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

В НОМЕРЕ

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

2 **В.И. Злобин, В.М Самарцев.** Методология математического моделирования процесса обеспечения информационной безопасности радиосистем на основе принципов динамической адаптации

6 **В.Г. Грибунин, Д.А. Токарев.** Стеганографический анализ изображений, представленных в оптимальном базисе вейвлет-пакетов

12 **И.А. Бугаков, А.В. Черников.** Состояние и перспективы защиты персональной информации держателя банковской карты

17 **А.И. Куприянов.** Оптимизация мер по активной защите информации на основе арбитражного подхода

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ

21 **Н.С. Кукин, А.В. Нижниковский, М.П. Коваленко, С.Е. Потапов.** Использование линейных алгоритмов для фильтрации и экстраполяции угловых координат цели

27 **Д.В. Смирнов, В.И. Алешин, М.А. Кондрашин, А. А. Коробков, А.Н. Фуров, А.В. Свистунов.** Методы обеспечения безопасности полетов околоземных космических аппаратов при условии наличия космического мусора

32 **Б.Ф. Безродный, Е.М. Борисов, Е.А. Михеев.** Метод оптимизации процесса модернизации производственного предприятия

37 **А.В. Гуляев, С.Г. Данилюк.** Задача рационального управления доставкой ресурса при производстве продукции специального назначения в условиях наличия слабоструктурированной информации

ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

41 **В.В. Зеленевский, Ю.В. Зеленевский, Е.В. Шмырин.** Эффективность преобразования недвоичных кодов Рида-Маллера

ИНФОРМАЦИОННО-РАСЧЕТНЫЕ СИСТЕМЫ

44 **Н.А. Сергеева.** Синтез стохастического регулятора системы автоматического управления антенной, эквивалентной комбинированной

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

49 **А.А. Котов, И.А. Никитин.** Методический подход к формированию и выбору рациональной логической структуры экспертно-информационной системы управления развитием вооружения

54 **И.А. Бугаков, А.И. Куприянов, В.Н. Умников, Е.В. Умников.** Развитие комплексной обработки информации в современных и перспективных системах контроля и управления

58 **В.М. Ванюшин, Д.В.Островский, С.Н. Шиманов, В.А. Цимбал.** Обоснования требуемой производительности аппаратно-программных средств управления узла связи с заданной оперативностью реакции

СИСТЕМЫ СВЯЗИ

62 **С.Е. Орехов.** Численный метод анализа временных характеристик случайного процесса, описываемого поглощающей конечной марковской цепью

66 **Ю.А. Пушкарёв, Е.Ю. Пушкарёва.** Методические основы комбинированного терминального управления антенной радиотехнической станции в космических телекоммуникационных системах

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

71 **С.Г. Данилюк, А.В. Сидоров.** Математическая модель взаимодействия объекта и средств контроля для информационно-аналитической системы анализа неисправностей и разработки диагностического обеспечения физико-энергетических установок

77 **С.Г. Данилюк, Ю.А. Романенко, А.В. Сидоров.** Обоснование подхода к разработке программ контроля работоспособности и поиска неисправностей в функциональных узлах и системах физико-энергетических установок

ТЕХНИКА ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

81 **А.П. Ситников, Д.Е. Сорокин.** Перспективы развития и применения роторных двигателей

86 **Д.Е. Сорокин.** Перспективы применения многотопливных роторных двигателей на новых видах вооружения и военной техники

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

90 **А.В. Иващенко.** Инновационные подходы к совершенствованию системы социальной поддержки военнослужащих

93 **В.Н. Умников.** Интегрологические проблемы и системные механизмы социального комплементирования

ПОДГОТОВКА КАДРОВ

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

102 **И.И. Колтунов, О.Н. Андрух, М.К. Чадунели.** Формирование системы профориентации в интересах предприятий ОПК

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 10.09.2013. Тираж 2000 экз.
© Межрегиональное общественное учреждение
«Институт инженерной физики» (ИИФ), 2013

научно-технический журнал
Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ
№ 3 (29)
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

Игорь Александрович Бугаков

Вице–президент МОУ «ИИФ» по инновационным проектам
заслуженный изобретатель РФ
доктор технических наук
профессор

Уважаемые коллеги!

Одним из важных показателей эффективности деятельности научной организации и квалификации ее сотрудников является их публикационная активность. Количество и качество изданных научных трудов, их признание со стороны научной общественности существенно влияют на имидж и конкурентоспособность сотрудника и организации, на результаты формирования пакета заказов на проведение научных исследований и создание инновационной продукции.

В настоящее время в мировой практике для оценивания публикационной активности широкое распространение получили различные индексы цитирования, построенные на основе как интегрированных, мультидисциплинарных (Web of Science, Scopus), так и специализированных (по конкретным областям знаний) систем (Astrophysics, Mathematics, DBLP, PubMed, Chemical Abstract Service, GeoRef, BioOne и др.). Существуют и национальные системы.

В России такая система функционирует с 2005 года на платформе научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU (http://elibrary.ru/) – система РИНЦ – Российский индекс научного цитирования. Зарегистрировавшись в этой системе в качестве автора, каждый получает возможность ознакомиться с интересующей его информацией.

В качестве показателей научного цитирования для авторов чаще всего используют среднее число цитирований на одну статью, а также индекс Хирша (h-index), для журналов – импакт-фактор.

В настоящее время Институт инженерной физики заключил договор с научной электронной библиотекой eLIBRARY.RU на использование информационно-аналитической системы «SCIENCE INDEX (организация)», в рамках которого будут уточняться и дополнительно вноситься в систему РИНЦ отсутствующие в ней труды сотрудников Института (монографии, диссертации, публикации в сборниках трудов, учебные пособия, отчеты, патенты и др.), проводиться сравнительный анализ публикационной активности авторов и подразделений Института.

Наша задача – системно наращивая публикационную активность, обеспечить непрерывное повышение показателей научного цитирования сотрудников Института и рост импакт-фактора журнала «Известия Института инженерной физики».

УДК 623.62

МЕТОДОЛОГИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РАДИОСИСТЕМ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ ДИНАМИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ

Владимир Иванович Злобин
заслуженный деятель науки РФ
доктор технических наук, профессор
ведущий научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)36-20-48

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

В статье рассматриваются принципы математического моделирования процесса обеспечения информационной безопасности радиосистем на основе целенаправленного изменения параметров излучений радиоустройств и структуры конфигурации радиосистемы с целью достижения требуемого уровня защищенности системы.

The article discusses the principles of mathematical modeling of the process of information security radio systems based on purposeful change the radio emission and the structure of the radio configuration to achieve the desired level of security of the system.

Ключевые слова: адаптация, защищенность, параметр, радиоустройство, радиосистема, структура, система, связь.

Keywords: adaptation, security, option, radio, radio, structure, system, and communications.

Информационная безопасность радиосистемы (РС) – это ее свойство противостоять попыткам нанесения ущерба системе и циркулирующей в ней информации при различных преднамеренных и непреднамеренных воздействиях на нее.

Иначе говоря, это защищенность РС от случайного или преднамеренного вмешательства в процесс ее функционирования, а также от попыток хищения, модификации или разрушения циркулирующей в ней информации [1].

В «Доктрине информационной безопасности Российской Федерации» особо подчеркивается необходимость первоочередного решения задачи разработки современных методов и средств защиты информации, обеспечения безопасности информационных технологий, и прежде всего, используемых в системах управления войсками и оружием [2]. В этих условиях защищенность РС следует рассматривать как способность противостоять обнаружению радиосигналов радиоустройств (РУ) и измерению их параметров (защищенность параметров излучений РУ) и способность РС противостоять вскрытию ее структуры и состава конфигурации (защищенность структуры конфигурации РС). В связи с тем, что РС относится к сложным стохастическим системам, ее защищенность должна оцениваться вероятностными показателями: вероятностью защищенности параметров излучений радиоустройств $P_{зп}$ и вероятностью защищенности структуры конфигурации радиосистемы $P_{зс}$.

Современная адаптивная радиосистема включает в свой состав множество РУ различного функционального назначения, которые выполняют функции приемо-передающих комплексов. Такая РС представляет собой совокупность программных и технических средств, предназначенных для решения задач получения, передачи, преобразования, хранения и использования информации. Функционирование РС характеризуется, прежде всего, количеством и качеством передаваемой информации. В общем случае количество будет определяться ско-

ростью передаваемой информации, а качество – точностью передаваемых сообщений по каналу связи. Процесс динамической адаптации обеспечивает при неполной априорной информации о внешних воздействиях качество процесса функционирования РС в условиях обеспечения информационной безопасности системы. Если основной контур оперативного управления системой обеспечивает ее количественные показатели, то контур адаптивного управления обеспечивает качественные показатели информационной безопасности системы. Причем, если задача основного контура управления – синтез оптимального решения, то задача контура адаптивного управления – оценка и прогнозирование качества функционирования системы и поддержание его на заданном уровне, то есть поиск рационального решения. Для РС под адаптацией понимается процесс целенаправленного изменения, на основе текущей информации, параметров (параметрическая адаптация) и структуры (структурная адаптация) системы, а также управляющих воздействий на нее с целью достижения требуемых значений вероятности защищенности параметров излучений радиоустройств $P_{зп}$ и вероятности защищенности структуры конфигурации радиосистемы $P_{зс}$ [3].

При решении задачи математического моделирования процесса параметрической адаптации состояние РС может быть охарактеризовано векторным случайным процессом, определяющим эволюцию во времени системы как объекта контроля и управления. Под воздействием дестабилизирующих факторов конструктивного и эксплуатационного характера происходит изменение параметров излучений РУ, в результате чего изменяет свое состояние и векторный случайный процесс. Если РУ при переходе из одного состояния i в другое состояние j пребывает в данном состоянии случайное время, имеющее произвольное распределение, то математическая модель такого процесса может быть представлена полумарковским процессом. Отказ от требования показательного распределения времени пребывания РУ в каждом состоянии и есть главное свойство полумарковского процесса. Представление РУ управляемым полумарковским процессом позволяет положить в основу параметрической адаптации теорию управляемых случайных процессов.

Для конечного множества состояний случайного процесса, представленных как

$$r \equiv R, \quad r_i, \quad i \in [1, n] \qquad (1)$$

и конечного множества управляющих воздействий на радиоустройства

$$u \equiv U, \quad u_j, \quad j \in [1, m] \qquad (2)$$

может быть представлен кортеж

$$\{R, p^{(u)}, U, G^{(u)}\}, \qquad (3)$$

в котором $p^{(u)}$ и $G^{(u)}$ представляют собой матрицу вероятностей переходов РУ из состояния i в состояние j и матрицу условных распределений вероятностей, характеризующих время пребывания РУ в состоянии r_i, перед переходом в состояние r_j

$$p^{(u)} = \|p_{ij}^{(u)}\|; \; G^{(u)} = \|g_{ij}(\mathrm{r}|\mathrm{u})\|. \qquad (4)$$

Цель управления состоянием РС будет заключаться в удержании траектории процесса в области допустимых значений контролируемых и управляемых параметров излучений РУ в течение времени функционирования системы.

Управление вероятностью защищенности параметров излучений РУ будет осуществляться путем воздействия на изменяющиеся во времени параметры. При этом обеспечивается требуемое значение вероятности $P_{зп}$, соответствующей максимальному значению времени, характеризующему пребывание РС в состоянии, обеспечивающем выполнение заданных требований по защищенности параметров излучений.

При математическом моделировании процесса структурной адаптации РС как объект контроля и управления может быть представлена иерархической системой, на нижнем уровне которой находятся образующие – радиоустройства различного функционального назначения, на следующих уровнях – конфигурации различных структур. Конфигурация РС представляет собой комбинацию РУ с помощью связей. В общем случае она определяется составом РУ, структурой связей между ними и способом соединения связей

$$K_{рс} = [a(l), b(l), c(l)], \qquad (5)$$

где $a(l)$ – n-мерный вектор индексов типов РУ в системе; $b(l)$ – структура связей между РУ; $c(l)$ – способ соединения связей в системе.

Множеств РУ в радиосистеме может быть представлено набором

$$L_{ру} = [l_1, l_2, \ldots, l_3]. \qquad (6)$$

После определения и задания состава и структуры конфигурации РС необходимо однородную по времени модель дополнить стохастическим механизмом, отражающим переходы состава РУ и структуры связей между ними от одних состояний к другим. На первом этапе решения этой задачи необходимо отразить динамику конфигурации РС с учетом доминирующего влияния отдельных РУ. На втором этапе необходимо ввести меру на пространстве конфигураций, позволяющую тем или иным способом определить отношение различных структур между собой, то есть определить распределение вероятностей между ними.

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

Процесс реконфигурации РС, лежащий в основе структурной адаптации, должен отражать развитие структуры доминирования некоторой исходной конфигурации за интервал управления в конечную конфигурацию. Причем, изменяемыми величинами могут быть: количество РУ и их типов; интенсивность соединения и обрыва связей между всей совокупностью РУ в конфигурации РС; показатель связей в системе.

Изменяя состав РУ в системе, характер связей между ними, а также комбинаторное правило и способ соединения связей в структуре конфигурации РС, можно управлять вероятностью защищенности структуры конфигурации радиосистемы $P_{зс}$.

В процессе динамики конфигурации РС уравнение развития структуры доминирования может быть представлено соотношением

$$K_{рс}(t+\Delta t_u) = V_{кр}\ K_{рс}(t),\ t = 1, 2, \ldots, m, \qquad (7)$$

где t – время;

Δt_u – интервал управления;

$V_{кр}$ – функция, отражающая операции по соединению и обрыву выходных – $к$ и входных – $р$ связей.

Входные и выходные связи РУ могут изменяться в соответствии с заданным алгоритмом. Динамика конфигурации РС в общем случае может быть определена отношением доминирования

$$q_{рс} = \sum_{A(K)} \lambda_{кр} + \sum_{B(K)} \mu_{кр}, \qquad (8)$$

где $\lambda_{кр}$ – интенсивность соединения связей между РУ в системе;

$\mu_{кр}$ – интенсивность обрыва связей между РУ;

$A(K)$ – операция над конфигурацией по соединению связей;

$B(K)$ – операция над конфигурацией по обрыву связей.

Динамика конфигурации будет такой, что приводит к вероятности $P_к$ на множестве РУ. Если в момент времени t конфигурация радиосистемы $K_{1рс}$, а в момент времени $(t+\Delta t_u)$ она перейдет в конфигурацию $K_{2рс}$ и будет оставаться постоянной, то вероятность этого события $P_к$ может быть определена соотношением

$$P_к = \left(e^{-\Delta t_u \cdot q_{1рс}} - e^{-\Delta t_u \cdot q_{2рс}}\right) \Big/ \left(q_{2рс} - q_{1рс}\right) \cdot \lambda_{кр}, \qquad (9)$$

где $q_{1рс}$с и $q_{2рс}$ – отношения доминирования для исходной конфигурации $K_{1рс}$ и переходной $K_{2рс}$ соответственно [4].

Для категорий пространств конфигураций типа «дерева» вероятность выбора комбинаторного правила $P_{кп}$ соединения связей в иерархической структуре РС с разным числом «деревьев» вывода можно определить как

$$P_{кп} = n_\delta (1-P_\beta)^{\delta-1} \times P_\beta^{\ \delta}, \qquad (10)$$

где P_β – вероятность выбора j-го «дерева», $0<P_\beta<1$;

δ – число применений правил соединения РУ с вероятностью P_β; n_δ – заданное число «деревьев» вывода в конфигурации РС.

С учетом соотношений (9) и (10) вероятность защищенности структуры конфигурации радиосистемы $P_{зс}$ может быть определена как

$$P_{зс} = P_к \times (1 - P_{кп}). \qquad (11)$$

Важное значение при решении задачи обеспечивая защищенности структуры конфигурации РС имеет выбор состава структуры РС с включением в число образующих систему РУ имитирующих радиоустройств.

Для оценки вероятности защищенности параметров излучений РУ может быть использована мера сходства, характеризующая близость математических описаний контролируемого радиоустройства $M_{РУк}$ и его модели $M_{РУэ}$. В рамках известной концепции близость в теории распознавания образов, в случаях, когда статистические характеристики сравниваемых математических описаний присутствуют в явном виде, наиболее полезной мерой сходства между описаниями является функция расстояния а

$$\alpha = [\, M_{РУк}, M_{РУэ}\,]. \qquad (12)$$

При этом в основу алгоритма идентификации может быть положен принцип прецедентности, лежащий в основе принятия решений по аналогии: в сходных ситуациях можно действовать аналогично. Существо данного алгоритма заключается в вычислении приоритетов (оценок сходства), характеризующих близость математических описаний контролируемого и эталонного радиоустройств по системе ансамблей параметров [4, 5]. Решающее правило алгоритма идентификации будет иметь вид

$$M_{РУк} \in M_{РУэ}, \text{ если } \alpha = [\, M_{РУк}, M_{РУэ}\,] \leqslant \text{мин}. \qquad (13)$$

Для РУ с аналоговыми значениями параметров излучений в качестве меры сходства может быть использовано расстояние Махаланобиса α_M

$$\alpha_M = (\mu_э - \mu_к) T\, C_к^{-1} (\mu_э - \mu_к), \qquad (14)$$

где mэ и mк – средние значения параметров излучений контролируемого $РУ_к$ и статистической эталонной модели $РУ_э$;

T – знак транспонирования матрицы;

$C_к^{-1}$ – обратная ковариационная матрица параметров излучений РУ.

В соответствии с алгоритмом, представленном в [6], вероятность защищенности параметров излучений $P_{1зп}$ радиоустройств с аналоговыми значениями параметров может быть представлена выражением

$$P_{1зп} = F\,[F^{-1}(1 - P_{лu}) - \alpha_M], \qquad (15)$$

где F – функция Лапласа;

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

Для РУ с дискретными значениями параметров вероятность $P_{2зп}$ может быть получена на основе сравнения кодовых последовательностей векторов параметров $РУ_к$ и $РУ_э$. Если вектор параметров $z_к = (z_{1к}, z_{2к}, \ldots, z_{hк})$ контролируемого $РУ_к$ отличается от вектора параметров $z_э = (z_{1э}, z_{2э}, \ldots, z_{hэ})$ эталонного $РУ_э$ в d_x позициях, то число d_x представляет собой расстояние Хэмминга между векторами $z_к$ и $z_э$.

Вероятность защищенности параметров излучений $РУ_к$ может быть определена с помощью выражения

$$P_{2зп} = 1 - [(P_{01}^{к})^{dx} \cdot (1 - P_{01}^{к})^{h-dx}, \quad (16)$$

где $к$ – разряд кодовой последовательности;
h –число разрядов;
$P_{01}^{к}$ – вероятность того, что в $к$-ом разряде кодовой последовательности, состоящей из h разрядов, в заданный момент времени будет информационная единица или ноль

$$P_{01}^{к} = P_1^m (1 - P_1)^{1-m}, \quad (17)$$

где P_1 – вероятность появления единицы в в $к$-ом разряде;
m – число, равное 1 или 0.

В заключение необходимо отметить, что изменяя состав РУ в радиосистеме, характер связей между РУ, а также комбинаторное правило и способ соединения связей в структуре конфигурации РС, можно управлять вероятностью защищенности структуры конфигурации радиосистемы $P_{зс}$.

В свою очередь, управление уровнем защищенности параметров излучений радиоустройств будет заключаться в корректировке основных параметров РУ с целью сближения математических описаний контролируемого $РУ_к$ с его эталонной моделью $РУ_э$.

Литература

1. Мельников В.В. Безопасность информации в автоматизированных системах. М.: Финансы и статистика, 2003. 368 с.

2. Доктрина информационной безопасности Российской Федерации // НВО, 2000. №38.

3. Злобин В.И. Интеллектуальные адаптивные системы и комплексы в связи и управлении: Монография / В.И. Злобин, М.В. Иващенко. М.: МО РФ, 2005. 276 с.

4. Злобин В.И. Принципы построения сложных адаптивных систем в связи и управлении: Монография / В.И. Злобин [и др.]. М.: МО РФ, 1998. 294 с.

5. Самарцев В.М. Метод активизации радиотехнического контроля на основе концепции мониторинга функционирования радиоэлектронных средств // Известия Института инженерной физики, 2013. №2(28). С. 51-53.

6. Злобин В.И. Принципы построения алгоритмов идентификации адаптивных систем радиосвязи / В.И. Злобин [и др.] // Электросвязь, 2000. №2. С. 32-34.

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

УДК 004.056.55

СТЕГАНОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ В ОПТИМАЛЬНОМ БАЗИСЕ ВЕЙВЛЕТ-ПАКЕТОВ

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

Дмитрий Александрович Токарев
начальник группы
Министерство обороны РФ

Для стеганографического анализа изображений предложено их представление в базисе вейвлет-пакетов. Рассмотрен алгоритм оптимального нахождения базиса разложения, основанный на усечении древовидного векторного квантователя, известный как GBFOS. Описаны полученные результаты стеганографического анализа с использованием коэффициентов полученного базиса и структуры дерева вейвлет-пакетов.

For the purpose of steganographic analysis of images we have proposed use of wavelet packet transform. In this paper we described in detail pruning algorithm of tree of wavelet packets called in literature GBFOS. We described practical results using of coefficents of wavelet packets with structure of tree for the purpose of steganalysis.

Ключевые слова: стеганографический анализ, изображения, вейвлеты, вейвлет-пакеты, векторное квантование, искажение, скорость.

Keywords: steganographic analysis, images, wavelet, wavelet packet, vector quantization, speed.

1. Стеганографический анализ и задача моделирования изображений

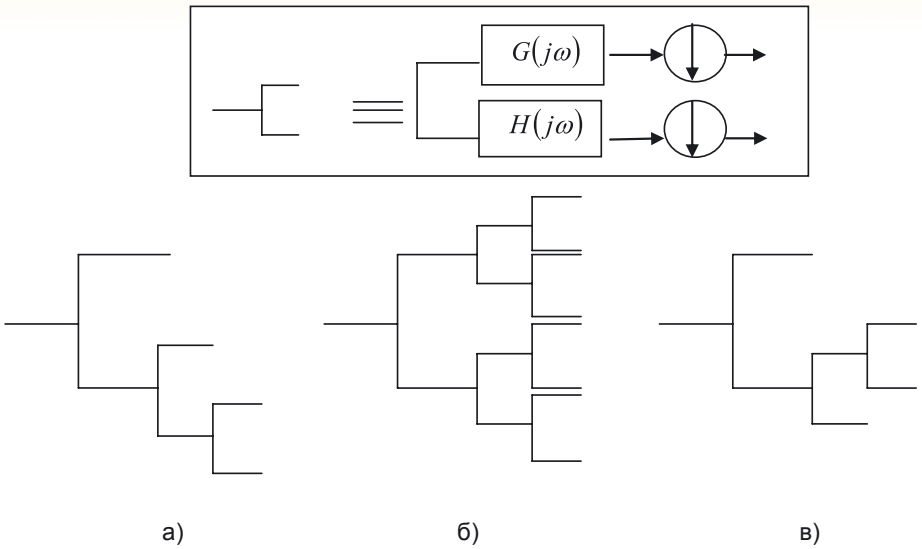
Задачей стеганографического анализа является выявление факта наличия стеганографического вложения информации в заданный контейнер. В качестве контейнера наиболее часто используются, в силу их распространенности, цифровые изображения. Факт наличия вложения определяется, как правило, в вероятностном смысле. Вводятся понятия вероятности необнаружения и вероятности ложной тревоги, и эффективность алгоритма стеганографического анализа обычно связана с тем, насколько малы эти вероятности [1][2].

В задачах стеганографического анализа важнейшее значение имеет использование моделей изображений. В самом деле, если бы класс «реальных» изображений был полностью описан, то факт наличия вложения в них обнаруживался бы тривиально.

Проблема заключается в отсутствии адекватных моделей изображений. Та же проблема имеется и в области разработки алгоритмов сжатия изображений: от того, насколько точно, экономно мы сможем описать изображение, зависит эффективность алгоритма сжатия. Поэтому подходы к сжатию и к стеганографическому анализу изображений могут быть близки.

В настоящее время повсеместно используемым алгоритмом сжатия изображений, описанный в стандарте JPEG. Он основан на применении к изображению двумерного дискретного косинусного преобразования, скалярном квантовании и энтропийном кодировании коэффициентов преобразования. В более эффективном с точки зрения достигаемой степени сжатия стандарте JPEG 2000 используется вейвлет-преобразование изображения [3].

Эффективность алгоритма сжатия зависит от выбранного базиса разложения. Декомпозиция изображения по базису вейвлетов основана на предположении о низкочастотном в среднем характере изображения (*рисунок 1а*). Для большинства сигналов изображений это предположение верно. Однако существуют важные классы изображений, имеющие преимущественно высокочастотный характер, например, сцены поля боя. Отсюда вытекает идея поиска другого базиса разложения для кодирования преимущественно высокочастотных изображений.



а) б) в)

Рис. 1. Разбиение частотно-временной плоскости при помощи пакетов вейвлетов: (а) вейвлет-преобразование; (б) полное дерево вейвлет-пакетов; (в) усеченное дерево вейвлет-пакетов

При анализе сигналов применение находят алгоритмы, основанные на декомпозиции по базису вейвлет-пакетов [4]. При этом получается адаптивное к сигналу разбиение частотно-временной плоскости. Метод вейвлет-пакетов основан на определении того, в какой области на данном уровне разрешения выгоднее производить разбиение сигнала. Базис вейвлет-пакетов строится следующим образом: вначале с использованием вейвлет-фильтров строится полное сбалансированное дерево (*рисунок 1б*), а затем оно усекается на основе некоторого критерия. В результате получается конфигурация дерева, являющаяся оптимальной для данного сигнала в смысле выбранного критерия (*рисунок 1в*). При этом если исходный набор фильтров был ортогональным, то и схема, соответствующая любой конфигурации дерева, будет ортогональной, так как она есть не что иное, как каскадное соединение ортогональных блоков фильтров.

Информацию о конфигурации дерева надо дополнительно передавать декодеру. Таким образом, получается базис, адаптированный к сигналу. Отметим, что эта адаптация не требует обучения или знания статистических свойств сигнала.

2. Алгоритм нахождения оптимального разбиения и оптимальных кодовых книг

В качестве критерия усечения дерева вейвлет-пакетов в задачах сжатия может использоваться функция стоимости в виде функционала Лагранжа $J = D + \lambda R$, где D – искажение изображения, R – скорость кодирования (число бит на отсчет), λ – множитель Лагранжа. В работе [5] представлен алгоритм сжатия, использующий разложение в базис вейвлет-пакетов и данную функцию стоимости. При этом решение на каждом узле принимается так, как это показано на *рисунке 2*.

Недостатком алгоритма [5] является эвристический выбор квантователя (скалярного) и начального наклона λ. Возможны ситуации, когда из-за неудачных начальных значений оптимальная кодовая книга не будет найдена. Поэтому целесообразно использовать алгоритм, гарантирующий нахождение оптимальной кодовой книги. При этом для кодирования коэффициентов субполос вейвлет-пакетов применим усеченный древовидный векторный квантователь (УДВК).

Алгоритм получения УДВК называется GBFOS [6] и заключается в следующем. Вначале строится кодовая книга древовидной структуры со скоростью, значительно превышающей требуемую. Затем выполняется адаптивное к сигналу усечение этой книги, осуществляемое по некоторому критерию. В результате получается некоторое несбалансированное дерево, отражающее статистику входного сигнала. Структура получившегося дерева передается декодеру. Известно, что УДВК эффективен в случае, когда плотность распределения вероятностей источника имеет ярко выраженный неравномерный характер [7]. Как раз это и имеет место в случае коэффициентов вейвлет-пакет разложения. На выходе УДВК получаются кодовые последовательности с переменной скоростью, что позволяет отводить большее количество бит для кодирования сигналов в области большей энергетической значимости.

