действия госорганов, попускающие излишнюю временную монополизацию деятельности кластеров с нанесением вреда другим участника рынка, а, следовательно, и всему экономическому сообществу.

Имеет проблемы и построение приемлемых схем влияния кластеров на конкурентную борьбу: через повышение производительности фирм-участников кластера, через создание благоприятного инновационного климата, через расширение границ кластера посредством стимулирования новых бизнесов. Конкуренция внутри кластера превращается в механизм активного распространения конкурентных преимуществ.

Поэтому и по ряду других причин, центральным моментом при формировании современного кластера становятся не просто традиционные, проверенные опытом внутренние базовые отношения (территориально-географическое сближение участников, интегрирование в нем своих различных инновационных и деятельностных схем, объединение различных производств от нескольких отраслей для взаимно необходимых и полезных функциональных отношений), но и *открытая системная гуманитарная сторона* взаимно связанных состояний пространства «возможностей-отношений» кластера уже как движущейся технологической целостности, ответственно и органично рефлектирующей на движение пространства «потребностей-отношений» окружающего социума. Кластеризация становится сферой, для которой инновационные финансово-инжиниринговые схемы, информационно-сетевые стратегии, образовательные подходы должны обязательно разрабатываться на основе *социально-комплементно сопрягаемых естественно-научных, технических и гуманитарных знаний*.

Со своей стороны, авторы данной статьи обращают внимание на появление и развитие *системной социальной комплементаризации всех сторон облика и жизненных циклов кластерных образований*, актуализирующей и стимулирующей дальнейшие процессы экономической кластеризации всех ее видов (местной региональной, национальной и межнациональной).

Фрагментарная комплементаризация присутствует в строительстве и деятельности кластеров с самого начала, но сейчас уже требуется *системная всеохватывающая органичная комплементаризация* (с позиций как национальных, так и мировых) с ее главным направлением – *социальной комплементаризацией деятельности кластеров*.

Современный инновационный потенциал каждой страны, ее народа в значительной мере определяется возможностями предлагаемых *социальных инноваций*, в большей части своевременно не понимаемых (и поэтому не оцениваемых). Хотя обычно при этом всеми признается, что *человеческий капитал* и *социальный капитал* – главные ресурсы инновационных преобразований в стране и мире.

Зачастую непонимание происходит оттого, что общие проблемы и отдельные вопросы современного прогнозирования, планирования, моделирования и реализации инновационных систем и процессов социально-экономического развития, требуют и предлагают все новые и новые, неожиданные и *важные смыслы* для ранее уже использовавшихся понятий, названий, определений и их отношений. *Инновационность смыслов терминов* – важное обстоятельство социальных преобразований, требующее серьезных исследований и определяющее эффективность, как дискуссий, так и принимаемых решений. Термин «кластер» именно с *подчеркнуто социальным базовым смыслом* становится по-настоящему инновационным, первично обусловленным и построенным на комплементно работающих потребностях и знаниях социума (а не лишь на индуцируемых им функционально-технологических цепочках), *социума системного*, все более институционально оформляющегося как *гражданское общество*.

Сегодня можно утверждать, что такой идеей системной институализации начинает выступать в различных проявлениях (в частности, в кластерной философии и политике) системный *«социал-комплементаризм»*, позволяющий участникам внутринациональных и межнациональных отношений переходить от взаимоуничтожающих оппонирования, надзорного контроля и противодействия – к *сложному ответственному взаимодополняющему соработничеству*, к *системной органично взаимной социальной комплементности* (*«комплементарность»* – взаимное соответствие и дополнение отличных одна от другой частей, составляющих образуемое целое. *«Принцип комплементарности»* лежит в основе самосборки и искусственного образования различных струк-

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

тур с обретаемым ими новым качеством – *эмерджентностью*). Социал-комплементаризм становится генеральной мировой тенденцией всех сфер социально-экономического развития.

Возникает новая интеллектуально направляемая комплементная многосвязность социума, дающая дополнительные возможности ухода от эклектичного смешанного синкретизма, хаоса и катастрофизма. Происходит нарастание возможностей реальных воплощений *«свободы выбора» во всех аспектах и на всех этапах всеобщего комплементно связного движения физических и юридических участников социума*. Территориальными точками роста такой системной связности и выступают объекты *социально-научно-производственной кластеризации*.

Только такое понимание смысла *политики сетевой кластеризации* дает ответы на концептуальные вопросы управления инновационным развитием России, реализации инновационной политики, как со стороны государства, так и со стороны системы гражданского общества, формирования нацией по вертикали и горизонтали инновационно устроенной и функционирующей эффективно институциональной среды (как основы для устойчивого развития страны), подготовленной для системного использования постоянно растущих отечественных и зарубежных инвестиционных ресурсов.

До последнего времени главным в структуре кластера упрощенно считалось распространение инноваций на всю цепочку создания стоимости и единое логистическое окно для взаимодействия с внешней средой. Теперь очевидно, что важнейшим стало *создание и поддержание системной долговременной социальной потребности* (неразрывно связанной с цепочкой создания стоимости), *системно комплементного логистического окна* для взаимодействия с *системно комплементным для кластера социумом*. Отсюда – исследовательский интерес авторов к теме: *«социально-комплементные блоки системного кластерного развития»* (важно при этом вопросы кластеризации и инновационных подходов рассматривать не как самостоятельные или конкурирующие, а как взаимовлияющие и взаимодополняющие, системно комплементирующие. Сегодняшняя, уже освоенная, стратегия конвергирования (сближений и переходов) технологий в кластерах постепенно ведет к новой, а именно – *системно комплементной (взаимодополнительной)* стратегии кластерного и затем, в целом, промышленного развития. Возникнет необходимость в последовательной разработке трансдисциплинарной методологии исследования *социогуманитарных проблем, сначала конвергентных, а затем и комплементных технологий*.

Современная среда для кластера (в первую очередь, среда конечного потребителя, т.е. социальная среда, а именно – *пространство отношений «кластер-социум»* с его все более быстрыми, системными, часто радикальными изменениями гражданско-общественных потребностей и требований) стимулирует ответные более гибкие, более динамичные, выраженно, подчеркнуто эмерджентные подходы к адекватному формулированию стратегии и обеспечению активных эффективных действий участников кластерных систем.

Это потребует разработки, ввода в действие и развития возможностей методик и техники управленческих и информационно-исполнительных систем обратных связей в пространстве «кластер-социум».

Регулирование состояния этого пространства продлит жизненный цикл кластера, удержит его от риска быть затянутым и свалиться в банальную антиконкурентную, антирыночную монополизацию, что неизбежно вызвало бы в различных формах отрицательную, протестную реакцию делового сообщества, всей системы гражданского общества и государства. А в итоге привело бы к принятию законодательных мер антикластерного характера (подобно антикартельным, антитрестовским и им подобным антимонопольным мерам).