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

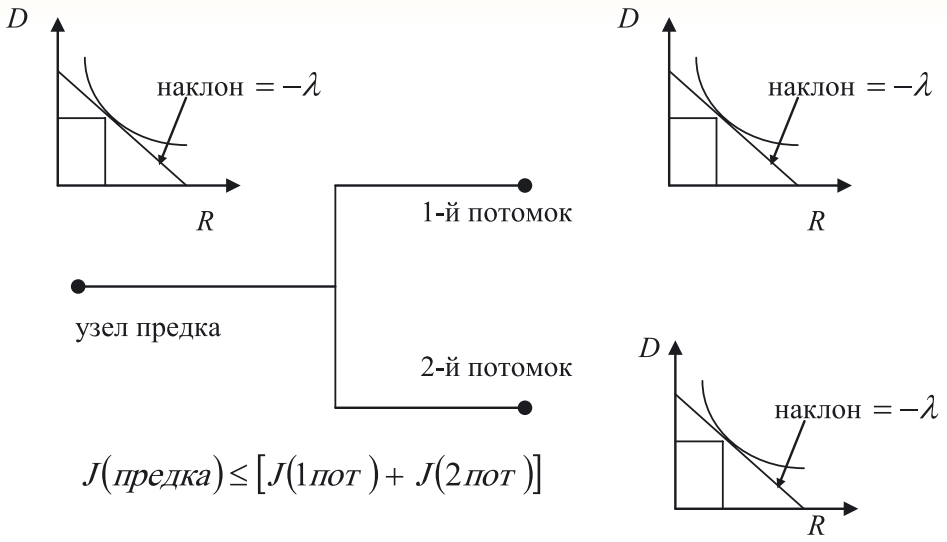


Рис. 2. Принятие решения при построении базиса вейвлет-пакетов

Под оптимальными кодовыми книгами понимаются книги, лежащие на кривой выпуклого замыкания снизу характеристик искажение-скорость всех кодовых книг (*рисунок 3*).

Алгоритм GBFOS находит в начальной книге T все вложенные субдеревья S, имеющие тот же корень и лежащие на выпуклом замыкании кривой скорость-искажение. Найденные субдеревья являются оптимальными в смысле критерия скорость-искажение среди всех субдеревьев данной книги. Однако, возможно, существуют лучшие кодовые книги. Таким образом, характеристики УДВК зависят от выбора начальной книги T. Так как оптимальные книги редки, для достижения заданной скорости различные участки сигнала кодируются разными книгами.

Пример работы алгоритма показан на *рисунке 3*, где знаком "*" обозначены все возможные субдеревья; $S_0,\ldots,S_3$ – оптимальные кодовые книги; $\bar{S}$ – кодовая книга, образованная слиянием кодовых книг S_2 и S_3.

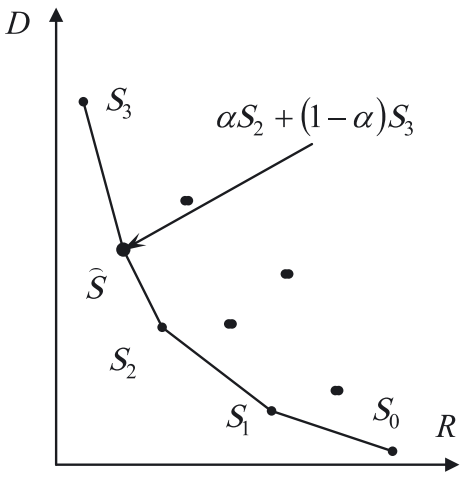


Рис. 3. Кодовые книги УДВК

Один шаг усечения УДВК показан на *рисунке 4*. Оно выполняется путем вычисления для всех внутренних вершин изменения в скорости и искажении, возникающего при усечении непосредственных потомков этих вершин и использовании вместо них вершины предка. В случае, если выбор внутренней вершины меньше увеличивает искажение при данном уменьшении скорости, она усекается.

Кодовая книга древовидного квантователя T представима в виде M-ичного дерева с вершинами t_i, помеченными так, что каждая внутренняя вершина t_i имеет непосредственных потомков $t_{Mi+1},\ldots,t_{Mi+M}$ и корневую вершину t_0. С каждой вершиной связано кодовое слово Y_i и обучающая последовательность R_i, причем соответствующие скорость и искажение вычисляются как $R(Y_i) = P_i depth(t_i)$ и $D(Y_i) = P_i \mathrm{E}[d(X,Y_i) | X \in R_i]$. Следовательно, средняя скорость и искажение УДВК может быть записана в виде

$$R = \sum_{t_i \in \tilde{T}} R(Y_i),\ D = \sum_{t_i \in \tilde{T}} D(Y_i),$$

где $\tilde{T}$ означает концевые вершины дерева T.

Усечение всей ветви, исходящей из вершины t_i, приводит к тому, что вершина t_i становится концевой вершиной. Для кодирования данных используется связанное с ней кодовое слово Y_i вместо кодовых слов отброшенных вершин. Для нахождения оптимальных субдеревьев выбирается ветвь, дающая минимальное увеличение искажения. Каждая вершина $t_i \in T$ может рассматриваться как корень вет-

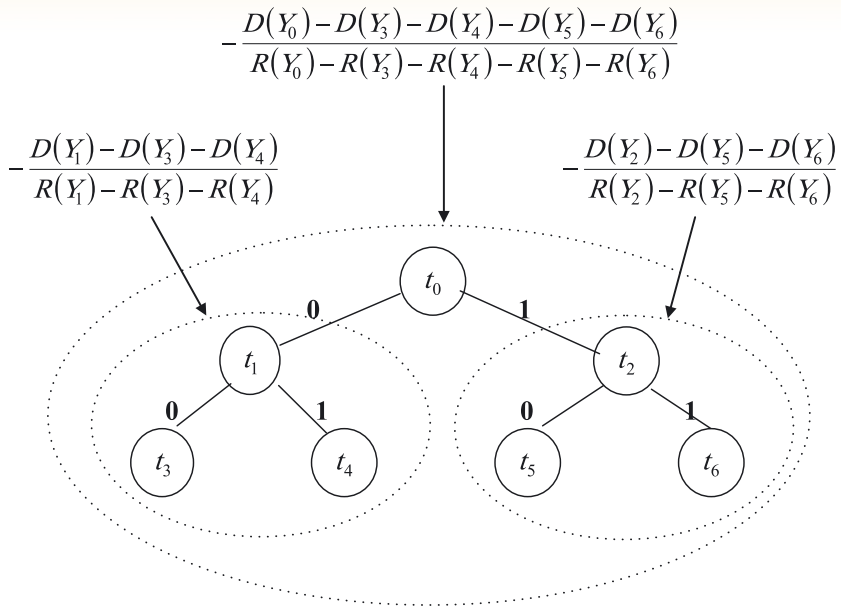


Рис. 4. Построение УДВК по алгоритму GBFOS

ви, чьи концевые вершины образуют некоторый квантователь Q_i. Этот квантователь был бы получен в случае если для построения ДВК использовалась только обучающая последовательность R_i. Средние скорость и искажение, связанные с этим квантователем, вычисляются как

$$R(Q_i)=\sum_{t_j\in\tilde{Q}_i} R(Y_j),\qquad D(Q_i)=\sum_{t_j\in\tilde{Q}_i} D(Y_j)\ , \qquad (1)$$

где $\tilde{Q}_i$ означает концевые вершины ветви Q_i. Если для всех концевых вершин t_j квантователь Q_i содержит только кодовое слово концевой вершины $\{Y_i\}$, то для всех внутренних вершин можно записать

$$R(Q_i)=\sum_{j=1}^{M} R(Q_{M+j})\qquad D(Q_i)=\sum_{j=1}^{M} D(Q_{M+j}). \qquad (2)$$

Тогда изменение в искажении при усечении ветви Q_i может быть вычислено как $\Delta D(Y_i)=D(Y_i)-D(Q_i)$, а изменение в скорости как $\Delta R(Y_i)=R(Y_i)-R(Q_i)$. Внутренняя вершина с минимальным значением $\lambda=-\frac{\Delta D(Y_i)}{\Delta R(Y_i)}$ усекается.

Получившееся дерево является оптимальным субдеревом S для данной кодовой книги и находится на выпуклом замыкании снизу кривой скорость-искажение. Параметр λ есть взятый со знаком минус наклон кривой искажение-скорость от текущего дерева к получившемуся после усечения вершины t_i. Так как разность $\Delta D(Y_i)$ всегда неотрицательна, а $\Delta R(Y_i)$ – всегда меньше нуля, то значение параметра λ всегда положительно. Таким образом $D(Y_i)$ и $R(Y_i)$ являются монотонными функциями от высоты вершины в дереве. Усечение внутренних вершин продолжается рекурсивно до тех пор, пока не будет достигнута требуемая скорость. На каждом шаге вновь найденное дерево S рассматривается как текущее T: $T\leftarrow S$.

Пример усечения дерева по алгоритму GBFOS показан на *рисунке 5*. Исходное дерево T обозначено звездочкой в правом нижнем углу рисунка, а дерево с нулевой скоростью $\{Y_0\}$ – звездочкой в левом верхнем углу. Область, исследуемая алгоритмом GBFOS на каждой итерации, имеет форму прямоугольника (*рисунок 5а*). На каждой итерации алгоритма вычисляется наклон от текущего субдерева ко всем субдеревьям S, которые могут быть получены путем усечения только одной вершины, затем выбирается субдерево с минимальным наклоном, так как оно находится на выпуклом замыкании снизу (*рисунок 5б*). На следующей итерации исследуется меньшая область, как показано на *рисунке 5в*. В результате работы алгоритма получаются субдеревья, находящиеся на выпуклом замыкании снизу кривой скорость-искажение (*рисунок 5г*).

Таким образом, на очередном шаге алгоритма должны быть проверены все возможные субдеревья, для каждого из них необходимо вычислить значения наклона λ для всех вершин. Ясно, что данная процедура является вычислительно сложной и неэффективной. Особая структура ДВК позволяет разработать быстрый алгоритм нахождения оптимальных субдере-

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

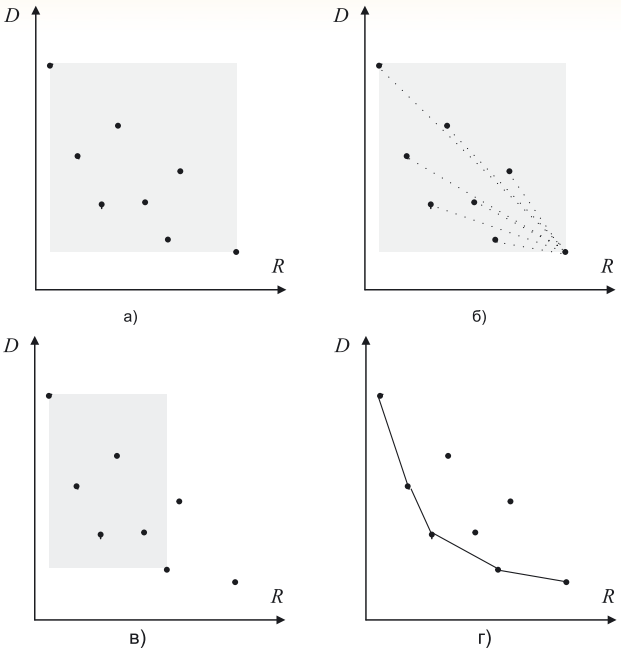


Рис. 5. Алгоритм GBFOS: а) исходная область итерации; б) вычисление углов наклонов и выбор кодовой книги с наименьшим наклоном; в) на следующей итерации исследуется меньшая область; г) результат – субдеревья, находящиеся на выпуклом замыкании снизу кривой скорость-искажение.

вьев. Для этого вводится следующая структура данных, представленная на *рисунке 5*.

С каждой вершиной ДВК t_i связывается кодовое слово Y_i и часть обучающей последовательности R_i. Данная вершина рассматривается как квантователь Q_i, составленный из вершин ветви, корнем которой она является. Тогда для каждой вершины должны быть сохранены значения $R(Q_i)$ и $D(Q_i)$. Для концевых вершин $R(Q_i)=R(Y_i)$ и $D(Q_i)=D(Y_i)$, а для внутренних вершин $R(Q_i)=\sum_{j=1}^{M} R(Q_{M+j})$ и $D(Q_i)=\sum_{j=1}^{M} D(Q_{M+j})$. Это позволяет иметь для каждой внутренней вершины информацию о характеристике скорость-искажение соответствующей ей ветви, без детального описания ее структуры. Значения скорости и искажения текущего оптимального субдерева $R(Q_0)$ и $D(Q_0)$ хранятся в корневой вершине. Наконец, для каждой вершины должен быть сохранен наклон

$$\lambda(Y_i)=-\frac{D(Y_i)-D(Q_i)}{R(Y_i)-R(Q_i)}.$$

Минимальный наклон квантователя Q_i находится как

$$\lambda(Q_i)=\min\left(\lambda(Y_i),\lambda(Q_{M+j}),\ldots,\lambda(Q_{M+M})\right). \qquad (3)$$

Для концевых вершин наклон бесконечно большой. $\lambda(Q_0)$ есть наклон от текущего оптимального субдерева к следующему.

Алгоритм инициализируется путем нахождения величины наклонов, которые получаются при усечении каждой вершины. Затем до достижения требуемой скорости вершина с наименьшим наклоном усекается. При этом пересчитываются скорость, искажение и наклон для ее предков. Для остальных вершин пересчет не требуется, так как усечение вершины на них не влияет. Таким образом, каждый наклон проверяется лишь однажды, и для каждой итерации проверяется только часть ДВК, содержащая усекаемую вершину. С увеличением λ скорость монотонно уменьшается, а искажение – возрастает. Находятся все квантователи, лежащие на выпуклом замыкании кривой скорость-искажение. После усечения дерева до самого его корня становятся известными характеристики скорость-искажение для всех битовых скоростей.

Ниже представлена инициализация алгоритма и сам алгоритм.

1) Инициализация алгоритма усечения дерева GBFOS.

Шаг 1. Для каждой концевой вершины t_i:

$$\lambda(Y_i)\leftarrow\infty,$$
$$\lambda(Q_i)\leftarrow\infty,$$
$$R(Q_i)\leftarrow R(Y_i),$$
$$D(Q_i)\leftarrow D(Y_i).$$

Шаг 2. Для каждой внутренней вершины t_i,

а) вычисление скорости и искажения ветви:

$$R(Q_i)\leftarrow\sum_{j=1}^{M} R(Q_{M+j}),$$
$$D(Q_i)\leftarrow\sum_{j=1}^{M} D(Q_{M+j}),$$

б) вычисление минимального наклона:

$$\lambda(Y_i)\leftarrow-\frac{D(Y_i)-D(Q_i)}{R(Y_i)-R(Q_i)},$$
$$\lambda(Q_i)\leftarrow\min\left(\lambda(Y_i),\lambda(Q_{M+j}),\ldots,\lambda(Q_{M+M})\right).$$

2. Основное тело алгоритма GBFOS.

Шаг 1. Если $\lambda(Q_0)=\infty$, то – выход, так как ДВК усечен до самого корня.

Шаг 2. Поиск вершины с наименьшим наклоном.

Назначить $t_i\leftarrow t_0$ и $\lambda_{\min}\leftarrow\lambda(Q_0)$.

Пока $\lambda(Y_i)\neq\lambda_{\min}$:

Найти вершину $t_{Mi+j}, j=1,\ldots,M$, такую что $\lambda(Q_{Mi+j})=\lambda_{\min}$.

Назначить $t_i\leftarrow t_{Mi+j}$.

Шаг 3. Усечение вершины t_i и обновление ее предков.

а) Усечение квантователя в вершине t_i:

$$\lambda(Y_i)\leftarrow\infty,$$
$$\lambda(Q_i)\leftarrow\infty,$$
$$R(Q_i)\leftarrow R(Y_i),$$
$$D(Q_i)\leftarrow D(Y_i).$$

б) Обновление предков вершины t_i.

До тех пор пока $t_i \neq t_0$, присваивать $t_i \leftarrow par(t_i)$:

– вычислить скорость и искажение ветви

$$R(Q_i) \leftarrow \sum_{j=1}^{M} R(Q_{Mi+j}),$$

$$D(Q_i) \leftarrow \sum_{j=1}^{M} D(Q_{Mi+j});$$

– вычислить минимальный наклон

$$\lambda(Y_i) \leftarrow -\frac{D(Y_i)-D(Q_i)}{R(Y_i)-R(Q_i)},$$

$$\lambda(Q_i) \leftarrow \min(\lambda(Y_i), \lambda(Q_{Mi+j}), ..., \lambda(Q_{Mi+M})).$$

Шаг 4. Скорость и искажение текущего субдерева $R(Q_0)$ и $D(Q_0)$.

Если $R(Q_0) > R^*$, переход к шагу 1. Иначе – выход.

Усечение продолжается до тех пор, пока все дерево не будет обрезано, $\lambda(Q_0) = \infty$, или не будет достигнута требуемая скорость. Сложность кодирования и декодирования алгоритма УДВК та же, что и у ДВК. Можно показать, что она равна $N\log_2 N$, где N – число вершин в дереве.

3. Результаты моделирования

Основные методы стеганографического анализа в области вейвлет-преобразования и области дискретного косинусного преобразования используют обучающиеся классификаторы с учителем. При этом классификатору предъявляются вначале векторы признаков известных классов (режим обучения), затем – векторы признаков неизвестных классов (режим тестирования). В качестве признаков, формирующих векторы, используют самые разные функционалы от коэффициентов преобразования [8].

Мы использовали тот же подход и формировали векторы признаков из функционалов от коэффициентов адаптивно полученного базиса преобразования, квантованных на различной скорости. В качестве дополнительной информации в алгоритме стеганографического анализа использовалась структура полученного дерева преобразования. Для классификации использовался известный алгоритм SVM (машина опорных векторов); эффективность стеганографического анализа исследовалась по отношению к известному алгоритму F5 [2] при скорости внедрения 3 бита на блок 8×8 ДКП. Для обучения было использовано 500 полноцветных изображений каждого класса (заполненные и незаполненные контейнеры), при тестировании также использовалось 500 изображений, отличных от используемых при обучении. Всего проведено 5 экспериментов с различными наборами изображений. Был получен результат для вероятность необнаружения – 0.02. Вероятность ложной тревоги оценить сложно, так как ложных срабатываний в эксперименте не было.

Полученные результаты показывают возможность использования в практических стегоанализаторах алгоритмов адаптивного нахождения оптимального базиса, квантователей и распределения бит. Эффективность этих алгоритмов связана с присущим им механизмом адаптации, позволяющим экономно кодировать изображение любой сложности. Недостатком алгоритмов вейвлет-пакетов (также как, впрочем, и вейвлет-преобразования, дискретного косинусного преобразования) является то, что они осуществляют обработку изображений только в двух направлениях: горизонтальном и вертикальном. Для более точного моделирования изображений необходимо использование направленных базисов или фреймов, что является направлением дальнейших исследований.

Литература

1. Грибунин В.Г., Оков И.Н., Туринцев И.В. Цифровая стеганография. М.: Солон-Пресс, 2002. 265 с.

2. Грибунин В.Г., Жердин О.А., Мартынов А.П., Николаев Д.Б., Силаев А.Г., Фомченко В.Н. Основы стеганографии. Учебно-методическое пособие. / Под редакцией В.Г. Грибунина. Трехгорный : издательство СарФТИ, 2012 г. 130 с.

3. Грибунин В.Г. JPEG 2000: десять лет спустя // Технологии защиты. 2007. №2. С. 50-52.

4. Воробьев, В.И., Грибунин, В.Г. Теория и практика вейвлет-преобразования. СПб : издательство ВУС, 1999. 208 с.

5. Ramchandran K., Vetterli M. Best wavelet packet bases in a rate-distortion sense // IEEE Trans. On Image Processing. 1993. v.2, №2. P. 160-175.

6. Lengwehasatit K., Ortega A., Rate-complexity-distortion optimization for quadtree-based dct coding / Proceedings of ICIP. Sept. 2000.

7. Мандель И.Д. Кластерный анализ. М.: Финансы и статистика, 1988. 176 с.

8. Fridrich J., Ker A., Bas P., Boehme R., Cogranne R., Craver S., Filler T., Pevny T. Moving Steganography and Steganalysis from the Laboratory into the Real World / 1st IH&MMSec. Workshop, Montpellier, France, June 17-19, 2013.

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

УДК 004.007

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЕРЖАТЕЛЯ БАНКОВСКОЙ КАРТЫ ПРИ СОВЕРШЕНИИ ТРАНСАКЦИЙ ЧЕРЕЗ ТЕРМИНАЛ

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

Игорь Александрович Бугаков
заслуженный изобретатель РФ
доктор технических наук, профессор
Вице-президент
по инновационным проектам МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93

В данной работе рассмотрен процесс совершения банковских операций через терминал в целях выявления и анализа возможностей хищения персональной информация держателя банковской карты. Произведена оценка и ранжирование уязвимостей в иерархической структуре элементов ПСБОТ.

In the given work process of commission of bank operations via the ATM for identification and the analysis of opportunities of fraud personal information of the card holder is considered. The assessment and ranging of frouds in hierarchical structure of the elements of commission of bank operations via the ATM is made.

Ключевые слова: информационная безопасность, системы защиты персональной информации, банковские карты.

Keywords: security of information, systems of protection of personal information, cards of the banks.

Использование банковских карт при совершении покупок, платежей, переход на «электронные деньги» является положительной тенденцией развития финансовой системы.

Однако при этом с каждым годом растет количество преступлений, связанных с кражей денег со счетов держателей банковских карт[1]. Отчасти это происходит по вине самих граждан, которые теряют карты, хранят PIN-код вместе с картой, сообщают другим лицам о PIN-коде, беспечно ведут себя при наборе PIN-кода, позволяя посторонним людям его увидеть, пользуются «сомнительными» банкоматами (с необычными приемными устройствами и иными конструктивными особенностями; банкоматами, стоящими в малолюдных местах), расплачиваются картой в местах, вызывающих сомнение, отдают карту продавцам (официантам и другим лицам), которые уносят ее в подсобное помещение для «проведения» покупки, отвечают на ложные SMS-сообщения и электронные письма и передают присылающих их «сотрудникам» банка конфиденциальную информацию и проч.

Но даже соблюдение всех рекомендаций владельцами банковских карт не сохраняет их от потери денег. Все больше появляется злоумышленников, которые используют различные «скимминговые», «фишинговые», «вишинговые»

1 Так, в 2011 г. ущерб от противоправных операций с платежными картами в России вырос на 36% и составил 1,6 млрд рублей. Среди самых распространенных преступлений – хищения через терминалы (более 50% от выявленных случаев), а также с помощью банкоматов (около 40%). (http://www.vodyanoyznak.ru/magazine/97/1570.htm). В США почти половина всех мошеннических действий с картами банков (46%) также приходится на скимминг – считывание данных с чужих карточек с помощью специальных устройств. 36% мошенничеств происходит в розничных точках продаж, а оставшиеся 18% случаев осуществляются в платежных терминалах, не принадлежащих банкам. В целом в мире потери от мошенничества по пластиковым картам эксперты оценивают на уровне 13 млрд долларов в год (http://arb.ru/b2b/trends/4750961/).

и иные устройства[2] (дополнительные клавиатуры, которыми преступники накрывают настоящую клавиатуру, камер для подсматривания за набираемым клиентом PIN-кодом, фальшивые банкоматы[3]), специальное программное обеспечение для получения желаемой информации о персональных данных [1].

В настоящее время наиболее распространенным вариантом пластиковых карточек в России являются карточки с магнитной полосой. Их основное преимущество – дешевизна, отработанность стандартов и оборудования для применения. Однако такие карты уязвимы. Такие карты относительно легко подделать, информацию перезаписать и (или) разрушить. Поэтому все большую популярность приобретают новые виды карт, в которых используется чип (микросхема) с персональными данными, а также дополнительные средства безопасности (фотография владельца, голографические метки, внутриобъемное кодирование и др.). Особо следует выделить так называемые **смарт-карты**, микросхема которых представляет собой встроенный микропроцессор, обеспечивающий проведение комплексных действий при аутентификации, реализацию сложных протоколов обмена, регистрацию фактов доступа и другие действия, совокупность которых можно отнести к «умным» (smart в данном контексте переводится как «умный»).

В этих картах реализуется как пассивная (с помощью PIN-кода), так и активная (внутренняя и внешняя) аутентификация, защищенная передача данных и команд, уникальная шифрация данных. Перед совершением операций терминал проверяет подлинность карт с использованием уникального кода, подлинность владельца (с помощью PIN-кода, возможна биометрическая верификация владельца карты), легитимность операции (каждая транзакция проходит сертификацию с использованием электронной подписи). Такая многоступенчатая персонификация карты делает ее наиболее надежной, позволяет осуществлять платежи не через банк, а непосредственно в торговых точках. Одним из немногих недостатков таких карт является высокая стоимость карт и оборудования для их использования. Тем не менее, можно предположить, что современная тенденция перехода на смарт-карты со все более расширяющимися возможностями будет только расти[4].

Поскольку очевидно, что любое совершенствование систем защиты банковских карт (БК) будет иметь следствием немедленное совершенствование и методов преодоления этой защиты, что потребует новых подходов и новых технологий[5], то с учетом вышеизложенного представляет интерес разработка обобщенных концептуальных идей по защите персональной информации держателя банковской карты (ДБК) безотносительно к реализуемым в процессе совершения трансакций технологиям и используемым техническим средствам.

Разработке таких обобщенных идей посвящен ряд статей [1, 2]. В частности, в [3] все возможные виды защиты разделены на программную[6], аппаратную, юридическую, страховую, профилактическую.

Первым шагом к построению такой системы защиты следует рассматривать выявление и анализ уязвимостей процесса совершения банков-

2 В частности, скимминговые устройства позволяют считать необходимые данные магнитной полосы карты для последующего воспроизведения ее на поддельной карте (от англ. skim – снимать сливки). Для получения ПИН-кода может использоваться миниатюрная видеокамера, устанавливаемая на банкомат и направляемая на клавиатуру ввода в виде козырька банкомата либо посторонних накладок, например, рекламных материалов. Самым частым способом махинаций с помощью банкоматов, помимо их взломов, является скимминг.

3 В июле 2013 года в Интернете появилась информация о том, что в столичных аэропортах Внуково и Шереметьево, и двух крупных торговых центрах обнаружены фальшивые банкоматы, принадлежащие несуществующему банку. Банкоматы-мошенники выглядели вполне правдоподобно, однако после ввода PIN-кода и запроса на выдачу денег на экране появлялось сообщение об отказе в обслуживании (по причине ошибки, отсутствия денег в банкомате, неисправности банкомата и др.). Поскольку информация никуда не отправлялась, то информации об этой «операции» нет ни у эмитента, ни в платежной системе. Копирование с магнитной полосы карты информации о счете гражданина и его персональном идентификационном номере позволяет мошенникам получить доступ к карточным счетам и списать с них деньги (http://habrahabr.ru/post/186266/).

4 В настоящее время в России чисто чиповых карт практически нет, потому что пока не выстроена инфраструктура приема платежей, осуществляемых с их помощью. Поэтому сейчас используются комбинированные карты, в которых есть и чип, и магнитная полоса (http://www.sdm.ru/news/1/2497.html).

5 Можно предположить, что в дальнейшем, как это ни печально, нас ждет встроенный в организм человека чип, сначала – как отдельный элемент, потом – сращенный в той или иной степени с нервной системой; причем функции этого чипа будут связаны не только и не столько с денежными операциями, сколько с диагностикой и управлением состоянием организма, информационным обеспечением и др.

6 Включая мониторинг поведения клиента и включение защиты при появлении нехарактерных для данного клиента факторов поведения.