Включение системного социального фактора в перечень главных условий деятельности кластеров позволит ослаблять угрозы рисков и одновременно поднимать эффективность процесса их функционирования в целом. Кластеры должны стать *ориентированными подчеркнуто социально-экономически*. Процессы промышленно-экономической кластеризации будут все более комплементно и тесно связаны с *процессами системной социализации*.

Социально-экономический кластер – территориальная и межтерриториальная структура предприятий, объединенных комплементно привлекаемыми и используемыми внутренними и внешними материальными, финансовыми, социальными и информационными возможностями. На основе этого определения авторам предстоит в дальнейшем всесторонне исследовать свойства *«технологических пакетов»* уже как *«технологических комплементов»* для кластеров будущего. Известно, что «технологическим пакетом» называют генетически и функционально связанную совокупность технологий, обладающую системными свойствами. «Технологический пакет»

включает в себя как физические, так и гуманитарные технологии из *полной системы движущихся антропосред* (естественной, технологической, информационной, социальной, культурной).

Пока естественной производственно-территориальной, относительно сосредоточенной привязкой технологических пакетов являются определенные топологически экономические кластеры и отдельные фирмы. В дальнейшем придется учитывать неизбежность трендов укрупнения, расширения и усложнения содержания используемых технологических пакетов, а также то, что агломерации будут строиться на соглашениях участников, все менее постоянно связанных территориально. Тогда именно кластеры, последовательно рассредоточивая свои элементы и связи, объединяясь и превращаясь в некие «*метакластеры*», выступят организованной основой для более гибкого использования перспективных технологических пакетов уже в новой, уравновешено и оптимально распределенной между комплементно обобщаемыми видами полезных занятий новой («*экономоценозной*») экономике будущего. Все названное выше – пока точки роста будущей *национальной системы метакластеров*.

В условиях *глобализации* для экономики любой страны важным условием является уровень ее внутренней организации, способность быстро и эффективно реагировать на изменения конъюнктуры отдельных своих регионов, страны в целом и мировых рынков, осуществлять быструю адаптацию за счет инновационных средств и инвестиционных ресурсов. Национальную конкурентоспособность в глобальном мире уже приходится достигать не через возможности отдельных компаний, а исходя из наличия и уровня системы экономических кластеров. Теперь, когда даже наиболее конкурентоспособные транснациональные компании имеют тенденцию превращаться в межнациональные, социализироваться и концентрироваться в одной стране, а порой даже в одном регионе определенной страны, появляющиеся комплементно социализированные кластеры также начали играть системную роль важных «точек роста» внутреннего рынка и экономики в целом. Вслед за первыми образуются новые кластеры, и затем уже увеличивается международная конкурентоспособность страны. Таким образом, через *развиваемые новой кластеризацией внутренние рынки* для нации ускоренно создаются перспективные конкурентные преимущества на международном уровне.

***

Последние десять лет *Межрегиональное общественное учреждение «Институт инженерной физики»* (МОУ «ИИФ») организуется и развивается по кластерной схеме как научно-исследовательский и образовательный центр, предприятие-лидер («ядро кластера») территориально локализованных в Южном Подмосковье комплементно-связанных специализированных научно-производственных учреждений, вузов, общественных и других организаций, взаимодополняющих друг друга в достижении конкретных планируемых народно-хозяйственных целей на основе инновационной экономики знаний, складывающейся в устойчивой тесной интеграции с рядом ведущих учреждений науки и образования, предприятий промышленности и общественных организаций в других регионах России и за рубежом. Подобного рода кластеры теперь рассматривают как *инновационные системы прикладного значения*. Кроме того, различают два основных типа производственных кластеров: монопроизводственный и диверсифицированный. Первый тип - это линейный кластер с развернутой и обеспеченной по одному направлению технологической линией. Второй тип, к которому принадлежит как ядро МОУ «*ИИФ*», – *диверсифицированный кластер*. Здесь за счет полезной комплементной взаимосвязи идей на стыках дисциплин и опыта, разных инновационных решений («экономики знаний»), ресурсов и технологий от разных технологических линий возникает синергетический эффект («*кластерная синергия*»), дающий продукции новую эмерджентность, дополнительное качество. Инновационный потенциал таких кластеров становится все более гуманитарно обусловленным и ориентированным на социальную адекватность применяемых инноваций. *МОУ «ИИФ» – подобный кластер с развитой базовой инновационной социальной составляющей*.

Сегодня традиционные для МОУ «ИИФ» научно-технические задачи все больше решаются с учетом дополнительных возможностей от кластеризации в будущем. Например, когда широко обсуждался известный вопрос, являются ли сети и кластеры принципиально разными концепциями или возможно рассматривать их в рамках единого *интегрологического подхода*, исследователи сетей в МОУ «ИИФ» пришли к выводу, что кластеры являются носителями свойств *межорганизационной сети*, что позволяет теперь создавать интегративные модели «*кластеров с сетевыми характеристиками*».

Многолетняя научно-техническая и производственная деятельность кластера МОУ «ИИФ»

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

тесно связана с важными гуманитарными аспектами: совершенствование институтов системы доорганизованного гражданского общества, создание и совершенствование систем непрерывного интеграционного образования и социально-профессиональной адаптации, воспитание обучаемых и сотрудников в духе активного новаторства, высокой культуры отношений, патриотизма, лучших отечественных традиций.

Сегодня полная и совершенная *доорганизация нации* – главный необходимый рычаг радикальных конструктивных преобразований в России. Основой достижения этого являются как обновляющаяся («сверху») организация государства, так и быстро кристаллизующаяся («снизу») система гражданского общества. *Кластеризация входит важнейшей составляющей в генеральные направления инновационной доорганизации системы нации России*.

Для системы организации страны важны первичные *социальные образования нации*. Только всестороннее развитие системной комплементности в территориальных отношениях позволит создать новые полноценные системы местного управления. Но если территориальная система недоорганизована, то надежды на эффективность управления преждевременны. *В первую очередь нужна совершенная местная самоорганизация*.