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

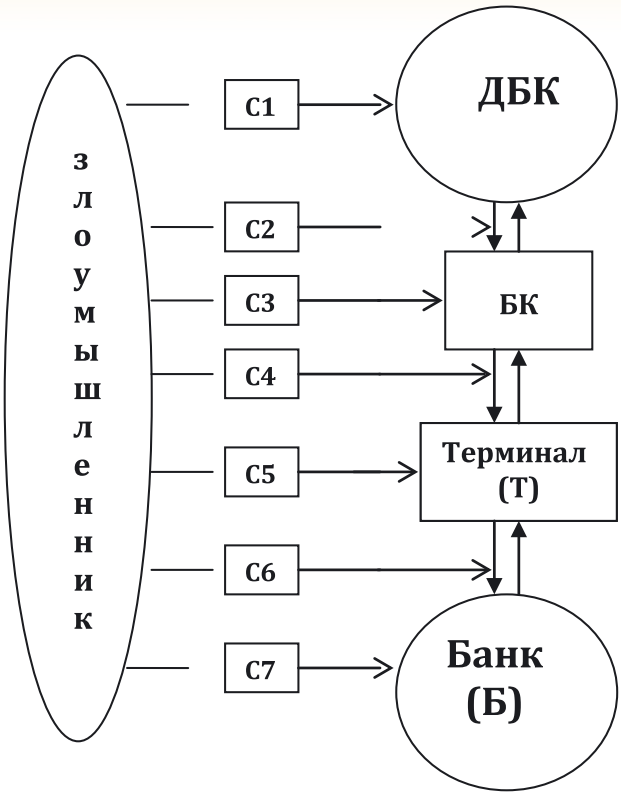


Рис. 1. Схема взаимодействий ПСБОТ

ских операций через терминал (ПСБОТ), для чего необходимо выделить основных участников этого процесса и используемые для их взаимодействия инструменты (*рисунок 1*).

К основным участникам следует отнести ДБК, банк (Б) и злоумышленника (З), к инструментарию – банковскую карту (БК), терминал (Т), средства каналов связи (СКС) БК с Т, Т с Б, а также средства С1…С7 злоумышленника для получения (изменения) желаемой информации посредством взаимодействия (воздействия, наблюдения, считывания и искажения информации и др.) с участниками и подпроцессами ПСБОТ.

При этом под уязвимостью ПСБОТ будем понимать наличие в этом процессе «слабых» с позиции защищенности информации мест, позволяющих злоумышленнику нанести финансовый ущерб ДБК и (или) Б. Перечень уязвимостей ПСБОТ приведен в *таблице 1*.

Уязвимости ПСБОТ логически можно разделить на ***высокоуровневые*** и ***низкоуровневые*** (*рисунок 2*).

Высокоуровневые уязвимости ПСБОТ связаны с проблемами построения защищенных СКС, высокоуровневого платежного ПО, расположенного на терминале и промежуточных узлах между терминалом и банком. К данным компонентам ПСБОТ применяются требования международных стандартов индустрии платежных карт PCI DSS [4], PCI PA-DSS [5].

Требования к криптографической стойкости алгоритмов шифрования, ключей шифрования, процессам начальной загрузки, смене и обновления ключей шифрования, периодам смены операционных и мастер-ключей и др. определены в стандарте PCI PTS [6].

Оборудование, взаимодействующие с БК и ДБК, устройство ввода PIN-кода и чтения БК должно быть сертифицировано в соответствии с требованиями PCI PTS POI [7], оборудование банка, обрабатывающее транзакции от терминалов, сертифицируется в соответствии с требованиями PCI HSM [8].

Низкоуровневые уязвимости ПСБОТ связаны с неразвитой культурой владения и использования БК, неразвитыми и малоэффективными методами противодействия мошенничеству основанному на уязвимостях С1 ... С5. Существует ряд рекомендаций по использованию БК, вводу PIN-кода, однако их эффективность не удовлетворяет современному уровню технических решений по хищению персональной информации ДБК, о чем свидетельствует статистика Европейской группы обеспечения безопасности терминалов (*таблица 2*) [9].

Таблица 2

Статистика скимминговых атак на банковские терминалы

Атаки	**2007 год**	**2008 год**	**2009 год**	**2010 год**	**2011 год**
Кол-во инцидентов	4 934	12 278	13 269	12 383	20 244
Объем убытков, млн евро	439	485	312	268	234

Основным принципом построения систем защиты персональной информации ДБК является принцип системного подхода, связанный с использованием комплекса мер организационного, технического, программного и иного характера, направленных на получение системного сверхаддитивного эффекта и уменьшающих количество и потенциальную опасность уязвимостей ПСБОТ. В частности, в соответствии с этим принципом для злоумышленника не должно быть никакой возможности нанести ущерб в случае, если в транзакции не участвует любой из этих четырех элементов: ДБК, Б, БК, Т. То есть система защиты прежде всего должна обеспечить идентификацию каждого из этих элементов; причем эта идентификация должна быть встречной, например, не только терминал иден-

Таблица 1. Перечень уязвимостей ПСБОТ

№	Элементы ПСБОТ	Уязвимости				
		1	2	3	4	5
1.	ДБК	Потеря БК	Сообщение PIN-кода третьим лицам	Потеря БК вместе с PIN-кодом	Смена PIN кода на заведомо слабый уязвимый PIN код	Хранение PIN кода совместно с БК
2.	ДБК+БК	Передача БК третьим лицам	Использование БК не по назначению	Сообщение номера БК (PAN номера карты) третьим лицам	Сообщение кодов подтверждения / отмены транзакций по БК третьим лицам	Сообщение кодов CVV2,CVC2[7] третьим лицам
3.	БК	Размагничивание данных, хранимых на магнитной полосе БК	Физическое повреждение поверхности БК	Ограниченный срок эксплуатации БК вследствие «слабого» принципа хранения данных	Изменение данных, хранимых на магнитной полосе БК	Отсутствие подписи ДБК на БК
4.	БК+Т	Скиммингговое устройство считывания БК	Накладная клавиатура ввода PIN кода	Видео наблюдение процесса аутентификации – ввода PIN кода БК	Подслушивание нажатий клавиш PIN клавиатуры	Подглядывание процесса аутентификации – ввода PIN кода БК
5.	Т	Подмена терминала	Перехват управления терминалом	Замена устройства считывания БК	Замена клавиатуры ввода PIN кода	Перевод клавиатуры ввода PIN кода в небезопасный режим работы
6.	Т+Б	Атака типа «Man in the middle» [8]	Атака типа “Replay» [9]	Небезопасная/ устаревшая технология передачи ключей шифрования [10]	Использование не криптостойких ключей шифрования	Использование не сертифицированного шифрующего оборудования
7.	Б	Небезопасная передача PIN кода и БК к ДБК	Небезопасная технология первичного ввода ключей шифрования	Небезопасная/ не сертифицированная технология смены ключей шифрования	Не регламентированные интервалы смены ключей шифрования	Уязвимости в физических модулях безопасности – HSM [11]

7 CVV2 (англ. Card Verification Value 2) – трехзначный код проверки подлинности карты платёжной системы Visa. Другие платежные системы имеют сходные технологии, к примеру аналогичный защитный код для карт MasterCard носит название Card Validation Code 2 (CVC2) (http://ru.wikipedia.org/wiki/CVV2).

8 Атака «человек посередине», MITM-атака (*англ.* Man in the middle) – термин в криптографии, обозначающий ситуацию, когда криптоаналитик (атакующий) способен читать и видоизменять по своей воле сообщения, которыми обмениваются корреспонденты, причем ни один из последних не может догадаться о его присутствии в канале (http://ru.wikipedia.org/).

9 Атака повторного воспроизведения (replay) – вид сетевой атаки, при которой данные захватываются с последующей их повторной пересылкой для получения несанкционированного доступа (http://ru.wikipedia.org/).

10 Стандарт безопасности платежных приложений (PA-DSS) и требования к устройствам ввода PIN-кода (PED) (http://ru.pcisecuritystandards.org/).

11 Целостность передаваемой и хранимой в системе информации является первостепенной задачей для пользователей данной информации. Для защиты информации от искажения и подделки обычно используется технология MAC-кодов. HSM поддерживает большое количество опций макирования, а также команд шифрования/дешифрования в случае, если необходимо соблюдение требования секретности информации (http://www.computel.ru/).

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

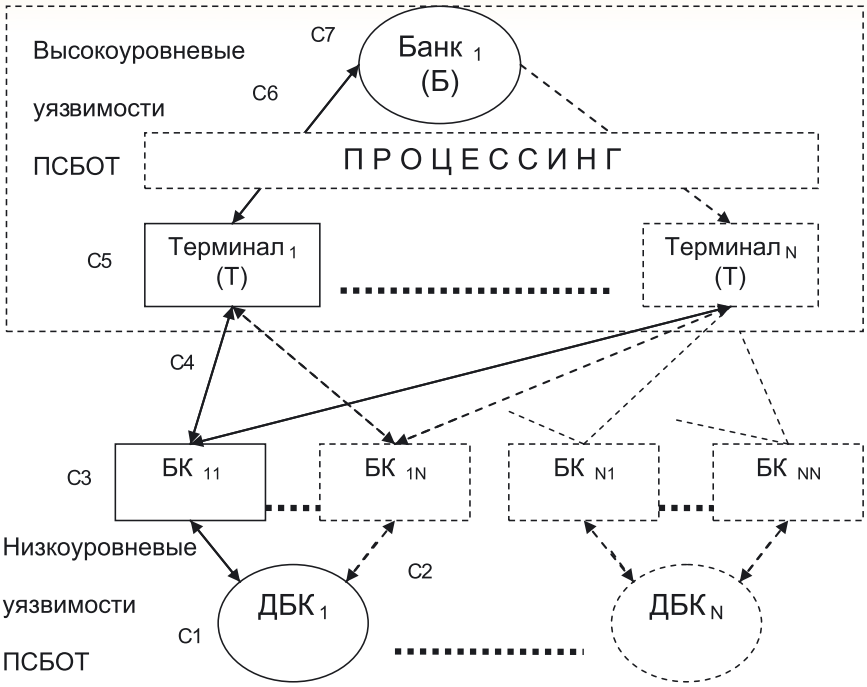


Рис. 2. Иерархия уязвимостей ПСБОТ

тифицирует БК, но и/или ДБК и БК, в свою очередь, идентифицируют терминал. Банковский терминал должен обладать возможностью идентификации конечного оборудования: устройства ввода PIN-кода, устройства чтения БК, для того чтобы исключить возможность подмены устройств на заведомо уязвимые.

Кроме того, защите должен подвергнуться процесс взаимодействия этих элементов друг с другом: должны присутствовать и выявляться оригинальные признаки, присущие процессу взаимодействия этих элементов. Каждый элемент допускается и выполняет только свои функции. Все доступы и попытки доступа (в том числе и несанкционированного) фиксируются и протоколируются с применением подписей в виде MAC, криптографических Hash сумм или ЭЦП, что препятствует искажению информации. Любые сбои и нарушения в работе не должны приводить к снижению уровня защищенности.

При защите информации в ПСБОТ эффективное применение могут найти дискретные отображения класса «клеточные автоматы» [10].

Литература

1. Деднев М.А., Дыльнов Д.В., Иванов М.А. Защита информации в банковском деле и электронном бизнесе / М.А. Деднев, Д.В. Дыльнов, М.А. Иванов. М.: НОУ «ОЦ КУДИЦ-ОБРАЗ», 2004. 512 с.

2. Гайкович Ю.В., Першин А.С. Безопасность электронных банковских систем / Ю.В. Гайкович, А.С. Першин. М.: Единая Европа, 1994. 354 с.

3. Лукьянов С.О. Мошенничество с использованием банковских карт в России: современное состояние и виды защиты // Вестник Тихоокеанского государственного экономического университета. 2012. №2. С. 116-121.

4. Data Security Standard, Payment Card Industry, 2010 // https://www.pcisecuritystandards.org/documents/

5. Payment Application Data Security Standard v2.0, Payment Card Industry, 2010 // https://www.pcisecuritystandards.org/documents/

6. PIN Security Requirements, Payment Card Industry, 2011 // https://www.pcisecuritystandards.org/documents/

7. PIN Security Requirements Point of Interation, Payment Card Industry, 2011 // https://www.pcisecuritystandards.org/documents/

8. Hardware Security Module, Payment Card Industry, 2012 // https://www.pcisecuritystandards.org/documents/

9. EAST Publishes European Fraud Update 3, 2012 // http://www.european-atm-security.eu

10. Смуров С.В., Нижниковский А.В., Буланов Д.В. Теория. Применение и пути повышения качества генераторов псевдослучйных последовательнорстей на основе формализованных моделей дискретных отображений класса «клеточные автоматы» // Известия Института инженерной физики, 2011, №2. С. 2-19.

УДК 621.37(075.8)

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕР ПО АКТИВНОЙ ЗАЩИТЕ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ АРБИТРАЖНОГО ПОДХОДА

Александр Ильич Куприянов
доктор технических наук, профессор
Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)
Адрес: 125871, Москва, ГСП,
Волоколамское ш., д. 4

В статье рассматриваются критерии многопараметрической оптимизации помех, защищающих сигналы РЭС от несанкционированного приема (перехвата) и определения параметров средствами радио- и радиотехнических разведок.

The article discusses criteria for multi-parameter optimization of interference signals of radioelectronic systems, protecting against unauthorized reception (interception) and the definition of parameters by means of radio and electronic intelligence.

Ключевые слова: оптимизация, конфликт, радиоэлектронные системы, радиоэлектронная борьба.

Keywords: optimisation, conflict, radioelectronic systems, electronic warfare.

Защита информации в системах, излучающих в радиодиапазоне, всегда предусматривает меры по снижению радиоконтраста излучений на фоне различных помех естественного и искусственного происхождения. Технически такие меры защиты являются радиомаскировкой и чаще всего сводится к уменьшению мощности сигналов, доступных приемникам противника в информационном конфликте (средству разведки). Для такой маскировки используется экранирование, регламентирования работ на излучение, снижение уровней паразитных и непреднамеренных излучений, выбор размера охраняемой территории и т.п. Все это более или менее традиционные пассивные способы радиомаскировки, далеко не всегда способные обеспечить достаточную эффективность. Поэтому в качестве альтернативы пассивным методам маскировки и возможного их дополнения рассматриваются активные. Суть активных методов сводится к тому, что радиоконтраст защищаемых излучений снижается не за счет уменьшения их мощности, а за счет увеличения мощности помех. Но в отличие от ситуаций, складывающихся при подавлении средств противника в ходе РЭБ [3], такие помехи неизбежно снижают качество работы и собственных маскируемых систем. Причина очевидна: и маскируемые системы, и постановщики маскирующих помех преследуют частично или полностью несовпадающие цели, претендуя для достижения этих целей на некоторый общий ресурс (мощность излучения, частотную полосу и т.п). Чем лучше система замаскирована активной помехой, тем меньше от нее пользы по прямому назначению. В этом и состоит как причина, так и основное содержание внутреннего конфликта активной защиты информации. Но поскольку конфликтующие системы – не антагонисты, конфликт можно разрешить за счет координации их действий. Оценка эффективности разрешения внутреннего конфликта и определения способов наилучшей координации поведения участников конфликтного взаимодействия составляет существо и содержание специфической оптимизационной задачи, без решения которой невозможно применение активной защиты информации. Формально постановку такой оптимизационной задачи можно свести к следующему.

Пусть имеется несколько (минимум – две) систем, использующих общий ресурс. Эффективность функционирования систем зависит от доли этого ресурса, $P \in [0, P_{max}]$, потребляемого системой. Мерой качества функционирования может служить функция полезности системы $\pi.(P) \in \Pi.$, отражающая основные, существенные в данной задаче, представления об эффективности (вероятность правильного приема и точность воспроизведения сообщения – для систем передачи информации, точность измерения параметров сигнала – для систем извлечения информации и т.п). Полезности – монотонные и ограниченные

функции выделяемого ресурса P. во всей области определения $[0,P_{max}]$.

Например, (предельно условный, модельный пример) нужно выбрать мощность сигнала постановщика активных помех для противодействия приемникам средств радиоразведки, перехватывающим сигналы системы передачи данных. Но такой постановщик при работе создает помехи приемнику маскируемой радиосистемы передачи данных. Увеличение мощности помехового сигнала повышает эффективность противодействия, но приводит к сбоям приема сигнала и наоборот. Какие выбрать предпочтения, как одновременно учесть интересы обеих конфликтующих систем и какое решение считать наилучшим, оптимальным?

В качестве критерия оптимального распределения ресурса всегда принимается условие экстремума некоторой монотонной функции от полезностей всех конфликтующих (и координируемых) систем [1]. Разумеется, выбор того или иного критерия находится за пределами задачи оптимизации. И здесь возможны, по крайней мере, два альтернативных на первый взгляд подхода. В дальнейшем они условно именуются «императивным» и «арбитражным» подходами [4, 5].

Императивный подход предполагает прямое назначение критерия. Для обоснования такого назначения обычно предполагают наличие некоторой надсистемы, которая выбирает и устанавливает критерий исходя из собственных представлений об эффективности функционирования зависимых от нее подсистем. Такой критерий выступает как условие максимума одномерной (скалярной) величины собственной полезности надсистемы. А эта полезность определяется как некоторая комбинация полезностей подсистем, т. е. частных критериев. Способ комбинации частных критериев – полезностей подсистем – может быть любым, отвечающим элементарным правилам (простая или взвешенная сумма, произведение, отношение и т.п) [1].

В большинстве случаев императивные критерии приводят к ущемлению интересов участников координируемого конфликта. Во всех организационных и организационно-технических системах, а также в большинстве технических систем игнорирование интересов сторон при разрешении противоречий между ними нежелательно или даже недопустимо. Кроме того, делегирование полномочий по выбору критерия на более высокий иерархический уровень не снимает критериальной проблемы: там, на более высоком уровне, действуют те же неопределенности и возникают те же сложности.

Арбитражные подходы к разрешению противоречий и критерии на основе арбитражных подходов, напротив, признают в качестве оптимальных решений те, которые в максимальной степени удовлетворяют обе стороны и в этом смысле являются наиболее справедливыми. Наглядная иллюстративная модель формирования справедливого взаимоприемлемого разрешения конфликта может быть построена на основе представления о процессе переговоров.

Пусть некоторый ограниченный ресурс $P\in[0,P_{max}]$ распределяется между двумя системами. Использование ресурса обеспечивает им полезности не более $\pi_1(P)\in\Pi_1$ и $\pi_2(P)\in\Pi_2$ соответственно. Зависимость обеих полезностей от общего ресурса P обусловливает, очевидно, зависимость их друг от друга $\pi_1=\pi_2(\pi_1)$. Эта зависимость задается на множестве допустимых полезностей, являющихся прямым произведением $S=\Pi_1\times\Pi_2$ (*рисунок 1*).

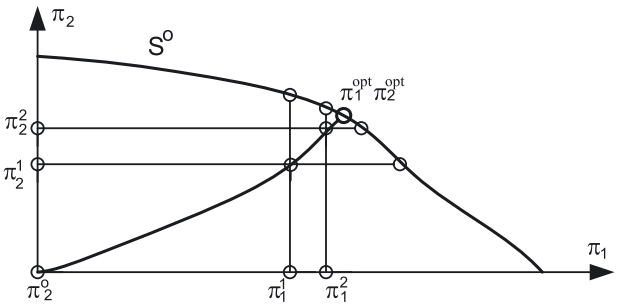


Рис. 1. Допустимое множество полезностей, диаграмма обмена и траектория переговорного процесса при арбитражной оптимизации

Граница допустимого множества S – это диаграмма обмена полезностями. В процессе переговоров стороны, желая обеспечить себе максимальную полезность соответственно π_1^0 и π_2^0 на *рисунке 1*, предъявляют взаимные претензии друг другу. Точка минимальных полезностей ($\pi_1^0=0$, $\pi_2^0=0$) – это точка начала переговорного процесса, точка status quo.

Но получение какой-либо ненулевой полезности любой из сторон конфликта (переговоров) возможно только при уступках противной стороны, т.е. при взаимных уступках. Такие уступки возможны, поскольку стороны состоят не в антагонистических противоречиях и желательны, поскольку без отказа от претензий на максимально возможную полезность π_1^0 и π_2^0 можно рассчитывать только на нулевую собственную полезность. Руководствуясь этим соображением, стороны отказываются от части шансов на увеличение полезности, соглашаясь на полезности (π_1^1 и π_2^1) и открывая возможность для следую-

щей итерации (тура, раунда) переговоров. Естественно принять уменьшение π^1. пропорциональным π^0., а коэффициент пропорциональности α-одинаковым для обеих сторон.

На втором раунде переговоров система 1 может рассчитывать на получение $\pi_1(\pi_2^1)=\pi_1^1$, а система 2 – на $\pi_2(\pi_1^1)=\pi_2^1$. Реализация этих пожеланий также возможна лишь при взаимных уступках. Поэтому системы для улучшения полезностей должны согласиться на $\pi^2.=\pi^1.+\alpha(\pi.(\pi^1)-\pi^1)$. Это решение переводит точку согласованного распределения полезностей в $(\pi_1^2;\pi_2^2)$ и т.д. В процессе переговоров значения полезностей будут перемещаться по траектории, показанной на *рисунке 1,* жирной линией. Эта линия – траектория (в общем случае – кривая) переговорного процесса. Итерационное повторение переговорного процесса будет протекать до тех пор, пока полезности, на которые согласятся стороны, не станут максимальными, т.е. до тех пор, пока не выполнятся равенства:

$$\pi_1(\pi_2^k)=\pi_1^k \text{ и } \pi_2(\pi_1^k)=\pi_2^k, \qquad (1)$$

а траектория переговорного процесса не пересечется с диаграммой обмена. Точка пересечения и будет точкой оптимального арбитражного распределения полезностей:

$$(\pi_1(\pi_2^k)=\pi_1^k,\ \pi_2(\pi_1^k)=\pi_2^k)=(\pi_1^{opt},\pi_2^{opt}). \qquad (2)$$

Представляется очевидным, что эта точка принадлежит диаграмме обмена $\pi_1=\pi_1(\pi_2)$ и является точкой остановки итерационного процесса переговоров: достигнув ее, стороны уже не могут улучшать свои полезности. Соответственно, для них теряют смысл требования перераспределения ресурса. Иначе говоря, конфликтующие стороны достигают точки оптимума, в которой снимаются взаимные претензии на предмет конфликта – общий распределяемый ресурс.

Критерий для решения такой оптимизационной задачи, как видно, не назначается, и интересы какой-либо из сторон не ущемляются. Стороны, пользуясь общими правилами переговоров, достигают взаимного согласия. Термин «арбитражный» в этой связи означает только то, что имеется некоторый носитель правил проведения переговоров, а не распорядитель, руководствующийся своим собственным критерием оптимальности для назначения полезностей сторон.

Признание возможности многокритериальной (векторной) оптимизации на основе приведенного итерационного переговорного процесса не много дает инженерной практике вообще и технике оптимизации мероприятий по активной маскировке от средств радиоэлектронных разведок в частности. Но модель такого процесса позволяет сформулировать правила достижения цели в результате справедливых переговоров равноправных партнеров. Формализация правил переговоров приводит к системе принципов справедливости. В литературе полная и замкнутая система этих принципов связывается с именем Нэша [2].

1. Оптимальные решения должны принадлежать множеству допустимых полезностей:

$$\pi_1^{opt}\in\mathbf{\Pi}_1;\ \pi_2^{opt}\in\mathbf{\Pi}_2. \qquad (3)$$

Это принцип физической реализуемости оптимального решения.

2. Оптимальное решение доставляет сторонам конфликта полезность не меньшую, чем в точке status quo:

$$\pi_1^{opt}\geq\pi_1^{s.q.};\ \pi_2^{opt}\geq\pi_2^{s.q.}. \qquad (4)$$

Это принцип индивидуальной оптимальности, в соответствии с которым обе стороны должны быть заинтересованы в решении оптимизационной задачи. Если этот принцип не справедлив, оптимизационная задача теряет смысл.

3. Оптимальность решения в смысле Парето: если $\pi.\in\Pi.$ и $\pi.\geq\pi.^{opt}$, то $\pi.=\pi.^{opt}$. Из справедливости этого утверждения следует, между прочим, что оптимальные значения полезностей сторон всегда принадлежат границе множества $S=\Pi_1\times\Pi_2$ допустимых полезностей, т.е. диаграмме обмена полезностями $\pi_1=\pi_1(\pi_2)$.

4. Допустимость линейного преобразования полезностей: если множество $\Pi'.=\alpha\Pi.+\beta$ получается из $\Pi.$ при помощи линейного преобразования, то есть если $\pi'_1=\alpha_1\pi_1+\beta_1$ и $\pi'_2=\alpha_2\pi_2+\beta_2$, то оптимальное решение относительно функции полезности:

$$\pi'.^{opt}=\alpha.\pi.^{opt}+\beta. \qquad (5)$$

Если $\beta.=0$, то применение этого принципа оправдано тем, что стороны вырабатывают оптимальное решение на каждом шаге итерационного процесса переговоров, отказываясь от части (доли) полезности, пропорциональной максимально возможной. Раз уж решение строится при помощи операций над пропорциональными частями полезностей, сами множества этих полезностей должны допускать линейные деформации без последствий для принимаемого решения. Множество случаев $\beta\geqslant 0$ означает, что соответствующая система имеет некоторую ненулевую постоянную составляющую полезности, обеспечиваемую за счет ресурса, на который не претендует другая сторона. Физически принцип допустимости линейного преобразования утверждает, что безразлично, по какой шкале измерять полезность, лишь бы шкалы были линейно связаны. Так, если полезность – это вероятность, то она может измеряться основной

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

шкале [0;1]. Если в качестве полезности принята линейная ошибка (например, ошибка измерения координаты), то от того, будет ли она измеряться в метрах, километрах или других единицах, оптимальное для разрешения внутреннего конфликта значение распределяемого ресурса не должно меняться.

Кроме четырех перечисленных, можно принять еще два совершенно естественных положения, вообще говоря, не востребованных при качественном описании итерационного процесса переговоров для выработки оптимального решения.

5. Принцип симметрии или анонимности: если π_1 и π_2 поменять местами (поменять оси диаграммы на *рисунке 1*), оптимальное решение не должно меняться.

6. Независимость от посторонних альтернатив: если $\pi^{opt}\in\Pi.\subset P.$ и $\pi^{opt}=\gamma(\Pi.,\pi^{s.q})$, то $\pi^{opt}=\gamma(P.,\pi^{s.q.})$. Физически это означает, что если в силу каких-то причин множество допустимых полезностей П. расширится, то точка оптимального распределения полезностей останется там же, где она и была, или переместится в новое расширение. Но не будет другой точкой в прежнем множестве. Пусть, например, распределяемый ресурс – это мощность помехи $P\in[0,P_{max}]$. И пусть на основе рассматриваемого итерационного оптимизационного процесса выбрано оптимальное значение этой мощности P_{opt}. Если по какой-то причине допустимая мощность помехи может быть увеличена до $P_{max}=\kappa P_{max}$, $\kappa>1$, оптимальное значение P_{opt} все равно останется тем же в случае $P_{opt}<P_{max}$. Но может стать больше, если ранее было $P_{opt}=P_{max}$.

Шесть перечисленных принципов – по сути весьма мягких, слабых предположений о свойствах функций полезности и правил проведения переговорного процесса оптимизации – можно рассматривать как аксиомы, на основе которых доказывается следующая теорема: итерационный процесс достижения оптимального арбитражного согласования полезностей сходится к точке, максимизирующей произведение полезностей участников координируемого конфликта, т.е.:

$$\left(\pi_1^{opt},\pi_2^{opt}\right)=\max_{\pi_1\in\Pi_1,\pi_2\in\Pi_2}, \qquad (6)$$

и эта точка единственная в $S=\Pi_1\times\Pi_2$.

Критерий в форме (6) устанавливает наилучшее распределение полезностей и, соответственно, наилучшее распределение ресурса при противоречивых требованиях к нему. Применение критерия в такой форме не требует рассмотрения инерционной модели переговорного процесса.