Вопросами конструирования городских гражданско-общественных систем, *городских гражданско-общественных округов*, их институализации, *гуманитарно-экономической кластеризации*, последовательного перевода в среду, способную комплементно решать стратегические задачи развития города и движения его ресурсов, обмена опытом разных поселений придется заниматься с каждым годом все больше. Системная гуманитарная сторона пространства «возможностей-отношений» МОУ «ИИФ» как ядра растущего регионального кластера, ориентирующегося на *прогрессивный фактор влиятельной социализации*, ответственно рефлектирующего на движение окружающего пространства социальных «потребностей-отношений», обеспечивается уникальным инновационным опытом, накопленным в многолетней разносторонней общественно-значимой работе: МОУ «ИИФ» является *ведущей организацией* первого в России *городского гражданско-общественного округа «Владычная Слобода»* созданного в 2007 году в *Общегородской системе самоорганизации населения (системе городского гражданского общества)* города Серпухова Московской области. МОУ «ИИФ» является активным участником конструктивного диалога между представителями нового предпринимательского сектора системы гражданского общества и соответствующими учреждениями государства с целью выявления актуальных проблем инновационного развития науки и производства, путей наиболее эффективной реализации имеющихся инвестиционных возможностей и требуемых мер государственной социально-экономической политики. Гуманитарные проекты и усилия МОУ «ИИФ» по развитию системы городского гражданского общества (в частности, в аспекте новой кластеризации на примере пионерского городского гражданско-общественного округа – *жизнеобеспечивающего кластера городского развития*) рассматриваются авторами как обнаруживаемые и совершенствуемые средства, необходимые механизмы перехода российского социума к перспективному системно-комплементному научно-техническому, промышленному и социально-культурному укладу.

Литература

1. Умников В.Н., Царьков А.Н., Заводчикова М.Г. Кластеризация как синергетический модернизационный процесс // Известия Института инженерной физики, 2013. №1(27). С. 93-96.

2. Умников В.Н. Великий Социальный Синтез. М.: Реалии, 2001. 416 с.

3. Умников В.Н. Социальная комплементология. М.: Реалии, 2003. 200 с.

4. Умников В.Н. Система организации России. М.: Реалии, 2001. 48 с.

5. Умников В.Н. Социал-комплементаризм в системе мира. М.: Раритет, 2006. 368 с.

6. Умников В.Н. Городское гражданское общество. М.: Раритет, 2008. 128 с.

7. Умников В.Н. Основы интегрологии. Серпухов: МО СССР, 1986. 87 с.

8. Умников В.Н. Интегрологические проблемы социального комплементирования // Известия Института инженерной физики, 2007. №1(3). С.28-30.

9. Умников В.Н. Инновационные направления развития системы гражданского общества России / Формирование инновационного потенциала общества и направления его стратегического развития. Сборник материалов Международной научно-практической конференции. М.: АНО ВПО «ИМЭИ», 2012. С. 48-56.

УДК 37.012.4

РАЗВИТИЕ И ОЦЕНКА УРОВНЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ МОТИВАЦИИ СТУДЕНТОВ

Николай Михайлович Емелин

заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор

заместитель директора по научной работе
ФГБНУ «Госметодцентр»
Адрес: 1155998, Москва, Люсиновская ул., д. 51
Тел.: +7(499)706-81-25

Павел Андреевич Рябов

аспирант

Российская международная академия туризма
Адрес:141420, Московская обл., г. Химки,
м-н Сходня, ул. Горького, д. 7
Тел.+7(495)574-16-97

В статье рассматриваются этапы развития профессиональной мотивации студентов и факторы, влияющие на ее формирование. Предлагается подход к статистической оценке уровня профессиональной мотивации и степени достоверности полученной оценки, к выявлению вклада отдельных элементов основных образовательных программ в формирование и развитие профессиональной мотивации студентов.

The article considers the stages of the students' professional motivation development, and factors influencing its formation. The approach: to the statistical estimation of the professional motivation level; to the degree of reliability of obtained estimate; to identify the contribution of individual elements of basic education programs in the formation and development of the students' professional motivation is proposed.

Ключевые слова: профессиональная мотивация; статистическая оценка; достоверность.

Keywords: professional motivation, statistical estimation, reliability.

Инновационные процессы, протекающие в российском образовании, направлены, в первую очередь, на повышение качества образования. Одним из направлений повышения качества образования является развитие элементов инновационного компонента качества на основе компетентностного подхода.

При оценке качества образования в вузе основным источником информации является субъект обучения – студент, поэтому исключительную важность приобретает полная, достоверная и объективная информация о каждом обучаемом на всех стадиях обучения, начиная от поступления в вуз. Также важной является информация о личных образовательных достижениях, характеризующая не только учебную деятельность, но и профессиональную мотивацию студентов в процессе обучения.

Для совершенствования подготовки специалистов принципиальное значение имеет развитие мотивации их профессиональной деятельности, способствующей целенаправленному овладению профессиональными знаниями и умениями.

Целенаправленное формирование профессиональной мотивации посредством широкого спектра учебных занятий, методов и приемов их проведения в процессе обучения обеспечивает практическую готовность выпускников вузов к будущей деятельности. К профессиональной деятельности невозможно подготовить студента полностью, но мотивировать его к этому представляется целесообразным на всех этапах его обучения.

Под профессиональной мотивацией понимается действие конкретных побуждений, обусловливающих выбор профессии и продолжительное выполнение обязанностей, связанных с этой профессией, а ее содержание составляет совокупность устойчивых мотивов (собственно профессиональных мотивов, прагматических мотивов, мотивов профессионального развития и карьерного роста, познавательных мотивов, социальных мотивов, мотивов самореализации личности), проявление которых зависит от профессиональных взглядов, отношений, позиций, а также эмоций, чувств, профессиональных качеств личности [1].

Можно выделить три этапа в развитии профессиональной мотивации студентов: исходный этап, этап актуализации и прогностический этап. На исходном этапе происходит развитие первичной профессиональной мотивации. Результатом этапа актуализации профессиональной мотивации является осознанная мотивация профессиональной деятельности. На прогностическом этапе в результате стремления специалиста сделать карьеру, постоянного анализа собственной эффективности развивается перспективная профессиональная мотивация. Эти этапы развития профессиональной мотивации студентов в процессе обучения в вузе с их содержательным наполнением наглядно представлены на *рисунке 1*.

Первичная профессиональная мотивация формируется под воздействием ряда факторов. Это личный опыт школьников, обучение в профильных классах и по программам среднего профессионального образования, профориентационная работа в вузе, рассказы о профессии старших товарищей-студентов и т.п. Первичная профессиональная мотивация студентов базируется на первых эмоционально окрашенных знаниях о будущей работе. Происходит диверсификация представлений студентов о специальностях, обучающийся представляет положительные аспекты профессии, и, что самое важное, у него определенно формируется желание работать по специальности.