Если точка status quo не попадает в (0,0), критерий (6) следует принять в форме

$$\left(\pi_1^{opt}-\pi_1^{min}\right)\left(\pi_2^{opt}-\pi_2^{min}\right)=\max_{\pi_1\in\Pi_1,\pi_2\in\Pi_2}. \qquad (7)$$

Иначе говоря, оптимальное арбитражное решение максимизирует произведение вариабельных составляющих полезностей $(\pi_1^{opt}-\pi_1^{min})$ и $(\pi_2^{opt}-\pi_2^{min})$. Доказательство тривиально: полезности π_1^{min} и π_2^{min} стороны конфликта обеспечивают себе независимо от претензий противной стороны. Поэтому соответствующие полезности без какого-либо ущерба для результата могут быть исключены из обсуждения в процессе переговорного процесса.

Уже указывалось на то, что противоречия между императивным и арбитражным подходами к решению критериальной проблемы выглядят как антагонистическими лишь на первый взгляд. Это действительно так, если администратор при императивном установлении критерия оптимальности разрешения конфликта между подчиненными системами руководствуется теми же принципами справедливости, что и арбитр при согласовании интересов равноправных участников спора.

Следует отметить, что критерии (6) и (7) допускают непосредственное обобщение на многомерный случай оптимизации в условиях координируемого конфликта любого числа $n>2$ числа участников, претендующих на общий ресурс:

$$\prod_{i=1}^{n}(\pi_i-\pi_i^{min})=\max,\pi_i=\pi_i^{opt},\ i\in 1:n. \qquad (8)$$

Литература

1. Гуткин Л.С. Оптимизация радиоэлектронных устройств по совокупности показателей качества. М.: «Советское радио», 1975. 686 с.

2. Оуэн Г. Теория игр. М.: Вузовская книга, 2008. 215 с.

3. Куприянов А.И., Шустов Л.Н. Радиоэлектронная борьба. Основы теории. М.: «Вузовская книга», 2011. 800 с.: ил.

4. Царьков А.Н., Бугаков И.А. Устойчивое развитие и управление целостностью: обеспечение т механизм реализации // Известия Института инженерной физики, 2012, №26(4). С. 79-88.

5. Умников В.А., Заводчикова М.Г., Царьков А.Н. Временная кластеризация как комплексное развитие // Известия Института инженерной физики, 2013, №28(2). С. 89-84.

УДК 517.977.58

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ФИЛЬТРАЦИИ И ЭКСТРАПОЛЯЦИИ УГЛОВЫХ КООРДИНАТ ЦЕЛИ*

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

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

Михаил Павлович Коваленко
кандидат технических наук
инженер-программист
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: misha_kovalenko@mail.ru

Сергей Евгеньевич Потапов
кандидат технических наук
преподаватель
филиал Военной академии РВСН
им. Петра Великого (г. Серпухов)
142202, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7 (4967) 72-19-11

Рассматривается решение задачи фильтрации и экстраполяции угловых координат с использованием линейных алгоритмов. Определяются ошибки линейных алгоритмов. Приводятся рекомендации по использованию линейных алгоритмов для фильтрации и экстраполяции угловых координат.

The paper considers linear bearings-only tracking methods. Linear methods performances were estimated. Possible linear methods applications were proposed.

Ключевые слова: линейные алгоритмы фильтрации угловых координат, метод наименьших квадратов, метод максимального правдоподобия, фильтр Калмана, фильтр с постоянными коэффициентами.

Keywords: linear bearings-only tracking methods, least squares, maximum likelihood, Kalman filter, alpha-beta filter.

1. Постановка задачи

В декартовой системе координат OXYZ с центром в точке расположения локатора движется цель – материальная точка. Функции изменения во времени координат цели $X_Ц(t)$, $Y_Ц(t)$ и $Z_Ц(t)$ являются дважды дифференцируемыми и непрерывными вместе с первыми производными. В такой постановке могут быть рассмотрены различные задачи, как с неподвижным, так и с подвижным локатором. В последнем случае функции изменения координат цели описывают движение цели относительно локатора.

Значения углов наклона линии визирования цели в горизонтальной $\varphi_П$ (угол пеленга) плоскости определяются как функция декартовых координат:

$$\varphi_П(t) = arctg\left(\frac{Z_Ц(t)}{X_Ц(t)}\right). \qquad (1.1)$$

В дискретные моменты времени $t_i = (i-1)\cdot\tau$ локатор производит измерения углового положения линии визирования цели в горизонтальной плоскости:

$$y_i = \varphi_П(t_i) + \Delta y_i \quad , \qquad (1.2)$$

где Δy_i – ошибка i-го измерения пеленга цели.

Таким образом, на основе n дискретных измерений $\{y_i\}_{i=1:n}$ в условиях отсутствия информации о дальности до цели необходимо определить сглаженные оценки угла и угловой скорости линии визирования цели в горизонтальной плоскости, а также их значения в упрежденный

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

момент времени ($t_n + \Delta t$), т.е. необходимо решить задачи фильтрации и экстраполяции на время Δt угловых координат линии визирования цели.

Задачи фильтрации и экстраполяции угловых координат цели представляет собой задачу фильтрации вектора параметров траектории цели, т.е. вектора параметров $\hat{x}$ принятой функции изменения во времени углового положения линии визирования:

$$\hat{\varphi}(t) = \phi(\hat{x}, t) \qquad (1.3)$$

в упрежденной точке, которая решается на этапах вторичной обработки локационной информации в различных системах [1].

Нахождение оценки вектора параметров $\hat{x}$ функции изменения во времени углового положения линии визирования цели по имеющимся измерениям $\{y_i\}_{i=1:n}$ основывается на математическом описании функционирования датчиков измерителя (локатора) и модели системы, описывающей движения цели относительно измерителя. В зависимости от сферы применения для описания динамической системы (цель–локатор) могут быть использованы различные модели. На практике широко используется следующее дискретное представление в пространстве состояний [2]:

$$\begin{cases} x_{n+1} = f(x_n, \upsilon_n) \\ y_n = h(x_n, \delta_n) \end{cases}; \qquad (1.4)$$

где x_n – вектор параметров в момент времени t_n;

y_n – вектор измерений в момент времени t_n;

υ и δ – случайные процессы, которыми описываются неточности модели системы и измерителя.

2. Метод наименьших квадратов

Одним из наиболее известных методов нахождения оценок вектора параметров x из (1.4) является метод наименьших квадратов. Если допустить упрощение системы (1.4) и представить ее в виде:

$$\begin{cases} x_i = \Phi \cdot x_{i-1}, \\ y_i = H \cdot x_i + \Delta y_i, \end{cases} \quad i = 1,..n \qquad (2.1)$$

тогда метод наименьших квадратов заключается в нахождении оценки $\hat{x}_0 = \hat{x}^{MHK}$ вектора параметров (2.1), минимизирующей функцию суммы квадратов ошибок Δy_i:

$$\hat{x}^{MHK} = \arg\min_{x_0} \sum_{i=1}^{n} \left[y_i - H \cdot \Phi \cdot x_{i-1}\right]^T \cdot \left[y_i - H \cdot \Phi \cdot x_{i-1}\right], \qquad (2.2)$$

Представив:

$$y^{\langle n \rangle} = (y_1 \ldots y_n)^T$$

$$H\Phi^{\langle n \rangle} = \left(H \cdot \Phi \quad H \cdot \Phi^2 \quad \ldots \quad H \cdot \Phi^n\right)^T, \qquad (2.3)$$

в виде векторов размера числа полученных измерений n, (2.2) можно переписать в виде:

$$\Sigma_{MHK}(n) = \sum_{i=1}^{n} \left[y_i - H \cdot \Phi \cdot x_{i-1}\right]^T \cdot \left[y_i - H \cdot \Phi \cdot x_{i-1}\right] = \left[y^{\langle n \rangle} - H\Phi^{\langle n \rangle} \cdot x_0\right]^T \cdot \left[y^{\langle n \rangle} - H\Phi^{\langle n \rangle} \cdot x_0\right]. \qquad (2.4)$$

Тогда оценка $\hat{x}^{MHK}$ находится из условия минимизации квадратичной формы (2.4):

$$\nabla_x \Sigma_{MHK}(n) = -2 \cdot \left(H\Phi^{\langle n \rangle}\right)^T \cdot \left[y^{\langle n \rangle} - H\Phi^{\langle n \rangle} \cdot x_0\right] = 0 \qquad (2.5)$$

откуда:

$$\hat{x}^{MHK}(n) = \left[\left(H\Phi^{\langle n \rangle}\right)^T \cdot H\Phi^{\langle n \rangle}\right]^{-1} \cdot \left(H\Phi^{\langle n \rangle}\right)^T \cdot y^{\langle n \rangle} \qquad (2.6)$$

3. Метод максимального правдоподобия

Приняв ошибки измерения Δy в (2.1) некоррелированными случайными величинами, распределенными по нормальному закону, в соответствии с распределением случайного вектора $\Delta y^{\langle n \rangle} = (\Delta y_1 \ldots \Delta y_n)^T$ можно записать функцию правдоподобия:

$$L = \frac{\exp\left(-0.5 \cdot \left[y^{\langle n \rangle} - H\Phi^{\langle n \rangle} \cdot x_0\right]^T \left(R^{\langle n \times n \rangle}\right)^{-1} \left[y^{\langle n \rangle} - H\Phi^{\langle n \rangle} \cdot x_0\right]\right)}{(2 \cdot \pi)^{n/2} \cdot \left|R^{\langle n \times n \rangle}\right|^{1/2}}, \qquad (3.1)$$

где $R^{\langle n \times n \rangle}$ – диагональная матрица, состоящая из корреляционных матриц ошибок измерений R_i на главной диагонали.

Оценка максимального правдоподобия вектора параметров $\hat{x}_0 = \hat{x}^{МП}$ находится из условия максимума функции правдоподобия (3.1), который соответствует минимуму квадратичной формы:

$$\Sigma_{МП}(n) = \left[y^{\langle n \rangle} - H\Phi^{\langle n \rangle} \cdot x_0\right]^T \left(R^{\langle n \times n \rangle}\right)^{-1} \left[y^{\langle n \rangle} - H\Phi^{\langle n \rangle} \cdot x_0\right]. \qquad (3.2)$$

Минимум квадратичной формы (3.2) определяется из выражения:

$$\nabla_x \Sigma_{МП}(n) = -2 \cdot \left(H\Phi^{\langle n \rangle}\right)^T \left(R^{\langle n \times n \rangle}\right)^{-1} \left[y^{\langle n \rangle} - H\Phi^{\langle n \rangle} \cdot x_0\right] = 0, \qquad (3.3)$$

откуда:

$$\hat{x}^{МП}(n) = \left[\left(H\Phi^{\langle n \rangle}\right)^T \left(R^{\langle n \times n \rangle}\right)^{-1} H\Phi^{\langle n \rangle}\right]^{-1} \left(H\Phi^{\langle n \rangle}\right)^T \left(R^{\langle n \times n \rangle}\right)^{-1} y^{\langle n \rangle}. \qquad (3.4)$$

Если $R_i = r$ (дисперсии единичных измерений равны) то выражения (2.6) и (3.4) эквивалентны, т.е. оценка, полученная по методу наименьших квадратов, равна оценки максимального правдоподобия, поскольку матрица $R^{\langle n\times n\rangle}$ диагональная и имеет место ассоциативность и коммутативность операции умножения матриц на число:

$$\left(A^T\cdot diag\left(\frac{1}{r}\right)\cdot A\right)^{-1}\cdot A^T\cdot diag\left(\frac{1}{r}\right)\cdot B=$$
$$=\left(\frac{1}{r}\cdot A^T\cdot A\right)^{-1}\cdot\left(\frac{1}{r}A^T\right)\cdot B=\left(A^T\cdot A\right)^{-1}\cdot A^T\cdot B\ . \quad (3.5)$$

Оценки (2.6) и (3.4) являются оценками, полученными по фиксированным выборкам, т.е. в определении оценок параметров одновременно используются все измерения и при добавлении нового измерения необходимо повторить расчеты. Для упрощения реализации можно переписать алгоритм получения оценки $\hat{x}^{МП}$ в рекуррентном виде. Для этого обозначим:

$$P^{\langle n\rangle}=\left[\left(H\Phi^{\langle n\rangle}\right)^T\left(R^{\langle n\times n\rangle}\right)^{-1}H\Phi^{\langle n\rangle}\right]^{-1}. \quad (3.6)$$

Тогда с учетом подстановок (2.3), применяя лемму об обращении матриц, получим:

$$P^{\langle n+1\rangle}=P^{\langle n\rangle}-P^{\langle n\rangle}\cdot\left(H\cdot\Phi^{n+1}\right)^T\cdot$$
$$\cdot\left[\left(H\cdot\Phi^{n+1}\right)\cdot P^{\langle n\rangle}\cdot\left(H\cdot\Phi^{n+1}\right)^T+R_{n+1}\right]^{-1}\cdot$$
$$\cdot\left(H\cdot\Phi^{n+1}\right)\cdot P^{\langle n\rangle}\quad . \quad (3.7)$$

Окончательно в соответствии с [4] оценка максимального правдоподобия может быть определена из (3.7) и следующих рекуррентных соотношений:

$$K(n+1)=P^{\langle n\rangle}\cdot\left(H\cdot\Phi^{n+1}\right)^T\cdot$$
$$\cdot\left[\left(H\cdot\Phi^{n+1}\right)\cdot P^{\langle n\rangle}\cdot\left(H\cdot\Phi^{n+1}\right)^T+R_{n+1}\right]^{-1}\cdot$$
$$\cdot\hat{x}^{МП}(n+1)=\hat{x}^{МП}(n)+K(n+1)\cdot$$
$$\cdot\left[y_{n+1}-\left(H\cdot\Phi^{n+1}\right)\cdot\hat{x}^{МП}(n)\right]\ . \quad (3.8)$$

4. Фильтр Калмана

Широкое распространение в инженерных приложениях задачи фильтрации получили фильтры Калмана [2, 3 и др.]. Применяя теорию фильтрации Калмана можно достаточно просто синтезировать оптимальные линейные фильтры для некоторых частных задач.

При задания модели изменения углов визирования цели в пространстве состояний в виде линейной дискретной системы (2.1) уравнения алгоритма оптимального рекуррентного линейного фильтра могут быть преобразованы к виду [4]:

$$\hat{x}_{n|n-1}=\Phi\cdot\hat{x}_{n-1}^{KLM},$$
$$\Psi_{ї|n-1}=\Phi\cdot\Psi_{n-1}\cdot\Phi^T,$$
$$K_n=\Psi_{n|n-1}\cdot H^T\cdot\left(H\cdot\Psi_{n|n-1}\cdot H^T+R_n\right)^{-1}$$
$$\Psi_n=\Psi_{n|n-1}-K_n\cdot H\cdot\Psi_{n|n-1}$$
$$\hat{x}_n^{KLM}=\hat{x}_{n|n-1}+K_n\cdot\left(y_n-H\cdot\hat{x}_{n|n-1}\right), \quad (4.1)$$

где Ψ_n - корреляционная матрица ошибок оценки $\hat{x}_n^{KLM}$ по результатам n измерений;

R_n – корреляционная матрица ошибки n-го измерения;

K_n – матричный коэффициент усиления фильтра.

Сравнивая (4.1) с (3.7) и (3.8) можно заметить, что формулы получения рекуррентных оценок максимального правдоподобия калмановской фильтрации отличаются лишь тем, что в фильтре Калмана учитывается априорная информация об ошибках задания начального значения вектора параметров.

5. Фильтр с постоянными коэффициентами

Наряду с линейными рекуррентными фильтрами Калмана, широкое применение в инженерных приложениях задач фильтрации нашли фильтры с постоянными коэффициентами [1]. Их преимущество заключается в простоте реализации с использованием фиксированных параметров для коэффициента усиления фильтра. Уравнение фильтра с постоянными коэффициентами имеет вид:

$$\hat{x}_n^{\alpha-\beta}=\Phi\cdot\hat{x}_{n-1}^{\alpha-\beta}+K_{\alpha-\beta}\cdot\left(y_n-H\cdot\Phi\cdot\hat{x}_{n-1}^{\alpha-\beta}\right). \quad (5.1)$$

где $K_{\alpha-\beta}$ – коэффициент усиления фильтра.

Сравнивая (5.1) с (4.1) можно заключить, что при фиксировании коэффициента усиления фильтра Калмана он становится фильтром с постоянным коэффициентом. Фиксирование нижнего предела значений коэффициента усиления фильтра Калмана применяется в инженерных задачах для обеспечения реакции фильтра на поступающие измерения даже после накопления большого количества информации, обеспечивающей точную оценку вектора параметров.

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

6. Ошибки линейных алгоритмов

Как было отмечено выше, если ошибки единичных измерений являются распределенными по нормальному закону некоррелированными случайными величинами, а априорная информация об ошибках оценки вектора параметров отсутствует, то приведенные линейные алгоритмы практически эквивалентны. Поэтому для оценки точности экстраполяции угловых координат с использованием линейных алгоритмов можно рассмотреть наиболее удобный случай – экстраполяцию угловых координат с использованием метода наименьших квадратов.

Функция изменения во времени углов визирования цели (1.3) принимается в виде полинома:

$$\phi(x,t)=\sum_{j=0}^{s}\frac{\vartheta_s\cdot t^j}{j!}, \qquad (6.1)$$

где $x=(\vartheta_0 \quad \dots \quad \vartheta_s)^T$ – вектор параметров;
s – степень полинома.

Для определенности далее рассматриваются полиномы первой и второй степени.

Согласно [5], корреляционная матрица флюктуационных составляющих ошибок оценки вектора параметров по результатам n измерений определяется по формуле:

$$\Psi_n=\left(A_n^T\cdot R_n^{-1}\cdot A_n\right)^{-1}, \qquad (6.2)$$

где

$$A_n^T=\begin{pmatrix}\frac{\partial\phi\left(\hat{x}^{МНК},t_1\right)}{\partial\vartheta_s} & \frac{\partial\phi\left(\hat{x}^{МНК},t_2\right)}{\partial\vartheta_s} & \cdots & \frac{\partial\phi\left(\hat{x}^{МНК},t_n\right)}{\partial\vartheta_s}\\ \cdots & \cdots & \ddots & \cdots\\ \frac{\partial\phi\left(\hat{x}^{МНК},t_1\right)}{\partial\vartheta_0} & \frac{\partial\phi\left(\hat{x}^{МНК},t_2\right)}{\partial\vartheta_0} & \cdots & \frac{\partial\phi\left(\hat{x}^{МНК},t_n\right)}{\partial\vartheta_0}\end{pmatrix},$$

$$R_n^{-1}=diag\left(\frac{1}{\sigma^2}\right),$$

σ^2 – дисперсия ошибки единичного измерения. С учетом свойств корреляционной матрицы [6] получаем следующие выражения для дисперсий флюктуационных составляющих погрешностей определения сглаженных по результатам n измерений значений угла $\sigma_\varphi^{\,2}$ и угловой скорости $\sigma_{\dot\varphi}^{\,2}$ линии визирования цели с учетом гипотезы полинома первой:

$$\sigma_\varphi^2=\frac{2\cdot(2\cdot n-1)}{n\cdot(n+1)}\cdot\sigma^2;\quad \sigma_{\dot\varphi}^2=\frac{12}{\tau^2\cdot n\cdot\left(n^2-1\right)}\cdot\sigma^2; \qquad (6.3)$$

и второй степени:

$$\sigma_\varphi^2=\frac{3\cdot\left(3\cdot n^2-3\cdot n+2\right)}{n\cdot\left(n^2+3\cdot n+2\right)}\cdot\sigma^2;$$

$$\sigma_{\dot\varphi}^2=\frac{12\cdot\left(16\cdot n^2-30\cdot n+11\right)}{\tau^2\cdot n\cdot\left(n^4-5\cdot n^2+4\right)}\cdot\sigma^2; \qquad (6.4)$$

где σ^2 – дисперсия ошибок единичных измерений углов визирования цели.

По формулам (6.3) и (6.4) можно определить лишь флюктуационные составляющие ошибок определения сглаженных значений углов и угловых скоростей линии визирования. Для определения динамических составляющих ошибок (далее просто динамических ошибок), вызванных несоответствием принятых гипотез изменения во времени углов визирования цели в виде полиномов (6.1) первой и второй степени реальному характеру изменения во времени пеленга цели (1.1) необходимо задать определенный вид ее траектории. Наиболее распространенным является полет цели на постоянной высоте с постоянной скоростью. Проекция траектории такой цели на горизонтальную плоскость приведена на *рисунке 1*.

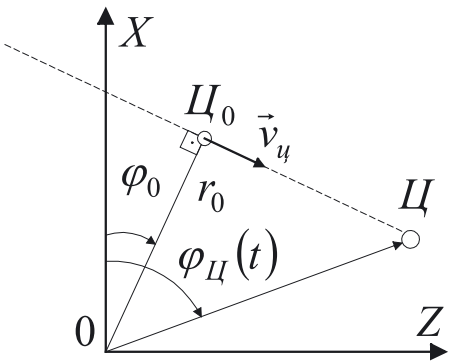


Рис. 1. Проекция траектории неманеврирующей цели

На *рисунке 1* локатор расположен в начале координат, точка $Ц_0$ соответствует расположению цели в момент времени t_0, r_0 – самое близкое расстояние от измерителя до цели в горизонтальной плоскости, φ_0 – пеленг цели в момент времени t_0. Обозначив скорость цели в горизонтальной плоскости $v_ц$, получаем функции изменения во времени угла и угловой скорости пеленга цели, соответствующих (1.1):

$$\varphi_Ц(t)=\varphi_0+arctg\left(\frac{v_ц\cdot(t-t_0)}{r_0}\right);$$

$$\dot\varphi_Ц(t)=\frac{v_ц}{r_0\cdot\left(1+\frac{v_ц^{\,2}\cdot(t-t_0)^2}{r_0^{\,2}}\right)}. \qquad (6.5)$$

Зависимость динамических ошибок определения сглаженных углов $\hat{\varphi}_n$ и угловых скоростей $\hat{\dot{\varphi}}_n$ пеленга неманеврирующей цели от числа учитываемых измерений n могут быть получены из выражений:

$$\Delta\varphi(n)=\hat{\varphi}_n-\varphi_{Ц}(t_n);\quad \Delta\dot{\varphi}(n)=\hat{\dot{\varphi}}_n-\dot{\varphi}_{Ц}(t_n). \quad (6.6)$$

Аналитические зависимости динамических ошибок (6.6) определения сглаженных углов и угловых скоростей пеленга можно определить с помощью разложения функции изменения во времени угла пеленга цели (6.5) в ряд Тейлора в окрестности точки $t=t_0$. Для демонстрации качественной картины изменения динамических ошибок достаточно взять несколько первых членов ряда (для определенности взято шесть членов ряда). Тогда можно получить следующие зависимости динамических ошибок определения сглаженных значений углов и угловых скоростей пеленга цели при использовании метода наименьших квадратов с гипотезой изменения пеленга в виде полиномов первой:

$$\Delta\varphi_1^{МНК}(n)=\hat{\varphi}_1^{МНК}(t_n)-\varphi_{Ц}(t_n)=$$
$$=\frac{(n-1)\cdot n\cdot\tau^3\cdot\lambda^3}{210}\cdot\left(\left(4\cdot n^2-1\right)\right.$$
$$\left.\cdot(5\cdot n-3)\cdot\tau^2\cdot\lambda^2+7-21\cdot n\right), \quad (6.7)$$

$$\Delta\dot{\varphi}_1^{МНК}(n)=\hat{\dot{\varphi}}_1^{МНК}(t_n)-\dot{\varphi}_{Ц}(t_n)=$$
$$=\frac{\tau^2\cdot\lambda^3}{210}\cdot\left(\left(180\cdot n^4-36\cdot n^3+21\cdot n^2+9\cdot n-6\right)\cdot\right.$$
$$\left.\cdot\tau^2\cdot\lambda^2+21\cdot n-14-147\cdot n^2\right), \quad (6.8)$$

и второй степени:

$$\Delta\varphi_2^{МНК}(n)=\hat{\varphi}_2^{МНК}(t_n)-\varphi_{Ц}(t_n)=$$
$$=\frac{(n-1)\cdot n\cdot\tau^3\cdot\lambda^3}{420}\cdot\left(\left(15\cdot n^3-39\cdot n^2+15\cdot n+6\right)\cdot\right.$$
$$\left.\cdot(n-2)\cdot\tau^2\cdot\lambda^2+14-7\cdot n\right), \quad (6.9)$$

$$\Delta\dot{\varphi}_2^{МНК}(n)=\hat{\dot{\varphi}}_2^{МНК}(t_n)-\dot{\varphi}_{Ц}(t_n)=$$
$$=\frac{\tau^2\cdot\lambda^3}{210}\cdot\left(\left(105\cdot n^4-81\cdot n^3+96\cdot n^2+9\cdot n-6\right)\cdot\right.$$
$$\left.\cdot\tau^2\cdot\lambda^2+21\cdot n-14-42\cdot n^2\right), \quad (6.10)$$

где $\lambda=\frac{v_ц}{r_0}$.

Заключение

Из анализа формул дисперсий (6.3) и (6.4) можно сделать заключение о существенном увеличении времени сходимости флюктуационных составляющих ошибок при переходе от линейной к квадратичной гипотезе изменения во времени угла пеленга цели. Поэтому следует отказаться от задания гипотезы изменения углов визирования цели в виде полиномов выше второй степени.

Анализируя полученные результаты, необходимо отметить, что при большом числе измерений n, учитываемых для определения сглаженных значений углов и угловых скоростей линии визирования цели, динамические ошибки линейных алгоритмов (6.7) – (6.10) неограниченно растут. Поскольку формулы для расчета ошибок (6.7) – (6.10) справедливы лишь в окрестности точки $t=t_0$ функций изменения во времени угла и угловой скорости пеленга цели (6.5), то в реальности рост динамических ошибок будет меньшим, но все же значительным ввиду нелинейного характера функций (6.5). Поэтому для обеспечения приемлемых точностей сглаживания и экстраполяции углов и угловых скоростей линии визирования цели в общем случае при реализации рассмотренных линейных алгоритмов необходимо ограничить число учитываемых измерений n.

Из сопоставления формул (6.7) и (6.8) с формулами (6.9) и (6.10) следует заключение о том, что с ростом числа учитываемых измерений n динамические ошибки определения сглаженных значений угла и угловой скорости пеленга неманеврирующей цели линейными алгоритмами с учетом гипотезы квадратичного изменения во времени фильтруемой величины растут медленнее динамических ошибок, получаемых с использованием линейной гипотезы. Очевидно, что в случае маневра цели будет наблюдаться такая же картина [5].

Сопоставление формул (6.3) для определения флюктуационных составляющих ошибок определения линейными алгоритмами сглаженных значений угла и угловой скорости линии визирования цели с учетом гипотезы линейного изменения угла, с формулами (6.4) для флюктуационных составляющих ошибок сглаживания при использовании гипотезы квадратичного изменения угла визирования приводит к заключению о том, что использование линейной гипотезы позволяет обеспечить меньшие флюктуационные составляющие ошибки.

Точность экстраполяции углового положения будет зависеть от времени экстраполяции и от точности определения текущих значений

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

угла и угловой скорости. Если в случае флюктуационных ошибок в отдельных случаях можно будет наблюдать повышение точности экстраполяции за счет разного знака ошибок определения текущего значения угла и угловой скорости, то динамические ошибки будут иметь один знак. Поэтому использование линейных алгоритмов фильтрации для определения экстраполированных значений угловых координат в общем случае неэффективно. Приемлемую точность экстраполяции можно достичь лишь при малых угловых скоростях перемещения цели относительно локатора.

Поскольку ошибки фильтрации и экстраполяции складываются как из флюктуационной, так и из динамической составляющей, то рекомендации об использовании линейной или квадратичной гипотез для нахождения упрежденных значений углов и угловых скоростей линии визирования цели с помощью линейных алгоритмов следует делать исходя из конкретного вида траектории цели, интервала поступления измерений и ошибок измерителя. Учитывая малость динамических составляющих ошибок по сравнению с флюктуационными в начале процесса фильтрации можно говорить о целесообразности использования линейных алгоритмов с гипотезой линейного изменения во времени входной величины для определения упрежденных значений углов и угловых скоростей линии визирования цели на начальных этапах поступления угловых измерений. С ростом числа поступивших измерений n увеличивается влияние динамических составляющих ошибок, и, как следствие, возрастает выгода от использования для получения сглаженных и экстраполированных значений углов и угловых скоростей линии визирования цели линейных алгоритмов с гипотезой квадратичного изменения во времени входной величины.