Осознанная профессиональная мотивация студентов вуза вырастает на основе первичной профессиональной мотивации. Это не формирование чего-то нового с «нулевого уровня», а развитие уже существующей мотивации, приобретение мотивационными структурами субъекта обучения нового качества. Осознанная профессиональная мотивация студентов формируется в процессе различных видов учебной деятельности в контексте будущей профессиональной деятельности. Влияние на мотивацию оказывает собственно учебная деятельность, включающая обучение дисциплинам учебного плана специальности, организованное в форме лекционных и семинарских занятий, спецкурсов. Значимая роль отводится профессионально-пропедевтической деятельности студентов в форме практических занятий и тренингов. Весомый вклад в формирование мотивации профессиональной деятельности вносит учебно-профессиональная деятельность. Это различные виды практики, стажировка, научно-исследовательская работа студентов.

Перспективная профессиональная мотивация формируется в результате оказания помощи выпускнику вуза в планировании карьеры и дальнейшей профессиональной ориентации. К мотивам профессионального развития и карьерного роста следует отнести стремление утвердить себя в профессии, занять в будущем высокое положение в обществе, занять высокую руководящую должность, приобрести полезные связи и знакомства, возможность начать свое дело и др.

В современных условиях динамичного развития профессиональных знаний, в силу предъявляемых к личности требований о непрерывном профессиональном образовании, оценка уровня профессиональной мотивации будущих специалистов приобретает все большую значимость. Для проведения такой оценки широко используются индикативные показатели как единичные, так и интегральные. Большинство

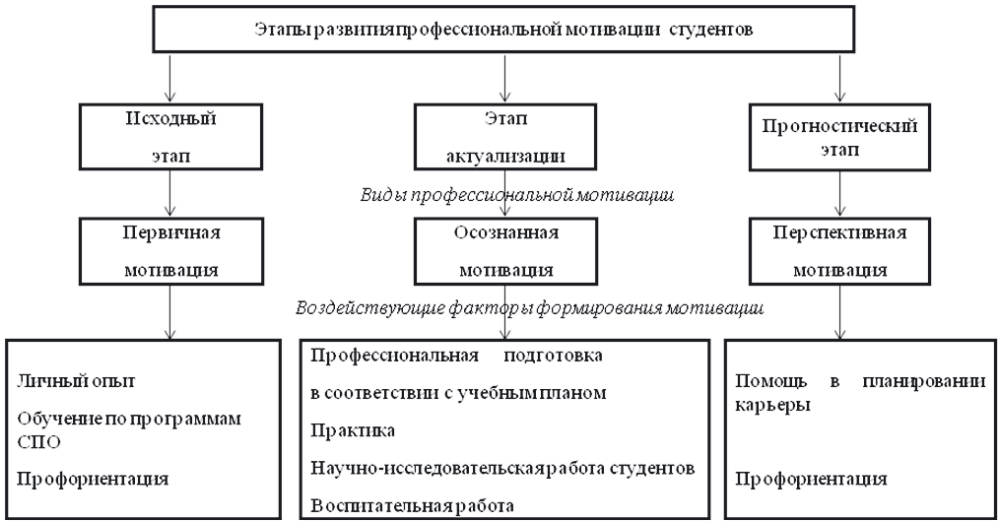


Рис 1. Этапы развития профессиональной мотивации студентов

индикативных показателей – это некоторые агрегированные показатели. Чаще всего для агрегирования используют сумму значений показателей или среднее, частное от суммы одних показателей к сумме других показателей, а также каждый из указанных способов агрегирования нарастающим итогом на определенном временном отрезке с заданным шагом.

Мотивация студентов, каждая ее компонента характеризуется большим набором параметров, которые измеряются в различных, порой несопоставимых между собой единицах.

В качестве оценки профессиональной мотивации $F(\{m_k\})$ и ее компонент $\{m_k(t_j)\}$, формирующихся за время обучения t_j, используем индикативный показатель – полярный знаковый индекс, успешно примененный для оценки компетенций студентов [2, 3], вида

$$I = 1 + \sum_{k=1}^{l} F_K \cdot U_K \cdot (i_K - 1), \quad (1)$$

где i_k – индикатор;
l – число индикаторов;
U_k – весовые множители, удовлетворяющие условиям

$$U_K > 0; \quad (2)$$

$$\sum_{K=1}^{l} U_K = 1. \quad (3)$$

Знаковый множитель F_k может принимать значения ± 1, при этом $F=1$ при прямо пропорциональной зависимости изменения i_k и индекса и $F=-1$ при обратно пропорциональной зависимости изменения i_k и индекса.

Различные мотивации формируются и развиваются у студентов по мере изучения учебных дисциплин, прохождения практик и стажировок. На одном интервале обучения t_j, например, семестр или стажировка, одна мотивация формируется в разных модулях дисциплин и стажировок. Ее уровень (индекс мотивации I^{mk}) определяется совокупностью из h модулей и в полярной структуре (1) имеет вид

$$I^{mK} = 1 + \sum_{i=1}^{h} F_i \cdot U_i \cdot (ind_i^K - 1), \quad (4)$$

где ind_i^K – значение индикатора K-ой мотивации h-го модуля;
U_i – весовой коэффициент модуля.

Весовые коэффициенты, позволяющие учесть требования Федеральных государственных образовательных стандартов, определяются экспертным путем и позволяют соотнести между собой важность различных мотиваций.

Для определения уровня мотивации студентов I наиболее часто применяют аддитивную форму оценки вида

$$I = \sum_{i=1}^{m} I_i. \quad (5)$$

Оценивание уровня профессиональной мотивации студентов можно осуществить с помощью известных положений теории вероятностей и математической статистики по аналогии с проводимыми оценками уровня компетентности студентов [4].

Статистические границы для среднего уровня любого показателя $\widetilde{I}$ определяются на основе интервальных оценок

$$\widetilde{I} = t_\beta \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (6)$$

где $\widetilde{I}$ – точечная оценка среднего уровня показателя I;
σ – среднее квадратичное отклонение показателя I;
t_β – табличное значение критерия Стьюдента;
n – количество наблюдений (в данной модели – число экспертов, участвующих в процедуре оценивания).

Проведя педагогический эксперимент, позволяющий выявить влияние широкого спектра учебных занятий, методов и приемов их проведения на формирование профессиональной мотивации студентов и заключающийся в сравнении результатов группы обучаемых (экспериментальной) по новым, к примеру, методикам и контрольной группы (обучаемой по традиционной методике), и получив в ходе эксперимента статистические оценки уровня мотивации студентов, необходимо установить степень достоверности сходства и различия исследуемых групп на основании полученных оценок.

Эта задача может быть решена путем использования различных статистических критериев (Крамера-Уэлча, Вилкоксона-Манна-Уитни, Фишера, x^2, Стьюдента и др.).