Литература

1. Кузьмин С.З. Цифровая обработка радиолокационной информации. М.: Советское радио, 1967. 400 с.

2. Балакришнан А.В. Теория фильтрации Калмана: Пер. с англ.. М.: Мир, 1988. 168 с.

3. Солодов А.В. Методы теории систем в задаче непрерывной линейной фильтрации. М.: Наука, 1976. 264 с.

4. Сейдж Э., Мелс Дж. Теория оценивания и ее применение в теории связи и управления: Пер. с англ. М.: Связь, 1976. 496 с.

5. Кузьмин С.З. Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации. М.: Радио и связь, 1986. 352 с.

6. Теория вероятностей: Учеб. для вузов. 2-е изд. / А.В. Печенкин, О.И. Тескин, Г.М. Цветкова и др.; Под ред. В.С. Зарубина и А.П. Крищенко. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 456 с.

УДК 629.7(091):629.78

МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ ОКОЛОЗЕМНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ПРИ УСЛОВИИ НАЛИЧИЯ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА*

Дмитрий Вячеславович Смирнов
доктор технических наук, доцент
Генеральный директор –
Первый Вице-президент Института
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93 E-mail: oniokr@mail.ru

Михаил Алексеевич Кондрашин
кандидат технических наук
старший научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
E-mail: mcc803@yandex.ru

Алексей Вячеславович Свистунов
младший научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
E-mail: lexasvist@mail.ru

Владимир Иванович Алешин
кандидат технических наук
старший научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
E-mail: mcc803@yandex.ru

Алексей Александрович Коробков
кандидат технических наук, доцент
старший научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
E-mail: korobkow@mail.ru

Андрей Николаевич Фуров
кандидат технических наук
научный сотрудник
МОУ «ИИФ»
E-mail: afurov@gmail.com

Статья посвящена обзору существующих методов и средств защиты околоземных космических аппаратов от столкновения с неконтролируемыми космическими фрагментами техногенного происхождения (космическим мусором). Предложен алгоритм функционирования аппаратно-программных средств управления космическим аппаратами с учетом наличия космического мусора.

The Article is dedicated to review existing methods and meanses of protection near Earth space device from collision with uncontrolled fragment space object technogenic origins (the space debris). Offered algorithm of the operation hardware-software programs of management space device with provision for presence of the space debris.

Ключевые слова: космический мусор, космический аппарат, засоренность околоземного космического пространства, методы защиты от космического мусора, освоение космического пространства, эффект Кесслера.

Keywords: space debris, space device, of the outer space pollution, methods of protection from space debris, mastering the outer space, the Kessler`s effect.

В настоящее время в околоземном космическом пространстве (ОКП) зафиксировано и регулярно уточняется орбитальная информация более чем по 20000 космическим объектам (КО) размером более 10 см, включающих: функционирующие космические аппараты (КА), прекратившие активное существование КА, разгонные блоки, фрагменты выведения, фрагменты разрушения и т.д. Число же объектов размером от 1 до 10 см исчисляется сотнями тысяч.

Присутствие в ОКП такого большого количества объектов представляет угрозу безопасности полетов околоземных космических аппаратов из-за ощутимой вероятности столкновения функционирующего космического аппарата с объектами космического мусора. Подтверждением того, что такие столкновения возможны и эту проблему невозможно игнорировать, явилось столкновение КА «Космос-2251»

* Исследования проводятся при поддержке фонда РФФИ, грант № 13-07-00717.

и «Iridium-33» в феврале 2009 г. Исследования, проведенные с участием авторов [1], показали, что в 2010-2011 годах произошло не менее 26 столкновений разгонных блоков и неработающих КА с мелкими некаталогизированными фрагментами космического мусора. Космический мусор обладает огромным энергетическим потенциалом, что позволяет говорить о том, что столкновение КА с незначительным по размерам объектом может привести к полному или частичному выводу из строя КА. Подтверждением этому является столкновение работающего КА BLITS с мелким фрагментом космического мусора в январе 2013 года, в результате которого было нарушено функционирование КА.

В настоящей статье рассматривается один из методов обеспечения безопасности полетов околоземных космических аппаратов.

Для обеспечения безопасности полетов заданной группировки околоземных космических аппаратов (защищаемых КА) используется моделирование пространственно-временного положения всех объектов, находящихся в ОКП и планируемых к запуску в ОКП на заданном интервале времени. В результате моделирования прогнозируются опасные сближения защищаемого КА с объектами в ОКП, с которыми может столкнуться защищаемый КА (КО риска). Под сближением двух КО понимается событие прохождения этих двух объектов на минимальном расстоянии друг от друга (достижение локального минимума). Под опасным сближением понимается сближение, удовлетворяющее критериям, при которых оно считается опасным.

Пространственно-временное положение космического объекта, совершающего пассивный полет в ОКП (объект не маневрирует) определяется вектором состояния КО в некоторый фиксированный момент времени t_0. Компонентами вектора состояния являются координаты, компоненты скорости объекта, баллистический коэффициент и коэффициент светового давления.

Исходными данными для моделирования пространственно-временного положения на заданном интервале времени являются измерения параметров КО, функционально связанных с вектором состояния КО (траекторных параметров) и сведения о планируемых или рассчитываемых маневрах. Измерения траекторных параметров защищаемых КА производятся наземным измерительным комплексом управления и автономными измерительными средствами. Измерения траекторных параметров КО риска производятся различными системами и средствами мониторинга космического пространства. Все перечисленные измерения имеют различный вид и точность. Для использования их при моделировании пространственно-временного положения КО их необходимо привести к одному виду и снабдить весовыми коэффициентами (матрицами), характеризующими точность измерений. После этого для каждого КО на заданном интервале времени производится решение многоточечной краевой задачи и определяются векторы состояния каждого КО. Векторы состояния КО непрерывно уточняются при появлении новых измерений. Таким образом, исходными данными для моделирования являются непрерывно уточняемые в реальном масштабе времени по измерениям оценки параметров орбит и характеристики их точности, то есть каталог сопровождаемых космических объектов.

Рассмотрим случай, когда защищаемый КА совершает пассивный полет в ОКП и КО риска также совершают пассивный полет (разгонные блоки, нефункционирующие КА, КА без двигателей маневра, фрагменты, то есть подавляющее большинство объектов в ОКП). В этом случае пространственно-временное состояние объектов полностью определяется их векторами состояния.

Сравниваются два подхода моделирования событий опасных сближений.

Первый подход состоит в моделировании процессов. На каждом шаге процесса вычисляются условия наступления событий. Фактически моделирование событий в этом случае базируется на имитационном моделировании.

Такой подход в применении к выявлению опасных сближений опасных сближений получил название детерминированного метода. Полностью детерминированный метод был впервые предложен российскими учеными. Подробно данный метод рассмотрен в работах В.Ф. Фатеева, С.А. Суханова, З.Н. Хуторовского [2, 3] и других работах. Данный метод получил еще название «прямой метод». Суть данного метода сводится к поиску минимального расстояния между объектами путем вычисления положения пары объектов с малым шагом, выбранным в соответствии с заданной точностью, и вычисления расстояния между объектами на каждом шаге. Исходными данными для него являются непрерывно уточняемые в реальном масштабе времени по измерениям оценки параметров орбит и характеристики их точности, то есть каталог сопровождаемых космических объектов. По этим данным с помощью вычислительного алгоритма ищутся все опасные сближения любых пар объектов. Под опасным сближением понимается сближение двух объектов на расстояние менее заданного критического, либо сближение на

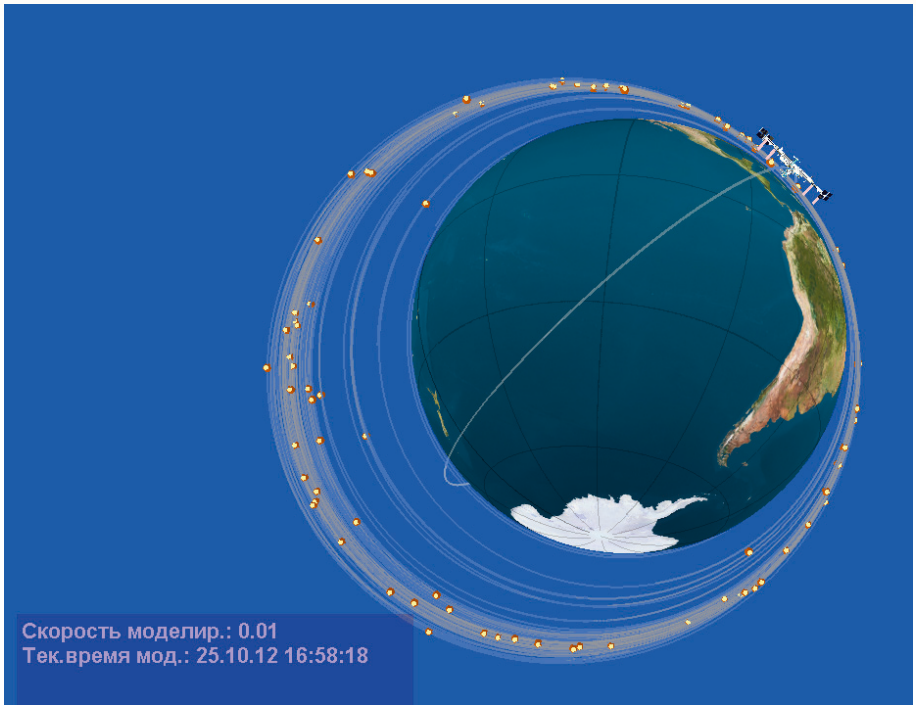


Рис. 1. Взаимное положение орбит МКС и фрагментов РБ «Бриз», взгляд наблюдателя направлен на центр Земли

расстояние более заданного критического с вероятностью столкновения, не являющейся пренебрежимо малой. Для каждого опасного сближения рассчитываются его геометрические характеристики и вероятность столкновения. Данный метод, к сожалению, является весьма трудоемким и требует существенных временных затрат на расчеты особенно при условии увеличения количества каталогизированных КО риска и одновременно сопровождаемых КА, требующих защиты. Данное обстоятельство является весьма критичным особенно при решении задачи выявления КО риска в контуре оперативного управления группировкой при выполнении динамических операций.

Рассматриваемый метод целесообразно использовать в упрощенном варианте. Для оценки безопасности полета защищаемого (защищаемых) КА моделируется его траектория в окружении траекторий заданных объектов риска. Все траектории затем визуализируются и опасность столкновения оценивается визуально.

В качестве примера рассмотрим оценку безопасности полета международной космической станции (МКС) после разрушения разгонного блока (РБ) «Бриз-М», международный номер 2012-044C, произошедшего 16.10.2012. Осколки РБ «Бриз-М» были каталогизированы 25.10.2012, накануне стыковки транспортного корабля Союз-ТМА 06М с МКС. Тогда же стали известны параметры их орбит. Результаты моделирования и визуализации орбит МКС и фрагментов РБ «Бриз» представлены на *рисунках 1, 2*.

Достаточно простого взгляда на рисунки, чтобы понять, что перед стыковкой осколки «Бриз-М» не угрожали МКС.

Второй подход состоит в непосредственном моделировании событий.

Этот подход базируется на предложенном авторами методе выявления потенциально опасных КО для защищаемых КА, основанный на отбраковке объектов, которые заведомо не могут столкнуться с «защищаемым» объектом. На этапах отбраковки ***не производится*** прогнозирование положения объектов на заданном интервале времени и вычисление взаимных расстояний между двумя объектами. Это отличает данный метод от существующих аналогов и позволяет существенно сократить время расчетов, что дает основание положить его в основу алгоритмов выявления опасных сближений и расчета вероятности столкновения при полете и проведении динамических операций на орбитах КА различного типа.

Для всех защищаемых КА, кроме геостационарных, метод основан на анализе геометрических характеристик орбит, которые рассматриваются как геометрическое место точек, занимаемых объектом при движении. На этапах отбраковки принимается, что орбиты являют-

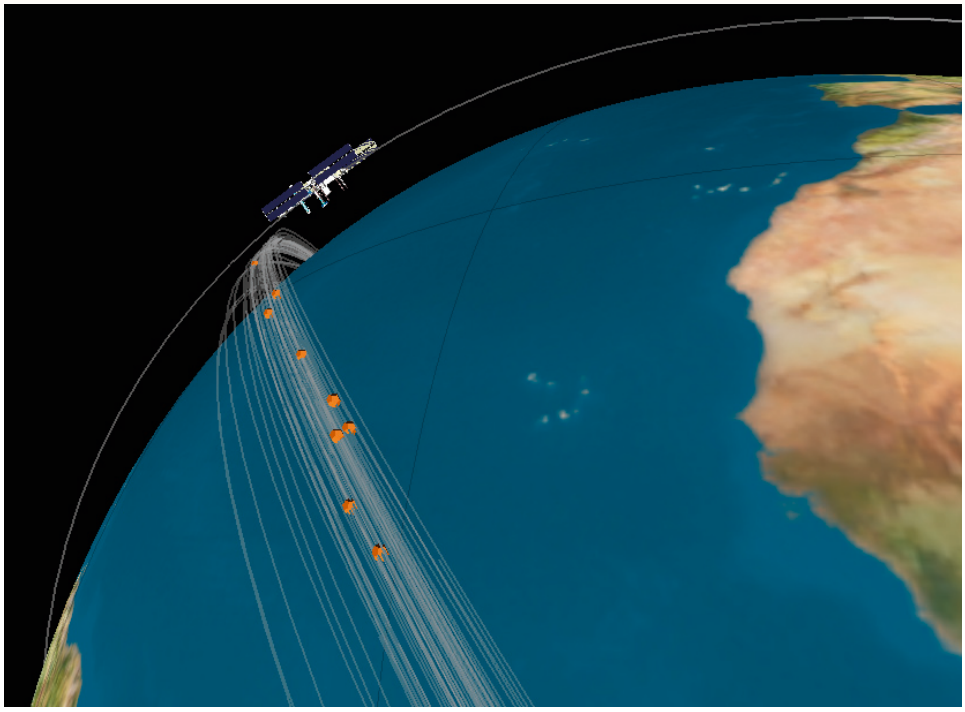


Рис. 2. Взаимное положение орбит МКС и фрагментов РБ «Бриз», взгляд наблюдателя направлен на МКС

ся кеплеровыми эллипсами, прецессирующими под влиянием нецентральности поля тяготения Земли.

В представленном методе процесс выявления потенциально опасных объектов разбит на 4 этапа. На первых трех этапах происходит отбраковка группы объектов, которые на заданном временном интервале не представляют опасности.

Первый этап отбраковки носит тривиальный характер: отбраковываются те КО риска, все точки орбит которых лежат либо вне верхней границы сферического пояса, в котором лежат точки орбиты защищаемого объекта, либо внутри нижней границы этого пояса (с учетом поправок, определяемых неточным знанием орбит КО риска и эволюцией этих орбит на заданном временном интервале).

Математически условие отбраковки формулируется следующим образом.

Исключаются объекты, для которых выполняется следующее условие:

$$H = \{\forall y_j : x_i \,|\, (R_p(x_i) < (R_a(y_j) + \Delta) \bigcap R_a(x_i) > \\ > (R_p(y_j) - \Delta)); \; i = 1..I; \; j = 1..J; \; x_i \neq y_j\};$$

где $\{H_j^i\}$ – множество потенциально опасных объектов, отобранных для дальнейшего анализа,

$R_p(x_i)$, $R_p(y_j)$ – соответственно перигейное расстояние КО и КА,

$R_a(x_i)$, $R_a(y_j)$ – соответственно апогейное расстояние КО и КА, Δ – зона допустимой погрешности расчетных величин $R_p(y_j)$, $R_a(y_j)$.

Второй этап отбраковки состоит в следующем.

Вводится критериальный параметр РМО – минимальное расстояние между орбитами. В соответствии с ранее данным определением орбита КА $O_{ka} = \{R_{kai}\}$ – множество точек (векторов положения) защищаемого КА, $O_r = \{R_{ri}\}$ – множество точек (векторов положения) КО риска. Тогда РМО есть минимальное расстояние на заданном интервале времени между парами точек R_{kai} и R_{rj}, где $R_{kai} \in O_{ka}$, $R_{ri} \in O_r$.

В этом случае справедливо утверждение: *защищаемый КА и КО риска имеют потенциальную возможность столкновения в том случае, если РМО орбит этих объектов меньше заданной критической величины, определяемой точностью измерений траекторий возмущённого движения объектов*.

Каковы бы ни были положения объектов на орбите, их взаимное расстояние не может быть меньше РМО. В соответствии с этим утверждением отбраковываются те объекты риска, для орбит которых РМО с орбитой защищаемого КА больше некоторой заданной величины.

В приближенной постановке орбиты всех объектов можно считать кеплеровыми и расчет РМО производить один раз для суточного интервала.

Третий этап отбраковки состоит в следующем.

Обозначим точки, в которых достигается РМО через R_{kam} и R_{rm} для орбиты защищаемого КА и орбиты КО риска соответственно. Справедливо утверждение:

Защищаемый КА и КО риска могут столкнуться только тогда, когда защищаемый КА находится вблизи R_{kam}, а КО риска вблизи R_{rm}. Поэтому на каждом витке защищаемого КА в момент, когда последний находится в точке R_{kam}, находится угловое расстояние между R_{kam} и R_r и отбраковываются те КО, для которых это расстоянии больше заданного.

На четвертом, заключительном этапе расчетов, прямым методом ищутся опасные сближения защищаемого КА с КО, оставшимися после трех этапов фильтрации.

Литература

1. Пономарева И.А., Алешин В.И. Идентификация фрагментов и определение характера разрушений космических аппаратов по элементам орбит // Тез. 3-й конф. мол. уч. и спец. ЦУП, 2013.

2. Хуторовский З.Н., Каменский С.Ю., Бойков В.Ф., Смелов В.Л. Риск столкновения космических объектов на низких высотах // Сб. науч. тр. «Столкновения в околоземном пространстве». РАН. Институт астрономии, 1995.

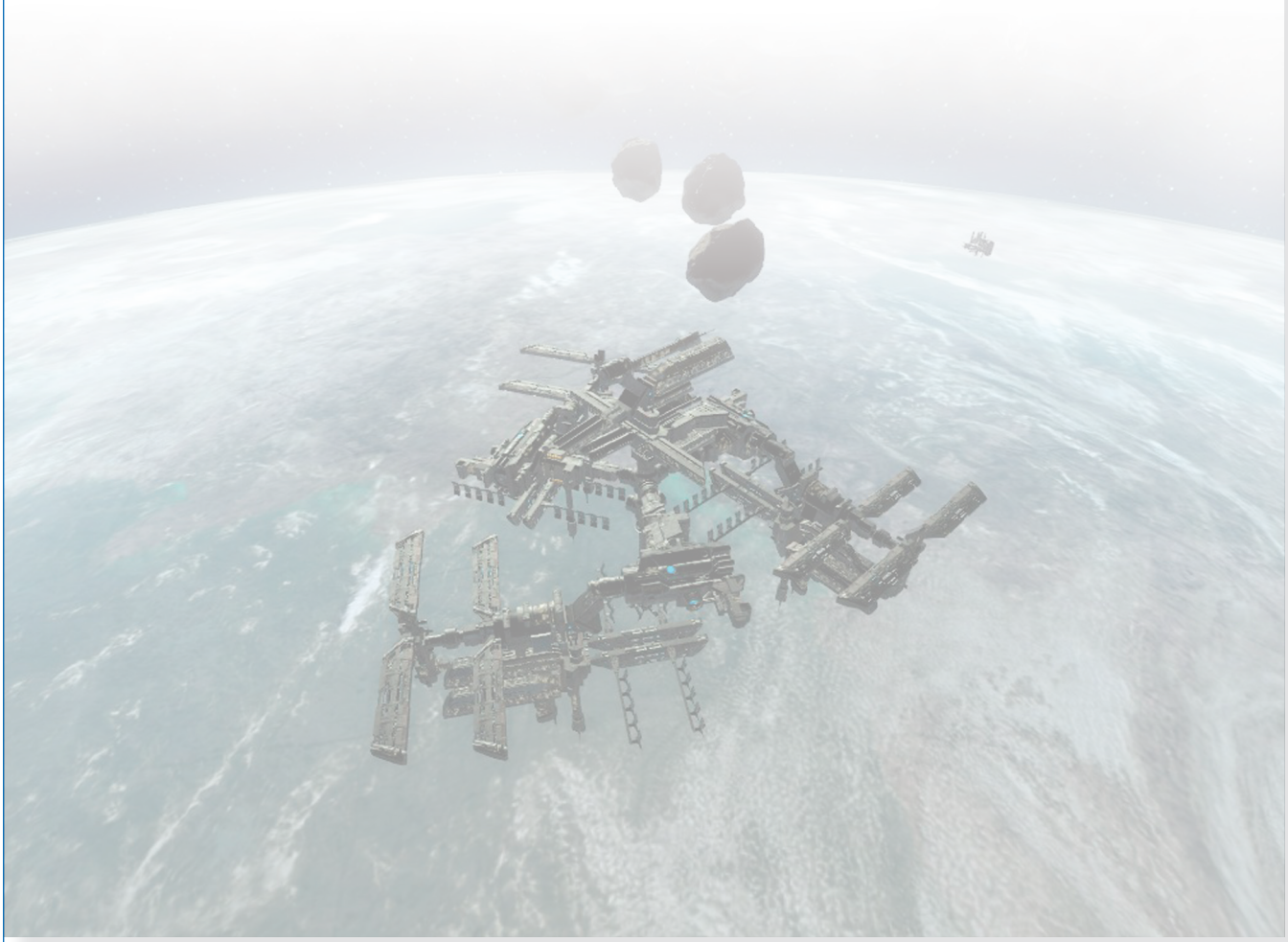
3. Фатеев В.Ф., Суханов С.А., Бурцев Ю.В., Хуторовский З.Н., Самотохин А.С. Методы предупреждения столкновений в космосе // Успехи современной радиоэлектроники, 2009. №4.

4. Кондрашин М.А., Скорняков В.А. Методы предварительной фильтрации при выявлении космических объектов, представляющих угрозу столкновения с орбитальными летательными аппаратами // Вестник Московского ГУ леса. Лесной вестник, 2011. №3(79). С. 116-121.

5. Кузнецов О.П., Фуров А.Н. Методический подход к оценке стойкости гиперзвуковых летательных аппаратов к воздействию поражающих факторов средств противоракетной обороны // Сб. тр. всерос. НТК «Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных технических и информационных систем. 2013. Ч. 4. С. 329-331.

6. Коробков А.А. Методика определения параметров движения гиперзвуковых летательных аппаратов // Известия Института инженерной физики. 2010. №3. С. 13-16.

7. Смирнов Д.В., Скиба Г.Г., Ву Нгок Хое. Разработка алгоритма и программы ПЭВМ идентификации аэродинамических коэффициентов с учетом изменения формы и моментов инерции управляемого летательного аппарата // Оборонная техника. 2005. №4-5. С. 56-65.



УДК 658.5.012.2

МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА МОДЕРНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Борис Федорович Безродный
доктор технических наук, профессор
главный инженер ПКТБ
железнодорожной автоматики и телемеханики
Адрес: 105082, Москва, Переведеновский пер., 21/9
Тел.: +7(499)504-01-19

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

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

В статье обоснован подход и проведена математическая постановка задачи выбора оптимального инновационного проекта модернизации промышленного предприятия, обеспечивающего максимальное значение вероятности приемки продукции с первого предъявления. Предложен метод решения поставленной задачи с учетом проявления различных возникающих при модернизации рисков.

In the article validated the approach and the mathematical formulation of problem choosing the best innovative project of modernization of industrial enterprise with the maximum value of the probability for acceptance of products from the first presentation. The method of solution of the problem of the universe supplied with the various manifestations arising from the modernization of the risks.

Ключевые слова: промышленное предприятие, производственный процесс, производственный цикл, инновационный проект, вероятность приемки продукции с первого предъявления, оптимизационная задача.

Keywords: Industrial enterprise, manufacturing process, production-venous cycle, innovative project, the probability of acceptance of the products with the first presentation, an optimization problem.

В настоящее время особую актуальность приобретает объективно обоснованный выбор оптимального, в смысле максимума вероятности приемки продукции с первого предъявления, инновационного проекта модернизации производственного цикла (ПЦ) промышленного предприятия (ПП) с учетом большого числа факторов, влияющих на величину этой вероятности.

Для расчета вероятностей приемки продукции с первого предъявления на различных этапах ПЦ с учетом условных (в зависимости от выбранного для них наборов реализуемых инноваций) вероятностей приемки по их окончании с первого предъявления и безусловных вероятностей как использования указанных наборов реализуемых инноваций, так и проявления различных наборов рисков, возникающих при реализации инновационного проекта, можно воспользоваться следующими формулами:

$$P(A_i) = \sum_{j=1}^{k_i} P(A_i|B_{ij})P(B_{ij}) = \sum_{j=1}^{k_i} r_{ij}q_{ij}\ , \qquad (1)$$

где $r_{ij} = P(A_i|B_{ij})$ – условная вероятность приемки продукции с первого предъявления по завершения i-го этапа ПЦ, при условии выбора для его модернизации j-го набора инноваций, а $q_{ij} = P(B_{ij})$ – безусловная вероятность выбора из всех возможных j-го набора инноваций а для модернизации i-го этапа ПЦ.

$$P = \prod_{i=1}^{n}\left[\sum_{j=1}^{k_i} P(A_i \mid B_{ij})P(B_{ij})\right] = \prod_{i=1}^{n}\left[\sum_{j=1}^{k_i} r_{ij}q_{ij}\right], \qquad (2)$$

$$P(A_i) = \sum_{j=1}^{k_i}\sum_{t=1}^{n_i} P(A_i \mid B_{ij} \mid \Pi_{it})P(B_{ij})P(\Pi_{it}) = \sum_{j=1}^{k_i}\sum_{t=1}^{n_i} d_{ijt}q_{ij}w_{it}\ , \qquad (3)$$

$$P=\prod_{i=1}^{N}\left[\sum_{j=1}^{k_i}\sum_{t=1}^{n_i}P(A_i\mid B_{ij}\mid \Pi_{it})P(B_{ij})P(\Pi_{it})\right]=$$

$$=\prod_{i=1}^{N}\left[\sum_{j=1}^{k_i}\sum_{t=1}^{n_i}d_{ijt}q_{ij}w_{it}\right]. \qquad (4)$$

Вероятность $w_{it}=P(\Pi_{it})$ определяет частоту проявления на i-ом этапе рассматриваемого ПЦ t-го варианта набора рисков, возникающих при модернизации ПЦ.

Вышеупомянутые условные вероятности приемки продукции с первого предъявления по завершении этапов ПЦ $r_{ij}=P(A_i|B_{ij})$ и $d_{ijt}=P(A_i|B_{ij}|\Pi_{it})$ могут быть вычислены с использованием известных моделей и методик [1] и в конечном итоге сводятся в таблицы, а безусловные вероятности $P(B_{ij})=q_{ij}$ и $P(\Pi_{it})=w_{it}$ $(i=1,\ldots,N,\ j=1,\ldots,k_i,\ t=1,\ldots,n_i)$ являются в общем случае варьируемыми величинами [5]. При этом на них накладываются ограничения, естественные для вероятностей событий образующих полную группу, то есть:

$$0\le w_{it}\le 1,\ t=1,\ldots,n_i,\ \sum_{t=1}^{n_i}w_{it}=1$$

для любого $i=1,\ldots,N$. (5)

Выбор значений величин q_{ij}, т.е. вероятность приемки продукции с первого предъявления, составляет в конечном итоге суть процесса оптимизации порядка выбора из возможных инновационных проектов, т.е. наборов реализуемых при модернизации этапов ПЦ инноваций. На них следует наложить естественные ограничения:

$$0\le q_{ij}\le 1,\ j=1,\ldots,n_i,\ \sum_{j=1}^{n_i}q_{ij}=1$$

для любого $i=1,\ldots,N$. (6)

Основную сложность при постановке задачи оптимизации порядка выбора наборов реализуемых при модернизации ПЦ инноваций представляет задание стоимостных ограничений. Дело в том, что, множества вариантов инновационных элементов и операций в условиях той или иной производственной ситуации, используемые на различных этапах ПЦ, могут как не пересекаться или пересекаться, так и просто совпадать. Это значительно усложняет формализацию получения такой оценки и приводит к оптимизационной задаче, разрешимой в общем случае лишь путем полного перебора всех различных вариантов в дискретном случае, а при непрерывном изменении вероятностей q_{ij} – становится численно практически неразрешимой [3, 5]. Для преодоления возникшей вышеописанной трудности, введем понятие удельной амортизационной стоимости инновационного элемента или инновационной операции, что позволяет нам получить аддитивные ограничения стоимости используемых их наборов на каждом из этапов ПЦ.