При ограничениях, что численность экспериментальной и контрольной групп не превышает 30 студентов, выборки являются зависимыми (связными) с равным числом измерений, можно использовать t-критерий Стьюдента, направленный на оценку различий величин средних $\bar{X}$ и $\bar{Y}$ двух выборках X и Y, которые распределены по нормальному закону.

Для использования t-критерия Стьюдента необходимо провести вычисления по следующим формулам:

$$t_{эмп} = \frac{\bar{d}}{S_d}, \quad (7)$$

$$\bar{d} = \frac{\sum d_i}{n} = \frac{\sum (x_i - y_i)}{n}, \quad (8)$$

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum d_i^2 - \frac{(\sum d_i)^2}{n}}{n(n-1)}}, \quad (9)$$

где x_i, y_i – соответствующие значения переменной X и Y;

n – величина равночисленных выборок X и Y.

Получив эмпирическое значение критерия tэмп, его необходимо сравнить с известным (табличным значением квантилей распределения Стьюдента) критическим значением критерия tкр. Входом в таблицу квантилей являются выбранный исследователем уровень значимости p и число степеней свободы $k=2(n-1)$.

Если эмпирическое значение критерия оказывается меньше или равно критическому, то можно утверждать, что характеристики экспериментальной и контрольной групп совпадают с заданным уровнем значимости p по статистическому критерию Стьюдента. В противном случае (если $t_{эмп} > t_{кр}$) достоверность различий характеристик экспериментальной и контрольной групп по статистическому критерию Стьюдента равна $(1-p)$.

Таким образом, если характеристики экспериментальной и контрольной групп до начала эксперимента совпадают с уровнем значимости p и одновременно с этим достоверность различий характеристик экспериментальной и контрольной групп после эксперимента равна $(1-p)$, то можно сделать вывод, что применение предлагаемого педагогического воздействия (например, новой методики обучения) приводит к статистически значимым на уровне $(1-p)$ по критерию Стьюдента отличиям результатов.

Предлагаемая методика позволяет оценить уровень профессиональной мотивации студентов, получить его статистическую оценку, установить степень достоверности полученной оценки, выявить вклад отдельных элементов основных образовательных программ в формирование и развитие профессиональной мотивации студентов.

Литература

1. Зорин И.В., Каверина Т.П., Квартальнов В.А. Туризм как вид деятельности. М: Финансы и статистика, 2005. 298 с.

2. Борисова Е.В. Квалиметрия компетенций в системе обеспечения качества военно-профессионального образования. М: ВА РВСН, 2011. 188 с.

3. Субетто А.И. Квалиметрия. Часть 3. Индексная квалиметрия. Л.: ВИКИ им. А.Ф. Можайского, 1983. 176 с.

4. Пустыльник Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. М: Наука, 1968. 288 с.

УДК 613.9; 613.6

ХАРАКТЕРИСТИКА ЦЕННОСТНЫХ ОРИЕНТАЦИЙ ВОЕННОСЛУЖАЩИХ-КОНТРАКТНИКОВ

Елена Ивановна Буданова
кандидат медицинских наук, доцент
заместитель начальника отдела
Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова
доцент кафедры экономики и сервиса
Серпуховской филиал ФГБОУ ВПО
«Российский государственный торгово-экономический университет»
Адрес: 127083, г. Москва,
Петровско-Разумовская аллея, д. 12а
Тел.: +7(495)656-33-52 E-mail: erkina_elena@mail.ru

Владимир Романович Медведев
заслуженный врач РФ,
кандидат медицинских наук, доцент
ведущий научный сотрудник
Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова
Адрес: 127083, г. Москва,
Петровско-Разумовская аллея, д. 12а
Тел.: +7(495)656-33-52

Тимур Саюпович Цуроев
начальник медицинской службы войск
Воздушно-космической обороны
Адрес: 143090, Московская обл.,
г. Краснознаменск
Тел.: +7(905)597-07-27
E-mail: tuti-kuba@mail.ru

Максим Викторович Фёдоров
начальник лаборатории
войсковая часть 32103
Адрес: 143090, Московская обл.,
г. Краснознаменск
Тел.: +7(915)319-66-28
E-mail: max200376@yandex.ru

По результатам исследований соматического, психофизиологического здоровья и качества жизни более 1200 военнослужащих контрактной службы, разделенных на группы по специфике военно-профессиональной деятельности, дана характеристика их ценностных ориентаций.

According to studies of somatic, physiological health and quality of life of more than 1200 contract servicemen, divided into groups according to the specifics of the military professional activity, the features of their value orientations.

Ключевые слова: социология военного образования, ценностные ориентации военнослужащих-контрактников, психофизиология военного труда.

Keywords: sociology of military education, value orientations of contract servicemen, psychophysiology military labor.

Реформирование Вооруженных сил России предусматривает мероприятия по переводу военной службы на профессиональную основу. В современных условиях неблагоприятное влияние на возможность полноценного комплектования армии и флота оказывают наблюдающиеся в нашей стране последнее десятилетие демографические проблемы и ухудшение состояния здоровья молодых людей, значительное снижение социального статуса всех категорий военнослужащих, падение престижа военной службы среди молодежи. В связи с этим существенно повышается роль человеческого фактора в поддержании боеспособности частей и подразделений, что особенно актуально в условиях продолжающегося социального кризиса [1-4].

Кроме этого в силу своей специфики (высокоинтенсивный труд, длительные психологические нагрузки, воздействие экологически неблагоприятных факторов, хронический стресс) военная служба как особый вид деятельности несет прямую угрозу здоровью и жизни военнослужащих [3-6].

Учитывая, что здоровье человека более чем на 50% определяется его образом жизни, весьма важным в оценке состояния здоровья военнос-

лужащих является изучение показателей, характеризующих отношение молодых людей к своему здоровью, места здоровья в системе их жизненных ценностей, медицинской грамотности, наличия вредных привычек, стрессов, неблагоприятных экологических факторов, социально-экономического положения военнослужащих-контрактников.

Характеристика исследования

В основу исследования положено изучение выборочным методом качества жизни 1210 военнослужащих-контрактников в различных силовых ведомствах. Все военнослужащие проходили военную службу по контракту на должностях рядового и сержантского состава. Военнослужащие, участвовавшие в исследовании, были сопоставимы по социальному статусу, материальному положению и жилищным условиям (проживали в казарме и общежитии-казарме). Поскольку качество жизни – сугубо субъективный показатель и его оценка возможна лишь в сравнительном аспекте с максимальным нивелированием всех сторонних факторов, сформированы три группы респондентов.