Пусть C – стоимость конкретного реализуемого при модернизации ПЦ инновационного элемента (операции), т.е. затраты на его оснащение, документирование, подготовку специалистов для его осуществления и иные затраты, связанные с его подготовкой и реализацией; T – среднее время его использования при организации ПЦ, а t – предписанная технологических процессом или плановая периодичность применения рассматриваемого инновационного элемента. Будем считать, что амортизация затрат на реализацию при модернизации ПЦ конкретного инновационного элемента (операции) распределяются равномерно в течение всего срока его использования. Тогда удельная амортизационная стоимость однократного применения этого инновационного элемента (операции) можно оценить по формуле:

$$C_{y\partial}=\frac{C\cdot t}{T}. \qquad (7)$$

Естественно, формула (7) является очень приближенной, и упрощенной. Учитывая безусловные вероятности q_{ij} реализации j-го инновационного проекта для модернизации i-го этапа ПЦ, получаем стоимость C_i инновационной модернизации i-го этапа ПЦ как ее математическое ожидание:

$$C_i=\sum_{j=1}^{k_i}c_{ij}q_{ij}. \qquad (8)$$

Тогда итоговую стоимость инновационной модернизации ПЦ можно посчитать по формуле:

$$C=\sum_{i=1}^{N}C_i=\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{k_i}c_{ij}q_{ij}. \qquad (9)$$

Отметим, что необходимые данные для вычисления удельной амортизационной стоимости однократного применения конкретного инновационного элемента или операции по формуле (7) или ее уточненному варианту (при необходимости учета специфики конкретного этапа и конкретного состава используемого при модернизации ПЦ инновационного проекта), как правило, содержатся в технико-экономических обоснованиях и сметах расходов на рассматриваемые инновационные проекты.

В качестве критерия эффективности инновационного проекта модернизации ПЦ ПП целесообразно выбрать вероятность приемки продукции с первого предъявления по завершении всего ПЦ P. Обозначим через C_0 максимально допустимую величину стоимости инновационного проекта ПЦ, определяемую из экономиче-

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

ских возможностей предприятия. Тогда задача оптимизации будет иметь вид:

$$P \to \max, \text{ при } C \le C_0. \qquad (10)$$

Если на практике появляется необходимость минимизировать стоимость инновационного проекта модернизации ПЦ, то следует задать минимально допустимую вероятность приемки продукции с первого предъявления по его завершении P_0, тогда задача оптимизации, двойственная к задаче (10) будет иметь вид:

$$C \to \min \text{ при } P \ge P_0. \qquad (11)$$

При оценке эффективности проекта модернизации ПЦ по известному [4] критерию «эффективность/стоимость» задача оптимизации преобразуется в:

$$P/C \to \max. \qquad (12)$$

Однако, наиболее приемлемым с практической точки зрения, критерием эффективности инновационного проекта модернизации ПЦ является вероятность приемки продукции с первого предъявления по его завершении, а задачу оптимизации порядка применения обеспечивающих модернизацию ПЦ инновационных проектов, т.е. комплексов инновационных элементов и операций, наиболее целесообразно ставить в виде (10). Постановка ее в виде (11) целесообразна лишь в случае, когда имеют место значительные финансовые трудности, а значение P_0 близко к единице. Постановка оптимизационной задачи в виде (12) с точки зрения общепринятой теории оценки эффективности [3] является классикой, однако, с практической точки зрения, применительно к выпуску особо ответственной аппаратуры (например, обеспечивающей безопасность движения поездов) – малосодержательной. Такая постановка рассматриваемой оптимизационной задачи в целом ряде случаев приводит к оптимальным решениям, характеризуемым невысокой вероятностью приемки продукции с первого предъявления по завершении ПЦ при относительно скромных затратах на его инновационную модернизацию.

Учитывая формулы (2), (9) и ограничения (6), оптимизационная задача (10) принимает вид:

$$P_{\max} = \max_{q_{ij}} \prod_{i=1}^{N} \left[\sum_{j=1}^{k_i} r_{ij} q_{ij} \right], \qquad (13)$$

при

$$\sum_{j=1}^{k_i} q_{ij} = 1, \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{k_i} c_{ij} q_{ij} \le C_o, 0 \le q_{ij} \le 1, \ j = 1,...,k_i, \ i = 1,...,N.$$

Постановка (13) оптимизационной задачи (10) соответствует случаю, когда проявление различных наборов рисков, возникающих при реализации инновационного проекта, принимается случайным, а условная вероятность $P(A_i \mid B_{ij})$ приемки продукции с первого предъявления по завершении i-го этапа ПЦ при использовании для его модернизации j–го инновационного проекта по вариантам проявления различных наборов вышеупомянутых рисков усредняется, то есть $P(A_i \mid B_{ij})$ принимается равным математическому ожиданию вероятности .

Если же такое усреднение не проводить, а принять игровую модель [5], при которой проявление различных наборов рисков, возникающих при реализации инновационного проекта, не является случайным, а рассчитывается на наихудший случай (минимаксный подход, соответствующий модели антагонистической игры), то оптимизационная задача (10) с учетом формул (4), (9) и ограничений (5) и (6) примет вид:

$$P_{\max} = \max_{q_{ij}} \min_{w_{it}} \prod_{i=1}^{N} \left[\sum_{j=1}^{k_i} \sum_{t=1}^{n_i} d_{ijt} q_{ij} w_{it} \right], \qquad (14)$$

при

$$\sum_{j=1}^{k_i} q_{ij} = 1; \quad \sum_{t=1}^{n_i} w_{it} = 1; \ \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{k_i} c_{ij} q_{ij} \le C_o; \ 0 \le q_{ij} \le 1;$$

$$0 \le w_{it} \le 1; \ j = 1,...,k_i, \ t = 1,...,n_i, \ i = 1,...,N.$$

Таким образом, мы поставили в терминах теории исследования операций задачу оптимизации порядка применения различных наборов инновационных элементов и операций, составляющих инновационные проекты реализуемые для модернизации ПЦ, на основе максимизации вероятности приемки продукции с первого предъявления как по завершении его в целом, так и по завершении его этапов, с учетом стоимостных ограничений. При этом она свелась к оптимизационным задачам (13) и (14), в которых проявление различных наборов рисков, возникающих при реализации инновационного проекта, считается, соответственно, случайным или антагонистическим.

Рассмотрим сначала решение этих задач в чистых стратегиях. Предварительно упростим критерий оптимизации, для чего воспользуемся монотонностью функции $\ln(x)$. Прологарифмируем критерий оптимизации и получим аддитивное его выражение, более приемлемое для дальнейшего решения оптимизационных задач (13) и (14). После логарифмирования критерия оптимизации задача (13) примет вид:

$$(\ln P)_{\max} = \max_{q_{ij}} \sum_{i=1}^{N} \ln \left[\sum_{j=1}^{k_i} r_{ij} q_{ij} \right], \qquad (15)$$

$$\text{при } \sum_{j=1}^{k_i} q_{ij} = 1, \ \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{k_i} c_{ij} q_{ij} \le C_0,$$

$$0 \le q_{ij} \le 1, \ j = 1,...,k_i, \ i = 1,...,N.$$

Предположим, что финансовый ресурс C_0, который ограничивает математическое ожидание стоимости инновационной модернизации ПЦ, распределен между его этапами некоторым образом $C_0 = C_1 + ... + C_N$. В этом случае при фиксированных $C_1,...,C_N$ можно оптимизировать этапы по отдельности, т.к. каждое слагаемое – логарифм зависит от своих q_{ij}, и задача (15) трансформируется в задачу:

$$(\ln P)_{\max} = \max_{C_1,...,C_N} \sum_{i=1}^{N} \ln\left[\max_{q_{i1},...,q_{ik_i}} \sum_{j=1}^{k_i} r_{ij} q_{ij} \right], \qquad (16)$$

при $\sum_{i=1}^{N} C_i = C_0$, $\sum_{j=1}^{k_i} c_{ij} q_{ij} = C_i$, $\sum_{j=1}^{k_i} q_{ij} = 1$, $i = 1,...,N$.

Данная задача представляет собой суперпозицию задачи максимизации вероятности приемки продукции с первого предъявления по завершении всего ПЦ на основе оптимизации распределения ресурсов между его этапами:

$$(\ln P)_{\max} = \max_{C_1,...,C_N} \sum_{i=1}^{N} \ln \varphi_i(C_i), \qquad (17)$$

при $C_1 + ... + C_N = C_0$ и задач максимизации вероятности приемки продукции с первого предъявления по завершении его этапов:

$$\varphi_i(C_i) = \max_{q_{i1},...,q_{ik_i}} \sum_{j=1}^{k_i} q_{ij} r_{ij}, \qquad (18)$$

при $0 \le q_{ij} \le 1$, $\sum_{j=1}^{k_i} q_{ij} = 1$, $\sum_{j=1}^{k_i} c_{ij} q_{ij} \le C_i$.

Задача (17) является классической задачей распределения ресурсов, решаемая методами динамического программирования [6], а задача (18) представляет собой задачу линейного программирования, решаемую в общем виде с использованием симплекс-метода [7].

Решим задачу (13) путем последовательного решения набора N задач (18) и задачи (17) в чистых стратегиях. Это означает, что для любого $i=1,\ldots,N$ в наборе вероятностей $q_{i1},...,q_{ik_i}$ одна равна единице, остальные – нулю. В этом случае ограничения задачи (18) определяют множества индексов j таких что, соответствующие вероятности q_{ij} могут принимать значение «1». Это множество $J_i(C_i)$. Тогда решением задачи (3.14) в чистых стратегиях будет:

$$\varphi_i(C_i) = \max_{j \in J_i(C_i)} r_{ij} = r_{ij_i^{onm}(C_i)}, \qquad (19)$$

а задача (17) примет вид:

$$(\ln P)_{\max} = \max_{C_1,...,C_N} \sum_{i=1}^{N} \ln\left(\max_{j \in J_i(C_i)} r_{ij} \right), \qquad (20)$$

при $C_1 + ... + C_N = C_0$.

Задачу (20) будем решать методом динамического программирования. Согласно принципу оптимальности Беллмана [6] справедливо следующее равенство:

$$(\ln P)_{\max} = \max_{C_1,...,C_N} \sum_{j=1}^{N} \ln \varphi_i(C_i) = \max_{C_1} (\ln \varphi_1(C_i) + \max_{C_2} (\ln \varphi_2(C_2) + \\ + \max_{C_3} (\ln \varphi_3(C_3) + ...)...)), \qquad (21)$$

при $C_1 + ... + C_N = C_0$.

Другими словами, имеет место рекурсивная зависимость:

$$(\ln P)_{\max} = \max_{C_1} F_1(C_1);$$
$$F_i(C_i) = \ln \varphi_i(C_i) + \max_{C_{i+1}} F_{i+1}(C_{i+1}); \qquad (22)$$
$$i = 2,;..,N-1;\ F_N = \max_{C_N} \ln \varphi_N(C_N).$$

Отметим, что ограничение C_i, ($i=1,\ldots,N$) с точки зрения различных значений $j_i^{onm}(C_i)$ из (19) целесообразно изменять дискретно. Множество значений ограничений C_i, дающих различные значения j_i^{onm} от C_i представляет упорядоченный в порядке возрастания набор удельных амортизационных стоимостей $\{c_{ij_1},...,c_{ij_{k_i}}\}$ для i-го этапа ПЦ. Таким образом, задача динамического программирования (20) – (22) является дискретной, а для ее решения целесообразно применить известный алгоритм Беллмана [6]. Таким образом, после применения алгоритма Беллмана для решения задачи (20 – 22), с учетом решения (19) задачи (18), получаем решение оптимизационной задачи (13) в чистых стратегиях:

$$P_{\max} = \prod_{i=1}^{N} r_{ij_i^{onm}\left(C_i^{onm}\right)}, \qquad (23)$$

где $C_1^{onm},...,C_N^{onm}$ – оптимальное решение задачи (20-22); $r_{ij_i^{onm}}\left(C_i^{onm}\right)$ – оптимальное решение задачи (20); $j_i^{onm}\left(C_i^{onm}\right)$ – оптимальный вариант инновационного проекта (комплекс инновационных элементов и операций), применяемый для модернизации i-го этапа ПЦ. Теперь решим в чистых стратегиях оптимизационную задачу (14), учитывающую проявления различных возникающих в процессе модернизации рисков. Используя монотонность функции $\ln(x)$, прологарифмируем целевую функцию оптимизационной задачи (14), тогда она примет вид:

$$(\ln P)_{\max} = \max_{q_{ij}} \min_{w_{it}} \sum_{j=1}^{n} \ln \sum_{j=1}^{k_i} \sum_{i=1}^{n_i} d_{ijt} q_{ij} w_{it}, \qquad (24)$$

при $\sum_{j=1}^{k_i} q_{ij} = 1$, $\sum_{t=1}^{n_i} w_{it} = 1$, $\sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{k_i} c_{ij} q_{ij} \le C_0$,

$0 \le q_{ij} \le 1$, $0 \le w_{it} \le 1$,

$j = 1,...,k_i$, $t = 1,...,n_i$, $i = 1,...,N$.

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

Аналогично переходу от (14) к (16), учитывая, что множества q_{ij} и w_{ij} для различных значений i не пересекаются, преобразуем задачу (24) к виду:

$$(\ln P)_{\max} = \max_{C_1,\dots,C_N} \sum_{i=1}^{n} \ln\left(\max_{q_{i1},\dots,q_{ik_i}} \min_{w_{i1},\dots,w_{in_i}} \sum_{j=1}^{n_i}\sum_{t=1}^{n_i} d_{ijt} q_{ij} w_{it} \right),$$

при $\sum_{i=1}^{N} C_i \le C_0$, $\sum_{j=1}^{k_i} c_{ij} q_{ij} = C_i$, $0 \le q_{ij} \le 1$, (25)

$0 \le w_{it} \le 1$, $\sum_{j=1}^{k_i} q_{ij} = 1$, $\sum_{t=1}^{n_i} w_{ij} = 1$, $i = 1,\dots,N$.

Также как и задача (16), задача (25) представляет собой задачу распределения ресурсов:

$$(\ln P)_{\max} = \max_{C_i,\dots,C_N} \sum_{i=1}^{N} \ln \Psi_i(C_i), \quad (26)$$

при $C_1 + \dots + C_N = C_0$, функции $\Psi_i(C_i)$ в которой определяются, исходя из решения задачи максимизации вероятности приемки продукции с первого предъявления по завершении i-го этапа ПЦ:

$$\Psi_i(C_i) = \max_{q_{i1},\dots,q_{ik_i}} \min_{w_{i1},\dots,w_{in_i}} \sum_{j=1}^{k_i}\sum_{t=1}^{n_i} d_{ijt} q_{ij} w_{it}, \quad (27)$$

при $0 \le q_{ij} \le 1$, $0 \le w_{it} \le 1$, $\sum_{j=1}^{k_i} q_{ij} = 1$,

$\sum_{t=1}^{k_i} w_{it} = 1$, $\sum_{j=1}^{k_i} c_{ij} \cdot q_{ij} \le C_i$,

являющийся классической задачей отыскания нижней цены матричной игры $\left(d_{ijt}\right)_{k_i x n_i}$ [5].

Решая задачу (27) в чистых стратегиях (в $\{q_{i1},\dots,q_{ik_i}\}$ и $\{w_{i1},\dots,w_{in_i}\}$ при любом i одна из величин q_{ij} и w_{ij} равна единице, а остальные – нулю), сначала для всех $j=1,\dots,k_i$ выбираем минимальное по t значение d_{ijt} из набора, достигаемое при $t_{ij}^{\min}$, то есть $d_{ijt_{ij}^{\min}}$. Тогда (27) примет вид аналогичный (18):

$$\Psi_i(C_i) = \max_{q_{i1},\dots,q_{ik_i}} \sum_{j=1}^{k_i} d_{ijt_{ij}^{\min}} q_{ij}, \quad (28)$$

при $0 \le q_{ij} \le 1$, $\sum_{j=1}^{k_i} q_{ij} = 1$, $\sum_{j=1}^{k_i} c_{ij}\, q_{ij} \le C_i$.

Введем множество индексов j, при которых выполняется стоимостное ограничение в (28) при решении этой задачи в чистых стратегиях. Это множество $J_i(C_i)=\{1 \le j \le k_i; c_{ij} \le C_i\}$. Тогда решение (28) в чистых стратегиях будет:

$$\Psi_i(C_i) = \max_{j \in J_i(C_i)} d_{ijt_{ij}^{\min}}. \quad (29)$$

Обозначим оптимальный индекс j в (29) через $j_i^{onm}(C_i)$, тогда (29) преобразуется к виду:

$$\Psi_i(C_i) = d_{ij_i^{onm}(C_i)t_{ij}^{\min}}, \quad (30)$$

$$(\ln P)_{\max} = \max_{C_1,\dots,C_N} \sum_{i=1}^{N} d_{ij_i^{onm}(C_i)t_{ij}^{\min}}, \quad (31)$$

при $C_1 + \dots + C_N = C_0$

Задача (31) как и задача (30) решается, аналогично (21) и (22) методом динамического программирования с помощью алгоритма Беллмана [6]. Также, как и (20) задача (31) является дискретной, так как с точки зрения возможности получения различных решений $j_i^{onm}(C_i)$ задачи (29) множество значений ограничения C_i сужается до соответствующего набора удельных амортизационных стоимостей. После применения для решения задачи (31) алгоритма Беллмана получаем решение исходной задачи (14) в чистых стратегиях:

$$P_{\max} = \prod_{i=1}^{N} d_{ij_i^{onm}\left(C_i^{onm}\right)t_{ij}^{\min}}, \quad (32)$$

где $C_1^{onm},\dots,C_N^{onm}$ – оптимальное решение задачи (31);

$d_{ij_i^{onm}(C_i^{onm})t_{ij}^{\min}}$ – оптимальное решение задачи (27);

$j_i^{onm}(C_i^{onm})$ – оптимальный с учетом проявления различных наборов возникающих при модернизации рисков вариант инновационного проекта, применяемого для модернизации i-го этапа ПЦ.

Таким образом, предложенная на основе вероятностно-игровой модели процедура выбора оптимального инновационного проекта, используемая при модернизации ПЦ ПП для обеспечения приемки продукции с первого предъявления на всех этапах ПЦ, как с учетом проявления различных возникающих при модернизации рисков, так и в случае его осреднения, позволяет определить варианты инновационного проекта на каждом этапе, при использовании которых гарантируется максимальная вероятность приемки продукции с первого предъявления по завершении ПЦ в целом.

Литература

1. Горелик В.А. Теория игр и исследование операций. М, 1978.
2. Вентцель Е.С. Исследование операций. Задачи. Принципы. Методология. М.: Наука. 1988.
3. Школьников А.Д. Основы теории игр. Л, 1970 г.
4. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Высшая школа. 1998.
5. Безродный Б.Ф., Михеев Е.А., Пашнев А.Н. Оценка эффективности применения стратегий менеджмента качества // Известия Института инженерной физики, 2013. №1(27). С. 25 – 29.

УДК 681.5

ЗАДАЧА РАЦИОНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДОСТАВКОЙ РЕСУРСА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПРОДУКЦИИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НАЛИЧИЯ СЛАБОСТРУКТУРИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИИ

Анатолий Васильевич Гуляев

Сергей Григорьевич Данилюк

доктор технических наук, профессор

ведущий научный сотрудник МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-91

В статье обоснован подход к решению задачи рационального управления доставкой продукции предприятий оборонно-промышленного комплекса, с учетом слабоструктурированной информации. Предложена нечеткая модель, учитывающая возникающие в связи с этим аспекты формализации и обработки подобной информации.

In the article the approach to the challenge of good governance delivery of products to enterprises of the military-industrial complex, with the semistructured information. Proposed a fuzzy model that takes into account arising in connection with this aspect of formalization and processing of such information.

Ключевые слова: продукция специального назначения, транспортная логистика, целевая функция, степень принадлежности, нечеткое множество, нечеткая модель.

Keywords: custom products, transport logistics, the objective function, degree of member-ship, fuzzy set, fuzzy model.

В настоящее время необходимым условием снижения затрат, связанных с доставкой продукции предприятий оборонно-промышленного комплекса [продукции специального назначения (ПСН)], является высокое качество решения задач логистики. Необходимость учета широкого спектра факторов, оказывающих влияние на решение задач логистики, лимит времени на формирование планов доставки требуют глубокого понимания сути задач, условий и методов их решения, а также природы доступной прагматической информации. Считается, что понятие «логистика» (logistike) изначально определилось в Древней Греции как «искусство рассуждения, вычисления». При всем многообразии видов логистики (транспортная, складская, коммерческая, информационная, маркетинговая, закупочная, производственная, промышленная, распределительная или сбытовая) суть ее сводится к минимизации доступных для управления ресурсов при обеспечении выполнения заданной целевой функции.

Значительное число известных математических моделей управления, используемых для решения задачи транспортной логистики, не используют и не представляют средств учета характеристик, описываемых на качественном уровне [1, 2]. Такие модели не имеют средств, позволяющих формализовать экспертные оценки характеристик условий доставки требуемых ресурсов для производства и конечной ПСН до ее потребителя. Для обеспечения возможности повышения эффективности управления доставкой ПСН на основе учета слабоструктурированной информации, представленной экспертными оценками, необходимо разработать математическую модель, позволяющую формализовать и продуктивно оперировать с подобного рода информацией. С учетом изложенного выше можно заключить, что актуальной является задача разработки математической модели наилучшим образом учитывающей широкий спектр прагматической информации, всесторонне характеризующей условия решения задачи доставкой ПСН.

Рассмотрим кооперацию предприятий оборонно-промышленного комплекса (ОПК), реализующую процесс производства некоторого вида ПСН, как иерархическую систему, состоящую из множества объектов K. В данном случае под объектами понимаются отдельные предприятия, участвующие в кооперации по производству ПСН. Для каждого s-го элемента множества K на основе анализа условий функционирования соответствующего конкретного предприятия ОПК определяются: 1) множество операций, выполняемых на s-м объекте в процессе его целевого функционирования $K_0^s = \left\{k_1^s, k_2^s, ..., k_v^s, ..., k_{n_1^s}^s\right\}$, $s \in K$; 2) множество типов ресурсов, необходимых s-му объекту для реализации заданного множества операций его целевого функционирования $P^s = \left\{p_1^s, p_2^s, ..., p_l^s, ..., p_{n_2^s}^s\right\}$, $s \in K$; 3) множество имеющегося объема ресурсов по типам у s-го объекта $A^s = \left\{a_1^s, a_2^s, ..., a_i^s, ..., a_{n_3^s}^s\right\}$, $s \in K$; 4) множество $T = \left\{t_1, t_2, ..., t_{n_4}\right\}$ моментов времени, в котором t_1 – момент начала функционирования объектов, t_{n_4} – момент конца целевого функционирования объектов при производстве ПСН.

Поскольку для выполнения на s-м объекте операции необходимо некоторое подмножество типов ресурсов, то можно утверждать, что существует отображение вида $f_k^s: K_0^s \to P^s$, $s \in K$. Обозначим систему множеств, элементами которой являются подмножества P_v^s, символом PP^s. Для каждой пары $(k_v^s, P_\mu^s), k_0^s \in K_0^s$, $P_\mu^s \in PP^s$, введем характеристическую функцию

$$g_{v\mu}^s = \begin{cases} 1, & \text{если } v = \mu;\ v, \mu \in \left\{1, ..., n_1^s\right\}; \\ 0, & \text{если } v \neq \mu;\ v, \mu \in \left\{1, ..., n_1^s\right\}. \end{cases}$$

Отображение $f_P^s: P^s \to A^s$ сопоставляет каждому типу ресурса p_l^s, необходимого s-му объекту для реализации заданного перечня операций, наличный ресурс этого типа a_i^s или пустое множество, если ресурса нет.

Для каждой пары (p_l^s, a_i^s) положим

$$\chi_{li}^s = \begin{cases} 1, & \text{если } f_p^s\left(p_l^s\right) \neq \varnothing; \\ 0, & \text{если } f_p^s\left(p_l^s\right) = \varnothing. \end{cases}$$

При этом $\chi_{li}^s = 0$ означает, что ресурса $a_i^s \in A^s$ в наличии нет.

Пусть A_θ^s – образ подмножества P_θ^s при отображении f_P^s. Систему подмножеств, элементами которой являются подмножества $A_\theta^s \subset A^s$, обозначим символом AA^s. Рассмотрим подмножество декартова произведения $R^s \subset K_0^s \times \boldsymbol{P}^s \times \boldsymbol{A}^s$ такое, что

$$R^s = \left\{\left\langle k_v^s, P_\theta^s, A_\theta^s\right\rangle \in K_0^s \times \boldsymbol{P}^s \times \boldsymbol{A}^s : g_{v\theta}^s = 1,\ \forall v, \theta \in \left\{1, ..., n_1^s\right\}\right\}.$$

Отображение $f_T^s: R^s \to T \times T$ соотносит каждому кортежу $\left\langle k_v^s, P_\theta^s, A_\theta^s\right\rangle \in R^s$, где $P_\theta^s = f_k^s\left(k_v^s\right)$; $A_\theta^s = f_P^s\left(P_\theta^s\right)$; кортеж $\left\langle t_\zeta, t_\xi\right\rangle$; t_ζ, t_ξ – соответственно время начала и конца операции k_v^s на s-м объекте при наличном ресурсе A_θ^s и его потребности P_θ^s.

Отображение $f_E^s: R^s \times T_1^s \to \mathbf{R}^n$, где $T_1^s = f_T^s\left(R^s\right)$, характеризует качество выполнения операции k_v^s на s-м объекте при наличном ресурсе A_θ^s и его потребности P_θ^s за время $\left(t_\xi - t_\zeta\right)$. Зададим меру m^s, характеризующую неопределенность появления нового объема операций в процессе производства ПСН на объекте s Î K. Значение меры $\mu^s\left(K_1^s\right)$, $K_1^s \in \sigma\left(K_0^s\right)$, может характеризовать либо вероятность, либо степень субъективной уверенности появления операций K_1^s, выполнение которых необходимо для дальнейшего целевого функционирования объекта $s \in K$.

Для обеспечения функционирования предприятий ОПК в процессе производства и реализации ПСН воспользуемся подходом, приведенным в [1]. Будем исходить из того, что имеется множество I типов ресурсов $I = \{1, ..., n\}$. Обозначим множество типов ресурсов, расходуемых на s-м объекте. I_s; $I_s \in I$. Известно количество ресурса i-го типа на s-м объекте (x_i^s); предполагается, что ресурс измеряется в целочисленных единицах.