Разделение военнослужащих на группы проводили в рамках исследования влияния фактора «Специфика военно-профессиональной деятельности» на соматическое, психофизиологическое здоровье военнослужащих и качество их жизни. В первую группу включены курсанты военных вузов Минобороны России (n=400), во вторую – военнослужащие подразделений силовых структур и ведомств (n=453), в третью – рядовые и сержанты, проходящие военную службу по контракту в частях Минобороны России (n=357).

Обследование проводилось методом анкетирования респондентов с помощью специально разработанной анкеты-опросника, отличающейся от ранее известных включением показателей, характеризующих специфические особенности профессиональной деятельности военнослужащих, проходящих службу по контракту, образа жизни, духовности и др. Обработка информации осуществлялась в соответствии методиками, изложенными в [2, 3, 6, 7].

Результаты и обсуждение

Процентное соотношение ценностных типов характеризуется следующим соотношением: для изучаемых респондентов в исследуемых группах в большей степени (60,2%) характерна ориентация на ценности адаптации (здоровье, семья, материальный достаток), отражающие направленность на устранение тревоги по поводу физической и экономической безопасности, на сохранение достигнутого (*таблица 1*). Несколько меньше 29,1% ориентированны на ценности социализации (карьера, общественное признание). К промежуточному типу относятся 10,2% – направленных на социокультурное общение, гражданское право, законность и свободу. Невелико (0,5%) число обследованных, отнесенных к индивидуализирующемуся типу (самореализация, творчество, терпимость, экологическое состояние среды).

Результаты нашего исследования подтверждают описываемые многими авторами, отличия современного российского общества от западного, которые заключаются в значительно большей ориентации россиян на базовые ценности [1, 3].

Это, возможно, связано с социально-экономическими условиями нашей страны, которые объективно определяют серьезные ограничения в формировании направленности массового сознания на такие ценности, как свобода, ответственность и терпимость. Несмотря на то, что процент отнесенных к индивидуализирующемуся типу (самореализация, свобода, терпимость) невысок (0,5%), тем не менее, соответствует представлениям А.Маслоу о том, что к самоактуализирующимся личностям может быть отнесено порядка 1% населения любого общества [1].

В иерархии ценностей здоровье у всех участников исследования стоит на первом месте. При этом под сознательным пониманием важности здоровья и необходимости здорового образа жизни далеко не всегда стоят какие-либо действия по его реализации. И это, на наш взгляд, насущная проблема, которую необходимо решать в ближайшее время. Возможно, такое расхождение между представлениями и реальными действиями можно объяснить, с одной стороны, односторонним, недостаточно дифференцированным взглядом на здоровый образ жизни. С другой – принципы здорового образа жизни редко становятся руководством в поведении, так как они чаще всего навязаны извне и не являются личностными установками человека. В то же время сохранение здоровья как мотив деятельности возникает чаще всего в период зрелости, когда у человека обнаруживается множество заболеваний. Поэтому необходимо разработка специальных форм обучения здоровому образу жизни, которые позволяют расширить представления о нем, сделать внешние знания внутренними потребностями.

В таблице представлены основные факторы, обусловливающие состояние здоровья военнослужащих-контрактников. Ведущее место среди них занимают здоровый образ жизни, уровень

Таблица 1

Иерархия основных жизненных ценностей, факторов состояния здоровья и факторов физической подготовленности у военнослужащих-контрактников

Жизненная ценность	Группа военнослужащих-контрактников, балл			Ранг
	1-я	2-я	3-я	
Жизненные ценности				
Здоровье	1,66	2,22	2,16	1
Счастливая семейная жизнь	2,61	2,61	2,74	2
Материальный достаток	3,73	3,76	3,87	3
Профессиональный рост, карьера	4,25	4,52	4,76	4
Активная деятельная жизнь	5,67	5,35	5,29	5
Гражданское право, свобода, общественное признание	5,92	6,04	5,98	6
Социокультурное общение	6,07	6,20	5,86	7
Экологическое состояние среды	6,55	6,07	6,11	8
Творчество, счастье других, красота природы	8,58	8,19	8,23	9
Факторы состояния здоровья				
Здоровый образ жизни	2,61	3,01	3,31	1
Уровень жизни, материальный достаток	4,40	4,20	4,11	2
Условия труда	5,04	4,53	4,20	3
Рациональное питание	4,12	4,68	4,98	4
Экологическое состояние среды	4,99	4,80	4,76	5
Организация медицинского обеспечения	5,19	4,93	4,68	6
Физическая активность	4,72	5,29	5,46	7
Врожденные особенности наследственность	5,27	5,39	5,22	8
Другое	8,73	8,19	8,29	9
Факторы физической подготовленности				
Состояние здоровья	3,14	3,31	3,48	1
Переносимость стресса	3,23	3,36	3,49	2
Боеспособность	4,58	4,54	4,49	3
Преодоление жизненных трудностей	4,21	4,23	4,25	4
Настроение	4,57	4,44	4,30	5
Переносимость физических нагрузок	4,68	4,54	4,39	6
Общение на службе	5,83	5,68	5,52	7
Общение со сверстниками	6,70	6,74	6,78	8
Другое	8,06	8,18	8,31	9

жизни, материальный достаток, условия службы и рациональное питание. Меньшее влияние оказывают экологическое состояние среды, организация медицинского обеспечения, врожденные особенности и наследственность.

Для военнослужащих первой группы ведущим фактором в состоянии здоровья наряду с выше перечисленным является также физическая активность, хотя для остальных групп приоритетной была организация медицинского обслуживания.

Учитывая, что профессиональная деятельность у обследуемых военнослужащих-контрактников нередко может осуществляться в экстремальных условиях, им было предложено проранжировать значимость основных жизненных ценностей для специалистов экстремальных профессий. Оказалось, что ведущими потребностями военнослужащих-контрактников в порядке предпочтения являются: здоровье; семья, семейно-родовые отношения; достойный уровень жизни, удовлетворенность от реализации материальных и духовных благ; реализация учебно-профессиональных отношений, профессиональный рост; духовность профессионала и здоровом образе жизни.

Результаты ранжирования положительного влияния физической подготовленности на по-

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

казатели жизнедеятельности военных специалистов представлены в таблице 1. По мнению обследуемых, повседневная физическая активность улучшает состояние здоровья, повышает переносимость стресса, способствует боеспособности и преодолению жизненных трудностей. На такие показатели как настроение, общение по службе, общение со сверстниками ее влияние было оценено как менее значимое.

В основе образования жизненных ценностей лежат потребности, которые являются источником активности, первопричиной поведения человека. В исследовании было предположено, что удовлетворенность жизнью военнослужащими-контрактниками будет определяться реализацией выявленных в исследовании основных жизненных ценностей. В этом случае качество жизни определялось как многофакторное понятие, которое содержит *n*-мерную комбинацию удовлетворенности различных потребностей.