Введем понятие «состояние» i-й составляющей s-го объекта, под которым будем понимать количество наличного ресурса i-й категории на s-м объекте. Множество состояний i-й составляющей s-го объекта обозначим C_i^s. Число элементов множества C_i^s равно $\left|C_i^s\right| = x_i^s + 1$, где $C_i^s = \{a_0^{is}, a_1^{is}, ..., a_{x_i^s}^{is}\}$ и номеру i соответствует количество наличного ресурса. Зададим отображение $\mu_{\hat{C}_s^i}: C_s^i \to [0, 1]$, характеризующее степень принадлежности любого состояния $a_v^{is} \in C_s^i$ к нечеткому множеству «хороших» состояний (состояние наличия ресурса) i-й составляющей s-го объекта

$$\hat{C}_s^i = \left\{\left\langle \mu_{\hat{C}_s^i}\left(a_v^{is}\right) \middle/ a_v^{is}\right\rangle\right\}.$$

Для характеристики функциональной пригодности объектов к выполнению целевых задач на множестве C_s^i зададим нечеткое множество $\tilde{C}_s^i$ «работоспособных» состояний s-го объекта по i-й составляющей, элементы которого оценивают по наличному ресурсу способность объекта к целевому использованию,

$$\tilde{C}_s^i = \left\{\left\langle \mu_{\tilde{C}_s^i}\left(a_v^{is}\right) \middle/ a_v^{is}\right\rangle\right\},$$

где $\mu_{\tilde{C}_s^i}: C_s^i \to [0, 1]$.

Можно определить степень принадлежности «лучшего» состояния s-го объекта к множеству $\hat{C}_s^i$ в случае равноценности всех типов ресурсов множества I_s.

Для этого фиксируется тип ресурса и по всем состояниям проводится сравнение степеней принадлежности хороших и работоспособных множеств для выбора наименьшего из них с целью получения гарантированного результата. Среди всех зафиксированных минимальных значений следует выбрать максимальный элемент. Найденное таким образом состояние помечается. Аналогичная операция проводится по всем типам ресурсов, ввиду равноценности ресурсов ищется степень с минимальным значением. Конечное выражение имеет вид

$$\mu\left(a^s\right) = \min_i \max_v \min\left\{\mu_{\tilde{C}_s^i}\left(a_v^{is}\right), \mu_{\hat{C}_s^i}\left(a_v^{is}\right)\right\}$$

В процессе выполнения объектами своего целевого назначения на фиксированном интервале времени в условиях возмущений внешней среды в дискретные моменты времени происходит незапланированное потребление ресурсов для осуществления некоторых операций, т.е. происходит изменение состояния объектов в сторону убыли наличных ресурсов, тем самым объекты переходят из начального состояния по каждой составляющей a_v^{is} в состояние a_k^{is}, $k \le v$, $\forall\ i \in I$, $\forall\ s \in K$. Такой переход может быть задан нечетким отображением

$$\lambda^{is}: \hat{C}_s^i \to \hat{C}_s^i \times [0, 1],$$

где образ каждого элемента из $\hat{C}_s^i$ представляет собой нечеткое множество. Так как количество ресурсов на любом объекте конечно, то нечеткое отображение l^{is} может быть определено нижней треугольной матрицей L^{is} вида:

$$L^{is} = \left\| \begin{array}{ccccc} \lambda_{11}^{is} & 0 & 0 & \ldots & 0 \\ \lambda_{21}^{is} & \lambda_{22}^{is} & 0 & \ldots & 0 \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ \lambda_{x_{i+1}^s,1}^{is} & \lambda_{x_{i+1}^s,2}^{is} & \lambda_{x_{i+1}^s,3}^{is} & \ldots & \lambda_{x_{i+1}^s,x_{i+1}^s}^{is} \end{array} \right\|,$$

где $\lambda_{vk}^{is} = \lambda^{is}\left(a_k^{is}, a_v^{is}\right)$ характеризует возможность перехода s-го объекта по i-й составляющей в состояние a_k^{is}, если в начальный момент он был в состоянии a_v^{is}; при этом $k < v$. Степень принадлежности $\mu_{\hat{C}_s^i}(a_k^{is})$ a_k^{is}-го состояния s-го объекта по i-й составляющей к нечеткому множеству хороших состояний $\hat{C}_s^i$ определяется по формуле

$$\mu_{\hat{C}_s^i}\left(a_k^{is}\right) = \max_v \min\left\{\mu_{\hat{C}_s^i}\left(a_v^{is}\right), \lambda^{is}\left(a_k^{is}, a_v^{is}\right)\right\}.$$

Если δ_i^{lf} обозначает количество ресурса i-го типа в f-й подсистеме l-го уровня системы резервирования, то $\delta_i = \{\delta_i^{lf}\}_{lf}$ – количество ресурса i-го типа в системе резервирования в целом. Введем условное нечеткое множество хороших состоянии i-й составляющей s-го объекта при суммарном ресурсе в системе резервирования

$\overline{C}_s^i = \left\{\left\langle \mu_{\overline{C}_s^i}\left(a_v^{is}/\delta_i\right)/a_v^{is}\right\rangle\right\}$, где

$\mu_{\overline{C}_s^i}: C_s^i \times \delta_i \to [0, 1]$. Условность вызывается неопределенностью спроса ресурса на других объектах и, следовательно, нечеткостью в обеспечении s-го объекта дополнительным ресурсом. Степень принадлежности лучшего состояния s-го объекта при количестве ресурса в системе резервирования δ_i равна

$$\mu\left(a^s/\delta_i\right) = \min_i \max_v \min\left\{\mu_{\tilde{C}_s^i}\left(a_v^{is}\right), \mu_{\overline{C}_s^i}\left(a_v^{is}/\delta_i\right)\right\}.$$

Нечеткое множество хороших состояний всей резервируемой системы объектов при суммарном ресурсе δ_i, определяется как

$C = \overset{n}{\underset{i=1}{\times}} \overset{k}{\underset{s=1}{\times}} \overline{C}_s^i$, где k – общее число объектов.

Величину

$$\mu(a/\delta) = \min_s \min_i \max_v \min\left\{\mu_{\tilde{C}_s^i}\left(a_v^{is}\right), \mu_{\overline{C}_s^i}\left(a_v^{is}/\delta_i\right)\right\},$$

следует интерпретировать как степень принадлежности лучшего состояния системы объектов в целом и использоваться в качестве характеристики ее функциональной пригодности. Задавая необходимый уровень $\mu(a/\delta) \geqslant \mu^+$, где μ^+ – заданное значение, $\mu^+ \in [0, 1]$, можно регулировать процесс заполнения системы резервирования ресурсами.

Пусть $R_s^i = \{0, 1, \ldots, x_i^s\}$ множество, элементы которого равны возможному спросу ресурсов i-го типа s-м объектом, $\forall\ i \in I_s$, $\forall\ s \in K$. На множестве R_s^i зададим нечеткое множество «доступного» ресурса для i-й составляющей s-го объекта при количестве ресурса в системе резервирования

$$\delta_i: \hat{R}_s^i(\delta_i) = \left\{\left\langle \mu_i^{rs}(v/\delta_i)/v\right\rangle\right\},$$

$v = 0, \ldots, x_i^s$, где $\mu_i^{rs}: R_s^i \times \delta_i \to [0, 1]$.

Значениями степени принадлежности множества доступного ресурса и множества хороших состояний s-го объекта однозначно определяются степени принадлежности условного нечеткого множества его хороших состояний

$$\mu_{\overline{C}_s^i}\left(a_v^{is}/\delta_i\right) =$$

$$= 1 - \overset{v}{\underset{j=1}{\&}} \left\{\left[1 - \mu_{\overline{C}_s^i}\left(a_{x_{i-v+j}^s}^{is}\right)\right] \& \left[\overset{x_i^s}{\underset{\varphi=j}{\&}} \left(1 - \mu_i^{rs}(\varphi/\delta_i)\right)\right]\right\}.$$

На каждом множестве ресурсов i-й категории f-й подсистемы l-го уровня зададим нечет-

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

кое множество, «предполагаемых к задействованию» из резерва δ_i:

$$Y_i^{lf}(\delta_i) = \left\{ \left\langle \mu_i^{lf}\left(y_i^{lf}/\delta_i\right) \middle/ y_i^{lf} \right\rangle \right\},$$

где $\mu_i^{lf} : \left\{ 0,1,..., \sum_{j\in\chi^{lf}} x_i^s - \xi_i^{lf} \right\} \times \delta_i \to [0, 1].$

Пусть $\hat{\Omega}_{y_i^{lf}}(\delta_i)$ нечеткое множество «возможных» комбинаций задействования y_i^{lf} ресурса i-й категории из резерва

$$\delta_i^{lf} \quad \hat{\Omega}_{y_i^{lf}}(\delta_i) = \left\{ \left\langle \hat{\mu}_i^{lf}\left(\omega_{y_i^{lf}}/\delta_i \right) \middle/ \omega_{y_i^{lf}} \right\rangle \right\},$$

где $\omega_{y_i^{lf}} \in \Omega_{y_i^{lf}}$, $\hat{\mu}_i^{lf} : \Omega_{y_i^{lf}} \times \delta_i \to [0, 1]$

Значениями степени принадлежности $\mu_{\hat{C}_s^i}(a_k^{is})$ однозначно определяются степени принадлежности множества ресурсов, предполагаемых к задействованию, и множества возможных комбинаций задействования ресурса, т.е.

$$\mu_i^{lf}\left(y_i^{lf}/\delta_i\right) \text{ и } \hat{\mu}_i^{lf}\left(\omega_{y_i^{lf}}/\delta_i \right)$$

соответственно. Нечеткое множество $Y_i^{lf}(\delta_i)$ описывает потребности в дополнительном ресурсе в f-й подсистеме l-го уровня в условиях спроса ресурсов множеством объектов x^{lf}. Следовательно, элемент из $Y_i^{lf}(\delta_i)$ с максимальной степенью принадлежности допустимо интерпретировать как наиболее ожидаемое потребление ресурса i-го типа. Но максимальная степень принадлежности может соответствовать нескольким значениям y_i^{lf}. Для гарантированного удовлетворения спроса, выберем максимальное значение y_i^{lf}, имеем

$$\left\langle \mu_i^{*lf}\left(y_i^{lf}/\delta_i\right) \middle/ y_i^{*lf} \right\rangle = \max_{y_i^{lf}} \max_{\mu_i^{lf}} Y_i^{lf}(\delta_i).$$

Нечеткое множество $\hat{\Omega}_{y_i^{*lf}}$, включает в себя допустимые комбинации распределения y_i^{*lf} ресурса по множеству объектов χ_i^{lf}. Если выбрать комбинацию с максимальной функцией принадлежности, то в дальнейшем можно пытаться распределить ресурсы в системе резервирования таким образом, чтобы затраты на доставку их до пунктов назначения были минимальны, т.е. элемент

$$\left\langle \hat{\mu}_i^{*lf}\left(\omega_{y_i^{lf}}^*/\delta_i \right) \middle/ \omega_{y_i^{lf}}^* \right\rangle = \max_{\hat{\mu}_i^{lf}} \hat{\Omega}_{y_i^{*lf}}(\delta_i),$$

соответствующий наиболее достоверному распределению ресурсов по объектам, даст возможность непосредственно учесть затраты на доставку.

Критериальная функция

$$\Phi\left(\mu_{\hat{C}_s^i}, \mu_{\tilde{C}_s^i}, d_i^{lf}, d_{is}^{lf}, \delta_i^{lf}\right) =$$

$$= \sum_{l=1}^{t} \sum_{f=1}^{m_l} \sum_{i=1}^{n} \left[d_i^{lf}\left(\delta_i^{lf} - y_i^{*lf}\right) + \sum_{s\in\chi^{lf}} y_{is}^{*lf} d_{is}^{lf} \right],$$

где $\sum_{s\in\chi^{lf}} y_{is}^{*lf} d_{is}^{lf} = \omega_{y_i^{lf}}^*$

характеризует затраты на содержание излишков ресурсов в системе резервирования и затраты на доставку ресурсов до пунктов назначения при нечетком состоянии объектов.

Таким образом, задача рационального управления доставкой ресурса при производстве ПСН в условиях наличия слабоструктурированной информации может быть сформулирована как задача минимизации функции вида

$$\min_{\left\{\delta_i^{lf}\right\}} \Phi\left(\mu_{\hat{C}_s^i}, \mu_{\tilde{C}_s^i}, d_i^{lf}, d_{is}^{lf}, \delta_i^{lf} \right)$$

при ограничении $\mu(a/\delta) \geqslant \mu^+$.

Литература

1. Данилюк С.Г., Звягинцев О.А., Форсов Г.Л., Якимов Д.А. Вероятностно-лингвистическая диагностическая модель: расширение возможностей // Известия Института инженерной физики, 2012. №1(23). С. 46-50.

2. Дмитриев А.К., Мальцев П.А. Основы теории построения и контроля сложных систем. Л.: Энергоатомиздат, 1988. 192 с.

УДК 621.395

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЕОБРАЗОВАННЫХ НЕДВОИЧНЫХ КОДОВ 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 сравнительная оценка эффективности преобразованных двоичных кодов Рида-Маллера в системах передачи данных с известными недвоичными корректирующими кодами Рида-Соломона.

Comparative evaluation of converted binary Reed-Muller data systems effectiveness with know nonbinary correcting Reed-Solomon codes is offered.

Ключевые слова: вероятность в ошибке в приеме бита сообщения, отношение сигнал/шум, оптимальное декодирование, показатель эффективности кодирования.

Keywords: probability of error in the reception of message bit, signal-to-noise ratio, optimal decoding, coding performance indicator.

Для обеспечения повышенной помехоустойчивости мультисервисных радиосетей с динамическим выделением каналов передачи данных по требованию [1], систем радиосвязи с ретрансляцией сигналов [2] требуется решить задачу коррекции пакетов ошибок.

Недвоичные корректирующие коды эффективны для исправления пакетов ошибок. Если, например, недвоичный код с основанием $q=2^m$ способен исправить T_u-кратную ошибку в принятой недвоичной кодовой комбинации, то в этом случае исправляется пакет двоичных ошибок, длина которого равна $t_П = mT_u$.

Известно [3], что вероятность появления ошибки в декодированном символе недвоичного кода P_q при реализации декодирования по алгоритму Рида-Соломона равна

$$P_q = \frac{1}{q-1}\sum_{i=t+1}^{q-1} iC_{q-1}^{i} P^i (1-P)^{q-1-i},$$

где P – вероятность ошибочного приема недвоичного символа на выходе демодулятора (первой решающей схемы) приемника, которая определяется отношением сигнал/шум h_0^2 на входе демодулятора и видом модуляции сигнала;

t – количество ошибочных битов (двоичных символов) в недвоичном символе, которые может исправить недвоичный код при реализации декодирования по алгоритму Рида-Соломона, а каждый недвоичный символ кода содержит m бит.

Замечание. Наибольшее значение t принимает равным m, т.е. при $t=m$ можно получить наилучший результат декодирования или минимальное значение вероятности P_q при $q=const$.

Пусть для передачи недвоичных символов кода используется квадратурная амплитудная модуляция с основанием модуляции $M=q$, для которой известно выражение, определяющее зависимость $P_q = f\left(h_0^2, M=q\right)$ [3]

$$P_q = \frac{4\left(1-\frac{1}{\sqrt{M}}\right)}{\log_2 \sqrt{M}} Q\left[\sqrt{\left(\frac{3\log_2 \sqrt{M}}{M-1}\right)2h_0^2}\right],$$

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

где $Q(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_x^\infty \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right)du$ – гауссовый интеграл ошибок.

Для такой модуляции с $M=q=2^m$ зависимость между вероятностью P_q и вероятностью ошибки в приёме бита сообщения P_b определяется выражением $\frac{P_b}{P_q}=\frac{2^{m-1}}{2^m-1}$, которое при m≥4 превращается в удобную форму $P_b\cong\frac{P_q}{2}$.

Для анализа выберем известный недвоичный код Рида-Соломона с параметрами: длина кода $n=256$, число информационных байт $k=224$, основание $q=256$ [1,3].

Пакет двоичных ошибок, который может быть исправлен таким образом, имеет длину

$$t_П=\log_2 q\frac{n-k}{2}=8\times16=128 \text{ двоичных символов.}$$

В *таблице 1* представлены значения вероятностей P_q, P, P_b и отношения сигнал/шум на бит для такого кода.

Таблица 1

Значения вероятностей P_b и отношений h_b^2

$P_q=10^{-2}$; $P_b=5\times10^{-3}$		$P_q=10^{-4}$; $P_b=5\times10^{-5}$		$P_q=10^{-7}$; $P_b=5\times10^{-8}$	
P=0.025	h_b^2=40	P=0.011	h_b^2=55	P=0.0043	h_b^2=75

Известны недвоичные коды с основанием $q=2^m$, полученные преобразованиями двоичных последовательностей Рида-Маллера [2,4]. Их особенностью является то, что длина кода $n=var$, кодовое расстояние $d=n$, число двоичных информационных символов $k=m$. Такие коды не требуют сложных алгоритмов декодирования Рида-Соломона или Берлекэмпа-Месси, а могут быть декодированы по методу максимального правдоподобия при условии, что $m\leqslant12$.

Для такого декодирования вероятность P_q определяется выражением [3]

$$P_q=\frac{1}{n}\sum_{i=t_u+1}^{n}C_n^iP^i(1-P)^{n-i},$$

где $t_u=\left[\frac{d-1}{2}\right]$.

Для возможности исправления пакета ошибок $t_П=128$ двоичных символов зададимся $n=33$, $d=n=33$ и $t_u=16$, $q=2m=28=256$. В этом случае

$$t_П=\left[\frac{33-1}{2}\right]\times8=128 \text{ двоичных символов.}$$

В *таблице 2* представлены значения вероятностей P_q, P, P_b и отношения сигнал/шум на бит для кода ($n=33$; $k=1$; $m=8$; $d=n=33$; $q=256$).

Таблица 2

Значения вероятностей P_b и отношений h_b^2

$P_q=10^{-2}$; $P_b=5\times10^{-3}$		$P_q=10^{-4}$; $P_b=5\times10^{-5}$		$P_q=10^{-7}$; $P_b=5\times10^{-8}$	
P=0.46	h_b^2=0.8	P=0.3	h_b^2=2	P=0.17	h_b^2=9

Сравнительный анализ *таблиц 1* и *2* показывает:

– недвоичные коды, полученные преобразованиями двоичных последовательностей Рида-Маллера, обеспечивают заданное значение вероятности P_b при значительно меньших отношениях сигнал/шум h_b^2 по сравнению с известными недвоичными кодами Рида-Соломона;

– длина пакета двоичных ошибок, который исправляют оба кода, одинаковая;

– преобразованные недвоичные коды Рида-Маллера обеспечивают значительно большую вероятность искажения недвоичного символа P по сравнению с кодами Рида-Соломона при $P_b=const$, т.е. являются более помехозащищенными.

Однако для обеспечения полученных преимуществ и достоинств при передаче двоичных сообщений преобразованными кодами Рида-Маллера требуется расширение полосы рабочих частот в

$$\frac{224}{256}\div\frac{1}{17}=28.875 \text{ раз.}$$

Введем показатель эффективности кодирования $\nu=\frac{kP}{nh_b^2}$ $P_b=const$, $t_П=const$, учитывающий скорость кода (или требуемое расширение полосы частот) k/n, требуемое значение h_b^2 для обеспечения $P_b=const$ и допустимое значение вероятности P, при котором обеспечивается $P_b=const$.

Очевидно, чем больше скорость кода k/n, выше вероятность P и меньше h_b^2, при которых обеспечивается $P_b=const$, тем больше эффективность кода, исправляющего пакет ошибок требуемой длины $t_П$.

В *таблице 3* представлены значения ν(дБ) для двух исследованных кодов с $q=256$.

Таблица 3

Эффективность кодов (256, 224) и (33,1)

$P_b=5\times10^{-3}$		$P_b=5\times10^{-5}$		$P_b=5\times10^{-8}$	
ν(256, 224)	ν(33, 1)	ν(256, 224)	ν(33, 1)	ν(256, 224)	ν(33, 1)
-32.6	-17.6	-37.6	-23.42	-43	-32.42

Анализ *таблицы 3* позволяет сделать важный вывод – несмотря на требуемое расширение полосы рабочих частот преобразованный код Рида-Маллера имеет большую эффективность по сравнению с кодом Рида-Соломона.

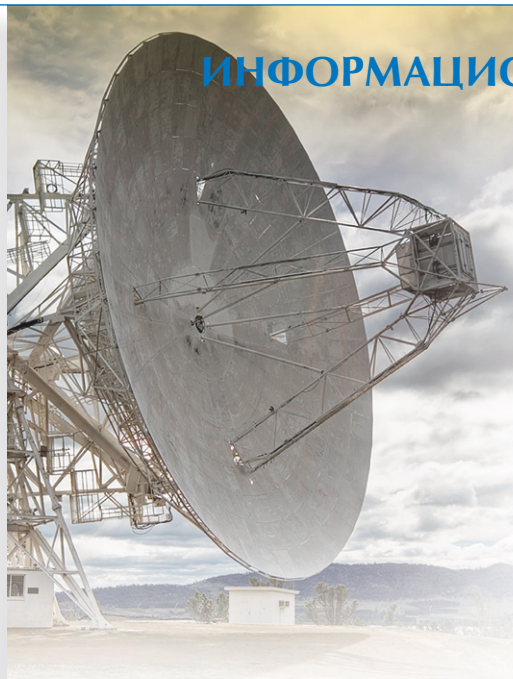
Литература

1. Шиманов С.Н., Ковальков Д.А. Оптимизация длительности обслуживания трафика в мультисервисной радиосети с динамическим выделением каналов по требованию // Известия Института инженерной физик, 2012. №3. С. 49-53.

2. Цимбал В.А., Ваганов И.Н. Марковская модель функционирования запросно-вызывного канала системы связи с ретрансляцией сигналов и предоставлением каналов по требованию // Известия Института инженерной физик, 2012. №1. С. 60-64.

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

4. Зеленевский, В.В. Принципы построения робастных систем передачи информации. МО РФ, 2001. 374 с.



УДК 62.50

СИНТЕЗ СТОХАСТИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ АНТЕННОЙ, ЭКВИВАЛЕНТНОЙ КОМБИНИРОВАННОЙ

Надежда Александровна Сергеева
аспирантка
МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93
E-mail: sergeewa.na@gmail.com

В работе выполнен синтез стохастического регулятора системы автоматического управления антенной в режиме автосопровождения при линейном задающем воздействии и случайных ошибках измерения. Представлены результаты исследований, выполненные с помощью имитационного моделирования.

In the paper, the synthesis of stochastic control of the automatic control mode, auto-tracking antenna to the linear reference variable and random measurement errors. The results obtained with the help of simulation.

Ключевые слова: фильтр Калмана; передаточная функция; регулятор.
Keywords: Kalman filter, the transfer function, the regulator.

Введение

В космических системах слежения при решении задач приема и передачи информации для точного определения географического положения наблюдаемых объектов на земной поверхности, долгосрочного прогнозирования параметров орбиты необходима высокая точность измерения параметров движения космического аппарата (КА), зависящая от точности наведения антенны как объекта управления (ОУ). В системах управления процессом слежения за КА помимо задачи точного воспроизведения полезного (задающего) воздействия возникает задача фильтрации случайных внешних воздействий. Например, в радиотехнических системах слежения за КА, такими случайными воздействиями могут быть внутренние шумы радиоприемного устройства, ветровые нагрузки (при отсутствии радиопрозрачного укрытия антенны) и т.д.

В системах управления процессом слежения часто используются замкнутые одноконтурные системы с принципом управления по ошибке. Здесь качество (высокая точность) управления связано с условиями устойчивости одноконтурной системы.

Задачам достижения инвариантности (т.е. высокой точности) без нарушения устойчивости систем автоматического управления (САУ) посвящено значительное количество работ, например [1, 2, 3, 4]. Лучше всего подобные задачи решаются в классе комбинированных автоматических систем, работающих по ошибке и задающему (возмущающему) воздействию [5, 6].

В случае, когда на автоматическую систему действуют одновременно полезный сигнал и помеха, возникает задача оптимального расчета параметров системы с тем, чтобы получить наименьшую ошибку.

Постановка задачи исследования

Задача управления заключается в таком воздействии на электропривод антенны, при котором $\beta_\alpha(t) \cong \beta(t)$, $t > t_0$,
где $\beta_\alpha(t)$ – угловое положение антенны;
$\beta(t)$ – угловое положение объекта. Предполагается, что угол $\beta_\alpha(t)$ достижим для измерения с помощью датчика угла.

Решение задачи фильтрации ошибок измерения угловой координаты $\beta(t)$, целесообразно произвести с помощью стохастического регулятора в рамках теории двухконтурных систем, эквивалентных комбинированным (*рисунок 1*) [5].

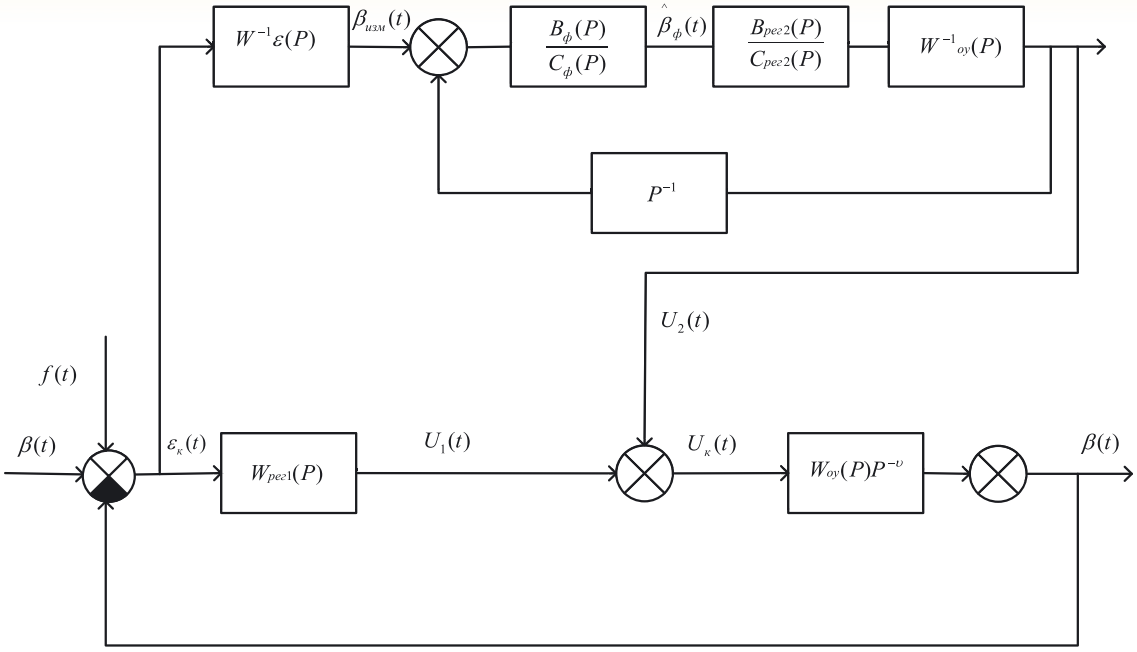


Рис. 1. Структурная схема стохастической двухконтурной системы управления антенной эквивалентной комбинированной автоматической системе

На *рисунке 1* обозначены:
$\beta(t)$ – неизвестная угловая координата, подлежащая изменению;

$\frac{B_\phi(P)}{C_\phi(P)}$ – п.ф. фильтра;

$\frac{B_{рег\,2}(P)}{C_{рег\,2}(P)}$ – п.ф. регулятора второго контура;

$W_{оу}^{-\upsilon}(P)$ – обратная п.ф. объекта управления (электродвигателя постоянного тока);

$\hat{\beta}(t)$- оценка угловой координаты на выходе фильтра;

$U_1(t)$ и $U_2(t)$ – управления на выходе первого и второго контура соответственно;

$f(t)$ – ошибки измерений угловой координаты;

$U_к(t)$-комбинированное управление;

$\frac{C_1(t)}{A_1(t)}$ – п.ф. по ошибке замкнутого (первого) контура;

$W_{рег1}(t)=\frac{K_1}{1+T_1 p}$ – п.ф. регулятора первого контура (K_1-коэффициент усиления, T_1 – постоянная времени).