Военнослужащие-контрактники достаточно высоко оценили удовлетворенность жизнью. Обращает на себя внимание тот факт, что при сравнении этого показателя у обследованных респондентов различных групп уровень самооценки у первой группы самый высокий. Это может свидетельствовать о более оптимистичном восприятии ими окружающей действительности. А также о формировании опыта, более взвешенных оценок жизненных возможностей и перспектив у лиц более старшего возраста и вполне согласуется с оценками качества жизни молодых людей, полученных другими исследователями [1, 3].

При сравнении полученных данных с оценочной шкалой, военнослужащие всех трех групп имеют удовлетворительные и хорошие оценки качества жизни, что может указывать на незначительный риск нарушения адаптации у данной категории лиц.

Выявлена недостаточно высокая ориентированность военнослужащих-контрактников на ведение здорового образа жизни. В то же время интенсивность и напряженность оперативно-боевой и служебной деятельности, отдельные сложности с получением медицинской помощи обусловливают необходимость формирования у военнослужащих навыков здорового образа жизни и здоровьесберегающего поведения.

Выводы

В структуре жизненных ценностей военнослужащих-контрактников здоровье занимает первое ранговое место, что свидетельствует о его ведущей роли в формировании удовлетворенности военнослужащих качеством жизни. Военно-врачебным комиссиям военных комиссариатов при призыве граждан на военную службу по контракту рекомендовано включить в схемы обследования проведение скрининг-опросов по изучению качества и образа жизни призывников для раннего выявления среди них групп риска социальной и психической дезадаптации.

Литература

1. Евдокимов В.И. Качество жизни: оценка и системный анализ / В.И. Евдокимов, И.Э. Есауленко, О.И. Губина. Воронеж: Истоки, 2007. 240 с.

2. Кукушкин Ю.А. Автоматизированное оценивание риска нарушения состояния человека с помощью компьютерных вопросников на основе нечеткой логики / Ю.А. Кукушкин, В.М. Усов, А.В. Богомолов // Информационные технологии. 2002. №10. С. 44-49.

3. Ушаков И.Б. Паттерны функциональных состояний операторов / И.Б. Ушаков, А.В. Богомолов, Ю.А. Кукушкин. М.: Наука, 2010. 390 с.

4. Берзин И.А. Управление здоровьем персонала, занятого на работах с химическим оружием / И.А. Берзин, А.В. Богомолов, А.С. Сипаков // Химическое разоружение. 2005. №8. С. 10-16.

5. Богомолов А.В. Концепция математического обеспечения диагностики состояния человека // Информатика и системы управления. 2008. №2(16). С. 11–13.

6. Кукушкин Ю.А. Методика автоматизированного оценивания риска нарушения функционального состояния человека на основе компьютерных опросников / Ю.А. Кукушкин, А.В. Богомолов, В.М. Усов // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2002. №5-6. С. 114–120.

7. Козлов В.Е. Математическое обеспечение обработки рейтинговой информации в задачах экспертного оценивания / В.Е. Козлов, А.В. Богомолов, С.В. Рудаков, В.Т. Оленченко // Мир измерений. 2012. №9. С. 42-49.

AUTHORS

Andrey V. Afonin. Ministry of Defence of the Russian Federation.

Victor M. Aliushin. National Research Nuclear University "MEPhI". Moscow, Kashirskoye h., 31.

Elena I. Budanova. Candidate of Medical Science, associate Professor. Serpukhov branch of Russian State University of Trade and Economics. Moscow reg., Serpukhov, Moskovskoye h., 64.

Valentin I. Butin. Dr.Sci.Tech. Senior scientist.
All-Russia Research Institute of Automatics (VNIIA). Moscow, Sushevskaya st., 22.

Artem G. Bukin. Cand.Tech.Sci. Senior scientist. IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyuj l., 1a.

Andrey I. Dedul'. Senior scientist. Ministry of Defence of the Russian Federation.

Sergey Y. Dmitriev. Chief engeenier. "Metallist". Moscow reg., Serpukhov, Lunacharskogo st., 32.

Sergey V. Dvoriankin. Dr.Sci.Tech., professor. National research nuclear university "MEPhI". Moscow, Kashirskoye h., 31.

Natalia S. Efimova. Cand.Sci.(Econ.). Moscow Avation Institute. Moscow, Volokolamskoye h., 4.

Nikolay M. Emelin. Honoured scientist of RSFSR, Dr.Sci.Tech., professor. State Research and Consulting Centre. Moscow, Lusinovskaya st., 51.

Andrey A. Esev. Cand.Tech.Sci. Chief engeenier. State Flight Test Center the name of V.P. Chkalov. Moscow reg., Shelkovo-10.

Maxim V. Fiodorov. Ministry of Defence of the Russian Federation.

Galina D. Gritsenko. Candidate of Philosophy. Leading researcher. Southern Scientific Center of Russian Academy of Sciences. Stavropol, Pushkina st., 1.

Anatoliy V. Guliaev. Ministry of Defence of the Russian Federation.

Vladimir V. Haritonov. Cand.Tech.Sci., associate professor. Leading engeenier. State Flight Test Center the name of V.P. Chkalov. Astrakhan reg., Akhtubinsk.

Viacheslav M. Isaev. Dr.Sci.Tech., professor. First deputy of director. Mytishchi Research Institute of Radio Equipment. Moscow reg., Mytishchi.

Nikolay S. Kukin. Cand.Tech.Sci. Senior scientist, IPO "EPI". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyuj l., 1a.

Pavel N. Kundyshev. Postgraduate student. Engeenier.
All-Russia Research Institute of Automatics (VNIIA). Moscow, Sushevskaya st., 22.

Alexey I. Loskot. Ministry of Defence of the Russian Federation.

Sergey V. Maltsev. Lecturer. Moscow State University. Moscow, Leninskie Gory, 1.

Stanislav V. Maslov. Postgraduate student. IPO "IEP".
Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyuj l., 1a

Vladimir R. Medvedev. Candidate of Medical Science, associate Professor. Honored Doctor of Russian Federation. Military Medical Academy the name of S.M. Kirov. Moscow, Petrovsko-Razumovskaya al., 12a.

Alexey N. Merezhko. Leading engeenier. State Flight Test Center the name of V.P. Chkalov. Astrakhan reg., Akhtubinsk

Vladislav A. Mukminov. Cand.Tech.Sci. Ministry of Defence of the Russian Federation.

Ivan V. Nekrasov. Cand.Tech.Sci. Limited Liability Company «PSI». Moscow, Vavilova st., 24-1.

Ilia A. Nikitin. Chief specialist. Federal Service for Defence Contracts.

Oleg R. Nikitin. Honoured scientist of Russia, Dr.Sci.Tech., professor, head of Department. Vladimir State University. Vladimir, Gorky st., 87

Victor N. Orlov. Dr.Sci.(Phys.–Math.). Chair of Department. Chuvash State Pedagogical University the name of I.A. Yakovlev. Cheboksary, Karla Marksa st., 38.

Alexey V. Osin. Cand.Tech.Sci. Vladimir State University. Vladimir, Gorky st., 87.

Alevtina Z. Pchelova. Postgraduate student. Chuvash State Pedagogical University the name of I.A. Yakovlev. Cheboksary, Karla Marksa st., 38.

Valeriy G. Rau. Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor. Vladimir State University. Vladimir, Gorky st., 87.

Tamara F. Rau. Doctor of Physical and Mathematical Sciences, associate professor. Vladimir State University for the Humanities. Vladimir. Stroiteley av., 11.

Sergey A. Redkozubov. Dr.Sci.Tech., professor, academician of Russian Academy of Natural Sciences. Chair of Department. Moscow State Mining University. Moscow, Leninskiy av., 6.

Pavel A. Riabov. Postgraduate student. Russian International Academy for Tourism. Moscow reg., Khimki, Gorkogo st., 7.

Valeriy M. Romanov. Cand. Sci. (Econ.). Moscow Avation Institute. Moscow, Volokolamskoye h., 4.

Mikhail V. Rufitskiy. Dr.Sci.Tech., professor. Vladimir State University. Vladimir, Gorky st., 87.

Rinat N. Sadekov. Cand.Tech.Sci., associate professor. Ph.d. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Vladimir M. Samartsev. Scientist. IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyuj l., 1a.

Evgeniy V. Shmyrin. Senior scientist. IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyuj l., 1a.

Konstantin V. Skvortsov. Vladimir State University. Vladimir. Gorky st., 87.

Lioudmila N. Soloviova. Candidate of Philosophy. Moscow Avation Institute. Moscow, Volokolamskoye h., 4.

Alexey I. Tikhonov. Cand.Tech.Sci., associate professor.
Moscow Avation Institute. Moscow, Volokolamskoye h., 4

Alexey N. Tzar'kov. Honoured scientist of Russia, Dr.Sci.Tech., professor. President of IPO "EPI". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyuj l., 1a.

Timur S. Tsuroev. Chief of Medical Service. Russian Aerospace Defence Forces. Moscow reg., Krasnoznamensk.

Valeriy N. Umnikov. Dr.Sci.Tech, professor. IPO "EPI". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyuj l., 1a.

Yuri V. Voynov. Ministry of Defence of the Russian Federation.

Marfa G. Zavodchikova. Vice-president. IPO "EPI". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyu l., 1a.

Vladimir V. Zelenevskiy. Dr.Sci.Tech, professor. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Yuriy V. Zelenevskiy. Cand.Tech.Sci., associate professor. Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow, Kitaygorodskiy d., 9/5.

Andrey P. Zykin. Joint stock company "ROSTVERTOL". Rostov-on-Don, Novatorov st., 5.

Artem N. Zolotov. Postgraduate student. Vladimir State University. Vladimir. Gorky st., 11

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 (WinWord 6.0 или 7.0). Иллюстративный материал (сложные формулы, рисунки, фотографии и т.д.) кроме размещения в тексте обязательно должны предоставляться отдельными файлами!

❍ на бумажном носителе формата А4.

Текст статьи должен быть набран через 1,5 интервала (гарнитура «Times New Roman»), кегль 14.

Простые символы, формулы и буквы не набирать в математическом редакторе!

Напечатанный текст должен иметь поля: верхнее и левое – 2,5 см, правое и нижнее – 2 см.

Вверху первой страницы статьи размещаются:

❍ рубрика журнала (см. *Приложение 1*);

❍ УДК;

❍ название статьи;

❍ имя, отчество, фамилия автора (авторов), ученая степень, ученое звание, должность и место работы.

Список литературы (Литература) размещается в конце статьи.

После литературы помещается:

❍ список ключевых слов;

❍ краткая аннотация (1–2 абзаца, но не более одного листа А4) на русском и английском языках.

Завершает рукопись полная информация об авторе (авторах):

❍ ФИО;

❍ ученая степень, ученое звание, должность и место работы;

❍ адрес места работы, контактные телефоны, электронный адрес (по желанию автора – домашний адрес и телефон).

Перевод на английский язык ФИО автора, ученых степени и звания, должности и места работы.

Обращаем особое внимание на:

❍ точность и правильность библиографического оформления списка литературы (в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008);

❍ выверенность статьи в компьютерном наборе;

❍ полное соответствие файла на электронном носителе (диске, дискете) и бумажного варианта.

Редакционная коллегия оставляет за собой право на редактирование статей, при этом с точки зрения научного содержания авторский вариант сохраняется.

Статьи, не принятые к публикации, не возвращаются.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается!

Приложение 1

Рубрикация журнала
«Известия Института инженерной физики»

Управление, вычислительная техника и информатика

- Технологии обработки и передачи данных;
- Средства и методы защиты информации;
- Информационно-расчетные системы;
- Вычислительные методы;
- Тестирование и сертификация программно-аппаратного обеспечения;
- Компьютерные сети и системы;
- Новые информационные технологии;
- Электромагнитная безопасность систем и комплексов;
- Искусственный интеллект;
- Базы данных;
- Моделирование процессов управления и оптимизации;
- Информационные технологии проектирования;
- Информационные технологии в образовании;
- Геоинформационные системы;
- Программно-аппаратное обеспечение;
- Автоматизированные системы управления;
- Компьютерная графика.

Электроника, измерительная техника, радиотехника и связь

- Методы и способы измерения, оценка погрешностей;
- Информационно-измерительные системы;
- Методы обработки сигналов;
- Диагностические системы;
- Радиоэлектронные системы;
- Антенны, распространение радиоволн;
- Элементная база;
- Радиотехническая аппаратура;
- Системы связи.

Разовые рубрики:

- Навигация;
- Механика твердого тела;
- Техника общего назначеня;
- Инновационные проекты.

Постоянные подрубрики:

- Совершенствование образования;
- Подготовка кадров.

В соответствии с Решением Межведомственной комиссии РФ по защите государственной тайны №69 от 26 февраля 2001 г., требованиями законов №5485-1 «О государственной тайне» от 21 июля 1993 г., №149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и защите информации» от 27 июля 2006 г. статьи для публикации принимаются только при наличии экспертного заключения с разрешением на открытое опубликование.