В существующих электроприводах управления антенной радиотехнической станции слежения электродвигатель постоянного тока с независимым возбуждением может быть описан п.ф.

$$W_{oy}(P)P^{-\upsilon}=\frac{M(P)}{N(P)}=\frac{K_\partial}{P(1+T_M P)},$$

где K_∂ – коэффициент усиления двигателя;
$T_м$ – постоянная времени двигателя;
υ – порядок астатизма системы.

Задача исследования заключается в расчете параметров регулятора второго контура из условия повышения астатизма на единицу (при условии, что $\upsilon=1$). Кроме того, ставится задача фильтрации случайных ошибок измерения для более точного воспроизведения задающего (линейного) воздействия. Решение задачи фильтрации будем производить с помощью фильтра Калмана, исходя из того, что описание следящего измерителя производится в непрерывном времени [6].

Расчет структуры и параметров стохастического регулятора второго контура

Предположим, что изменение угловой координаты (в частности, азимута) $\beta(t)$ описывается дифференциальным уравнением второго порядка:

$$\frac{d^2\beta(t)}{dt^2}+a_1\frac{d\beta(t)}{dt}+a_0\beta(t)=b_0\xi(t), \qquad (1)$$

а уравнение наблюдения имеет вид:

$$\beta_{изм}(t)=\beta(t)+f(t). \qquad (2)$$

Будем считать, что помеха $f(t)$ – белый шум с нормальным распределением и дисперсией σ_f^2, т.е. $N(0,\sigma_f^2)$, $x(t)$ – гауссовский случайный процесс с нулевым средним.

Вводя переменные состояния $\beta_1(t)=\beta(t)$ и $\beta_2(t)=\dot{\beta}_1(t)$, а также разрешая дифференциаль-

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

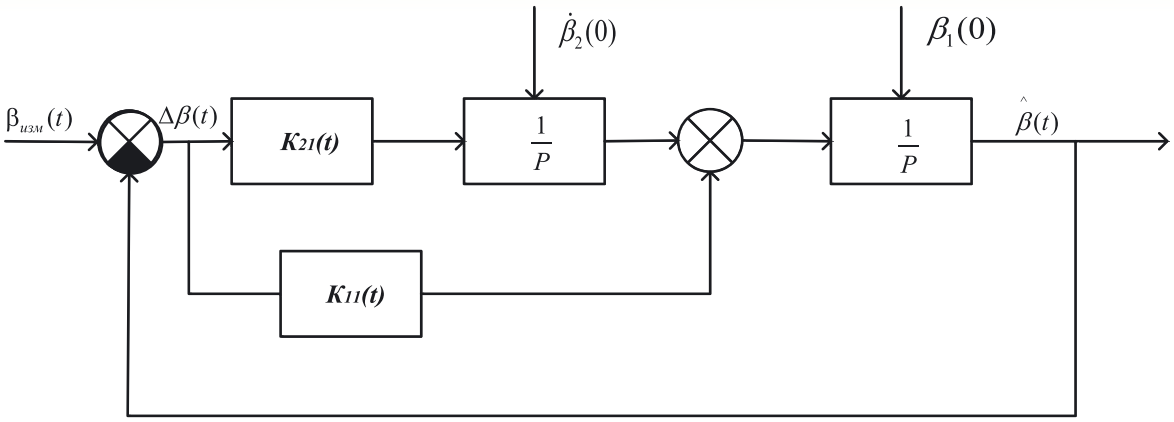


Рис. 2. Структурная схема непрерывного оптимального фильтра Калмана второго порядка

ное уравнение (1) относительно старшей производной:

$$\frac{d^2\beta(t)}{dt^2} = -a_1\frac{d\beta(t)}{dt} - a_0\beta(t) + b_0\xi(t),$$

составим уравнения состояния:

$$\dot{\beta}_1(t) = 0\cdot\beta_1(t) + \beta_2(t);$$

$$\dot{\beta}_2(t) = -a_0\beta_1(t) - a_1 r_2(t) + b_0\xi(t),$$

откуда имеем $A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -a_0 & -a_1 \end{bmatrix}; B = \begin{bmatrix} 0 \\ b_0 \end{bmatrix}.$

Из уравнения наблюдения (2) имеем матрицу наблюдения $C = [1 \quad 0]$.

Для заданного линейного движения объекта слежения, фильтр Калмана второго порядка в соответствии с [6] примет вид (*рисунок 2*), при этом считая, что на вход фильтра поступает измеренное значение угловой координаты $\beta_{изм}(t)$.

Передаточная функция (ПФ) разомкнутого фильтра:

$$W_{фр}(P) = \frac{\hat{\beta}(P)}{\Delta\beta(P)} = \left[K_{21}(t)\cdot\frac{1}{p} + K_{11}(t)\right]\cdot\frac{1}{p} =$$

$$= \left[\frac{K_{21}(t) + K_{11}(t)p}{p}\right]\cdot\frac{1}{p} = \quad (3)$$

$$= \frac{K_{21}(t) + K_{11}(t)p}{p^2} = \frac{K_{21}\left(1 + \frac{K_{11}}{K_{21}}p\right)}{p^2}.$$

Полагая отношение $K_{11}/K_{21} = T$, где T – постоянная времени фильтра, получим ПФ разомкнутого оптимального фильтра (ОФ):

$$W_{фр}(P) = \frac{K_{21}(1+TP)}{p^2}. \quad (4)$$

Передаточная функция замкнутого оптимального фильтра определится следующим выражением:

$$W_{зф}(P) = \frac{(1+Tp)K_{21}}{p^2 + TK_{21}P + K_{21}} \Rightarrow C_ф(P) = p^2 + Tp + K_{21}.$$

В соответствии с вышеизложенным, характеристический полином следящей системы, эквивалентной комбинированной, примет вид [5,7]:

$$C_k(P) = C_1(P)\cdot C_2(P), \quad (5)$$

где $C_1(P)$ – это характеристический полином одноконтурной системы;

$C_2(P)$ – характеристический полином стохастического регулятора второго контура, который определяется следующим образом [5]:

$$C_2(P) = C_ф(P)C_{рег2}(P), \quad (6)$$

где $C_{рег2}(P)$ – характеристический полином детерминированного регулятора второго контура.

Следует заметить, что условие устойчивости для оптимального фильтра выполняется (все коэффициенты характеристического полинома второго порядка являются положительными).

В виду того, что $C_ф(P)$ входит в выражение (5) виде сомножителя, то он не влияет на устойчивость всей следящей системы.

Необходимо отметить, что для правильного функционирования оптимального фильтра выполнение только условий устойчивости ещё недостаточно. Важно произвести расчет его весовых коэффициентов.

С этой целью произведем синтез матрицы весовых коэффициентов [6].

$$K_ф(t) = P(t)\cdot C^T(t)\cdot R^{-1}(t), t \geq t_0, \quad (7)$$

где $C^T(t)$ – транспонированная матрица наблюдения;

$R^{-1}(t)$ – обратная ковариационная матрица ошибок измерений;

$P(t)$ – матрица ошибок фильтра, полученная из решения матричного уравнения Риккати:

$$\dot{P}(t) = P(t)A(t) + P(t)A^T(t) + B(t)\Theta(t)B^T(t) - \\ - P(t)C^T R^{-1}(t)C(t)P(t), \quad (8)$$

где $\Theta(t)$ – корреляционная матрица вектора возмущения;
$B(t)$ – матрица вектора возмущения.

Оптимальный непрерывный фильтр будет представлять собой модель задающего воздействия, скорректированную сигналами от цепи обратной связи. Как видно из выражения (7), эти сигналы коррекции определяются матрицей передачи фильтра K_ϕ.

Учитывая, что при линейном движении объекта имеют вид следующие матрицы:

$$P(t) = \begin{bmatrix} P_{11}(t) & P_{12}(t) \\ P_{21}(t) & P_{22}(t) \end{bmatrix}, C^T = \\ = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, R^{-1}(t) = \frac{1}{\sigma_f^2}, A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Будем считать, что объект (КА) движется по невозмущённой траектории. Тогда $\xi(t)=0$ и, следовательно, $B(t)=0$.

Тогда матричное уравнение Риккати (8) примет вид:

$$\begin{bmatrix} \dot{P}_{11}(t) & \dot{P}_{12}(t) \\ \dot{P}_{21}(t) & \dot{P}_{22}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{11}(t) & P_{12}(t) \\ P_{21}(t) & P_{22}(t) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} + \\ + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_{11}(t) & P_{12}(t) \\ P_{21}(t) & P_{22}(t) \end{bmatrix} - \\ - \begin{bmatrix} P_{11}(t) & P_{12}(t) \\ P_{21}(t) & P_{22}(t) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{\sigma_f^2} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_{11}(t) & P_{12}(t) \\ P_{21}(t) & P_{22}(t) \end{bmatrix}; \quad (9)$$

Преобразуем выражение (9). Имеем:

$$\begin{bmatrix} \dot{P}_{11}(t) & \dot{P}_{12}(t) \\ \dot{P}_{21}(t) & \dot{P}_{22}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & P_{11} \\ 0 & P_{21} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ P_{11} & P_{12} \end{bmatrix} - \frac{1}{\sigma_f^2} \cdot \begin{bmatrix} P_{11}^2 & P_{11}P_{12} \\ P_{21}P_{11} & P_{21}P_{12} \end{bmatrix}.$$

Составим дифференциальное уравнение для каждого элемента корреляционной матрицы ошибок оценивания $P(t)$. Тогда получим:

$$\begin{cases} \dot{P}_{11}(t) = -\frac{P_{11}^2}{\sigma_f^2}; \\ \dot{P}_{12}(t) = P_{11} - \frac{P_{11}P_{12}}{\sigma_f^2}; \\ \dot{P}_{21}(t) = P_{11} - \frac{P_{21}P_{11}}{\sigma_f^2}; \\ \dot{P}_{22}(t) = P_{21} + P_{12} - \frac{P_{21}P_{12}}{\sigma_f^2}. \end{cases} \quad (10)$$

Полученные выражения являются основой при проведении цифрового моделирования.

Результаты цифрового моделирования

Для проведения цифрового моделирования построена электронная модель САУ в среде визуального программирования «Simulink».

Учитывая, что $P_{21}=P_{12}$ (так как это диагональные элементы корреляционной матрицы) выполним решение системы нелинейных дифференциальных уравнений (10) в среде визуального программирования «Simulink».

При p_{11}=0,033 *град*^{2}/с, p_{21}=0,083 *град*^{2}/с.

При проведении моделирования использовались следующие исходные данные:

$p_{11}(0)$=0,1 *град*^{2} , $p_{22}(0)$=0,01 *град*^{2} ,

$p_{21}(0)$=0,02 *град*^{2} , $\sigma^2_f(0)$=0,1 *град*^{2} .

Найдем весовые коэффициенты фильтра Калмана в установившемся режиме $t\to\infty$. Учитывая, что

$$K_{11}(t) = \frac{P_{11}(t)}{\sigma_f^2}; K_{21} = \frac{P_{21}(t)}{\sigma_f^2}; K_{11}(t) = 0{,}33, K_{21}(t) = 0{,}83.$$

Тогда ПФ фильтра примет вид:

$$W_\phi(P) = \frac{0{,}33 + 0{,}83}{p^2 + 0{,}33p + 0{,}83}. \quad (11)$$

Расчет структуры и параметров детерминированного регулятора второго контура из условия повышения астатизма на один порядок был произведен в [7].

Данные исследований по точности оценивания угловых координат цели в режиме автосопровождения при линейном задающем воздействии, случайных ошибках измерения в рамках одноконтурных систем и двухконтурных систем, эквивалентных комбинированным, приведены в *таблице 1*. Время моделирования составляет 5с.

По результатам исследований, представленных в *таблице 1*, можно сделать вывод, что в рамках двухконтурных систем, эквивалентных комбинированным удается получить более высокие показатели коэффициента эффективности по оценке координаты по сравнению с одноконтурными системами.

В *таблице 2* приведены результаты исследований динамической точности одноконтурной и двухконтурной системы, эквивалентной комбинированной. Моделирование проводилось при линейном входном воздействии $\beta(t)=0.13t$. При этом скорость входного воздействия полагалась 0,13 град/с ($\dot{\beta}(t) = 0{,}13\,град/с$).

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

Таблица 1

Линейное задающее воздействие $\beta(t)=0.13t$					
Одноконтурные САУ			Двухконтурные САУ		
σ_f ошибки оценки слежения град	σ_f шума	Коэффициент эффективности по оценки (К)	σ_f ошибки оценки слежения град	σ_f шума	Коэффициент эффективности по оценки (К)
0.448	0.7359	0.9	0.2593	0.7359	2.8
0.5254	0.5168	1	0.2682	0.5168	2
0.7606	0.7607	1	0.2946	0.7607	2.6

Таблица 2

Одноконтурные САУ					Двухконтурные САУ				
$\dot{\beta}(t)$ град/с	$e_{дин}$, град	$t_{уст}$, с	$t_{рег}$, с	σ, %	$\dot{\beta}(t)$ град/с	$e_{дин}$, град	$t_{уст}$, с	$t_{рег}$, с	σ, %
0.13	0.1289	1,7	4,3	20	0.13	0.0013	1,7	3,7	10

В *таблице 2* введены следующие обозначения: $t_{уст}$ – время установления; $t_{рег}$ – время регулирования, s – величина перерегулирования; $e_{дин}$ – динамическая ошибка, $\dot{\beta}(t)$ – скорость изменения задающего воздействия (азимута).

Анализ результатов *таблицы 2* позволяет сделать вывод о том, что динамическая ошибка в двухконтурной системе, эквивалентной комбинированной, значительно меньше по сравнению с одноконтурной. Кроме того, показатели качества переходного процесса в двухконтурной следящей системе управления антенной меньше, по сравнению с одноконтурной системой (в частности по времени регулирования и по величине перерегулирования).

Заключение

Таким образом, на основании вышеприведенных исследований показано, что по качеству оценивания координатной информации двухконтурная, следящая система управления антенной эффективнее в 2-2,8 раза по сравнению с одноконтурной следящей системой. Исследование точности в установившемся режиме показало практически нулевую динамическую ошибку двухконтурной следящей системы управления электроприводом антенны ($e_{дин}(t)=0{,}0013$ град).

Литература

1. Ивахненко А.Г. Кибернетические системы с комбинированным управлением. Киев.: Техника, 1965. 512 с.
2. Калинин В.Н., Резников Б.А. Теория систем и управления (структурно-математический подход). Л.: ВИКИ, 1991. 417 с.
3. Петров Б.Н. и др. Принцип инвариантности в измерительной технике. М.: Наука, 1976. 239 с.
4. Пупков К.А. Методы классической и современной теории автоматического управления. Т. 1. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 656 с.
5. Пушкарёв Ю.А., Пушкарёва Е.Ю. Основы теории автоматического управления систем, эквивалентных комбинированным системам. М.: ФГУП «ЦНИИ» «Комета», 2008. С. 70-77.
6. Пушкарёв Ю.А., Пушкарёва Е.Ю. Теория автоматического управления. МО РФ, 2010. 476 с.
7. Пушкарёва Е.Ю., Сергеева Н.А. Синтез регулятора системы автоматического управления антенной в режиме целеуказания на основе метода двухконтурных систем, эквивалентных комбинированным системам // Известия Института инженерной физики, 2012. №2(24). С. 22-26.

УДК 004.657

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ И ВЫБОРУ РАЦИОНАЛЬНОЙ ЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ЭКСПЕРТНО-ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ ВООРУЖЕНИЯ

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

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

На основе использования методов имитационного моделирования и кластеризации атрибутов данных решается задача формирования выбора рациональной логической структуры экспертно-информационной системы управления развитием вооружения.

Based on the use simulation techniques and clustering of data attributes to solve the problem of forming a rational choice of the logical structure of expert information management system development of weapons.

Ключевые слова: экспертно-информационная система, логическая структура, управление развитием вооружения.

Keywords: expert information system, the logical structure, managing the development of weapons.

Процесс функционирования любой экспертно-информационной системы (ЭИС) характеризуется тем, что имеются случайный поток событий (клиентских запросов), поступающих на обслуживание, и операции обслуживания (обработки запроса), на выполнение которых требуется определенное время. При построении имитационных моделей исследуемых процессов функционирования ЭИС, как правило, используются следующие компоненты: входной поток однородных событий; дисциплина очереди заявок; механизм массового обслуживания клиентских запросов [1].

Для моделирования процесса функционирования ЭИС управления развитием вооружения (УРВ) используется транзактный способ имитации [1]. Входным потоком событий в этом случае является последовательность функций над данными, декомпозированных до уровня SQL-запросов. Входной поток должен быть однороден в том смысле, что значение имеет лишь факт поступления запроса в тот или иной момент времени. Запросы обслуживаются в порядке поступления, причем время обслуживания является случайной величиной.

Следовательно, ЭИС УРВ является системой обслуживания с несколькими каналами и несколькими очередями. Обслуживание запросов осуществляется одноканальными или многоканальными устройствами. Функциональные действия при выполнении транзакта представляются задержками на время выполнения их обработки. Собственно процессы, происходящие при обработке транзактов, не рассматриваются. Такой уровень детализации вполне обоснован, поскольку детали выполнения транзакта зависят от конкретной системы управления базой данных (СУБД). Параметрами имитационного моделирования является величины, которые произвольно выбираются проектировщиками с целью изучения их влияния на исследуемую систему. В качестве переменных величин имитационной модели ЭИС УРВ выступают времена задержек на передачу запросов T_1 и время считывания таблиц или их частей в кэш T_{cash}. Кроме того, используются статистические

характеристики моделирования, выражающие задание способов выбора стохастических величин. Обычно для этого используются различные функции плотности распределения случайных величин, которые могут в принципе изменяться в ходе имитационного моделирования.

Статистическими характеристиками имитационной модели ЭИС УРВ являются распределение вероятностей типов поступающих запросов, распределение вероятностей объемов запросов, распределение вероятностей поступающих запросов во времени и др. Результатом моделирования являются статистические данные о состоянии и развитии вооружения: средний и максимальный объем передаваемой информации, среднее и максимальное время обработки конкретного запроса, среднее и максимальное время ожидания обработки (длина очереди), сумма времен обработок всего множества запросов. Для ряда параметров, которые отражают элементы системы и условия ее функционирования, отсутствует возможность сбора фактических данных о состоянии и развитии вооружения. Для таких параметров выдвигаются гипотезы и предположения об их возможных значениях. Разработчик должен быть экспертом для того, чтобы выдвигаемые им гипотезы соответствовали реальным эксплуатационным характеристикам ЭИС УРВ. Еще один путь – использование экспертной оценки другого специалиста или группы специалистов. Использование групповой экспертной оценки является наиболее предпочтительной, поскольку при этом снижается степень субъективности.

При проведении такой работы следует учитывать также результаты анализа функционирования сходных систем (прототипов, аналогов). Для переменных количественных параметров, которые варьируются в ходе имитационного моделирования, определяются границы их изменения с учетом статистических данных.

Транзактами в моделировании представлены запросы от клиентов ЭИС УРВ на получение или обновление информации в системе. Генерируемые в модели транзакты в зависимости от величины времени обработки информации могут образовывать очереди. Времена задержек транзактов при обработке различны. Они определяются объемом поступающей или выбираемой из базы данных (БД) информации и временем ее обработки (функциями над данными $F = \{f_p\}$).

Одним из главных атрибутов транзакта является тип заявки, соответствующий определенной функции над данными. Другими важнейшим, с точки зрения моделирования, атрибутами являются частота выполнения функций над данными и функция распределения этих частот. При моделировании предполагалось, что плотность распределения частотных характеристик является пуассоновой со средними значениям $\xi_i^p = \{\xi_k^p\}$. Следовательно, единственным параметром, который остается определить до начала моделирования, является время выполнения корректировок клиентами ЭИС УРВ.

Зависимость времени корректировок от объема добавляемой и(или) изменяемой информации носит довольно сложный характер, поскольку в значительной мере определяется физической структурой БД [2]. Сглаженные функциональные зависимости времени выполнения корректировок от объема корректируемой информации, представлены на *рисунке 1*. Как видно из этого рисунка, время выполнения корректировок клиентами ЭИС УРВ растет линейно при малом объеме информации и в дальнейшем увеличивается примерно квадратично.

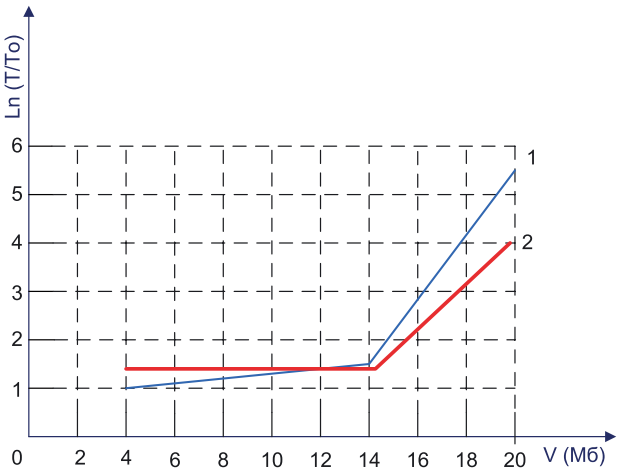


Рис. 1. Зависимости времени выполнения корректировок клиентами ЭИС УРВ от объема корректирующей информации

Для примера в *таблице 1* представлены обработанные результаты моделирования процесса функционирования ЭИС УРВ для двух неканонических вариантов логической структуры в сравнении с канонической структурой БД [2]. Результаты моделирования с канонической структурой БД для наглядности приняты за 100%.

Таблица 1

Результаты моделирования

T_q^1	Q_q^1	T_q^2	Q_q^2	T_q^3	Q_q^3
84.5 %	59.4 %	79.2 %	57.3 %	87.3 %	64.0 %
76.3 %	48.4 %	77.3 %	56.4 %	84.8 %	61.9 %

В таблице T_q и Q_q – среднее время выполнения функций над данными и соответствующее среднеквадратичное отклонение для трех основных категорий пользователей ЭИС УРВ (управляющего, производственного и обслуживающего персоналов).

Анализ полученных результатов указывает на возможные потери среднего времени выполнения функций над данными в случаях, если будет использоваться неканоническая логическая структура ЭИС УРВ.

Важным показателем для оценки эффективности функционирования ЭИС УРВ является, помимо определения времени выполнения функций над данными, построение зависимостей этих времен от объема информации, содержащейся в БД. Очевидно, что рост объема информации приводит к увеличению времени получения ответа пользователем ЭИС УРВ. Целесообразно выбрать такую структуру БД, в которой время выполнения функций над данными с ростом объема информации не будет приводить к «фатальному» росту времени ответа на запрос. Будем понимать под термином «фатальный» рост такую зависимость времени, при которой начинают изменяться соотношения между временами выполнения функций для различных вариантов логической (и физической) структуры БД. Действительно, если с ростом объема информации среднее время выполнения функций над данными для двух вариантов структуры имеет вид, представленный на *рисунке 2*, то выбор второго варианта логической структуры является предпочтительным.

Следовательно, результатом моделирования явилось построение зависимостей средних времен выполнения функций над данными, что было проведено на примере частной ЭИС УРВ. На *рисунках 3-5* представлены результаты моделирования изменения среднего времени выполнения функций над данными для трех основных категорий пользователей (указанных ранее) с ростом объема информации в БД, где T_o – среднее время выполнения функций над данными в наилучшем (втором) варианте структуры БД. Цифрами 1, 2 обозначены два исследуемых варианта логической структуры, цифра 3 отмечает зависимость для канонической структуры БД. Как видно из приведенных рисунков, логическая структура, определенная при сравнительно малом объеме БД (вариант №2), не испытывает «фатального» роста времени выполнения клиентских заданий при увеличении объема информации (*рисунки 2-5*).

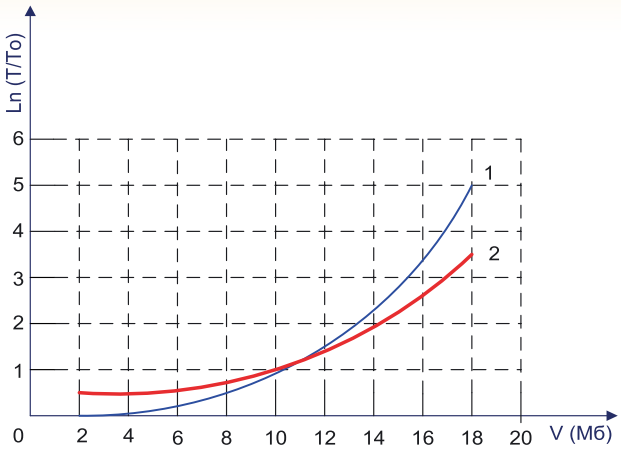


Рис. 2. Зависимости среднего времени выполнения функций над данными от объема информации

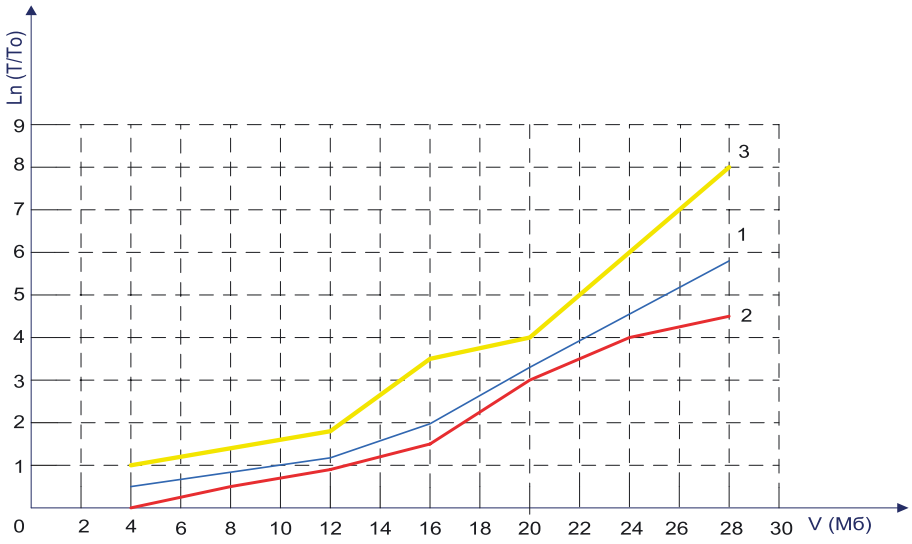


Рис. 3. Зависимости среднего времени выполнения функций над данными от объема информации

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

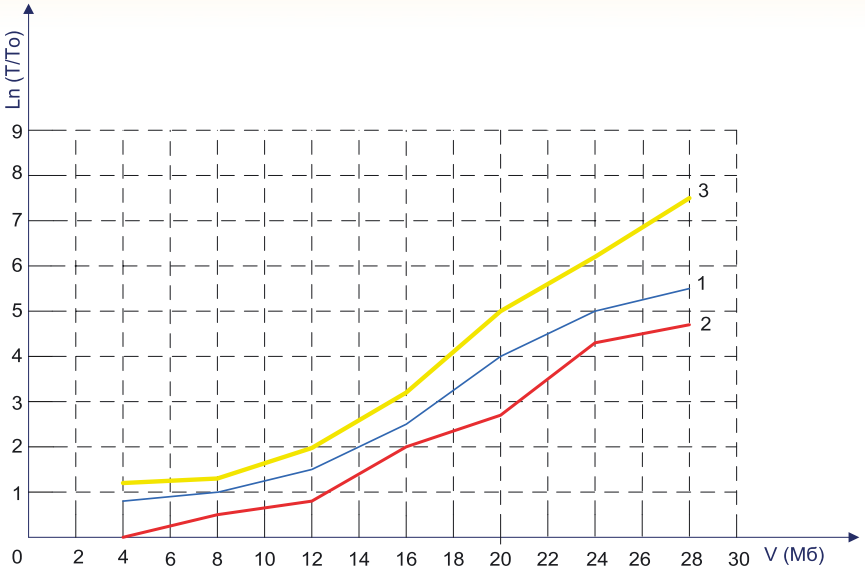


Рис. 4. Зависимости среднего времени выполнения функций над данными от объема информации

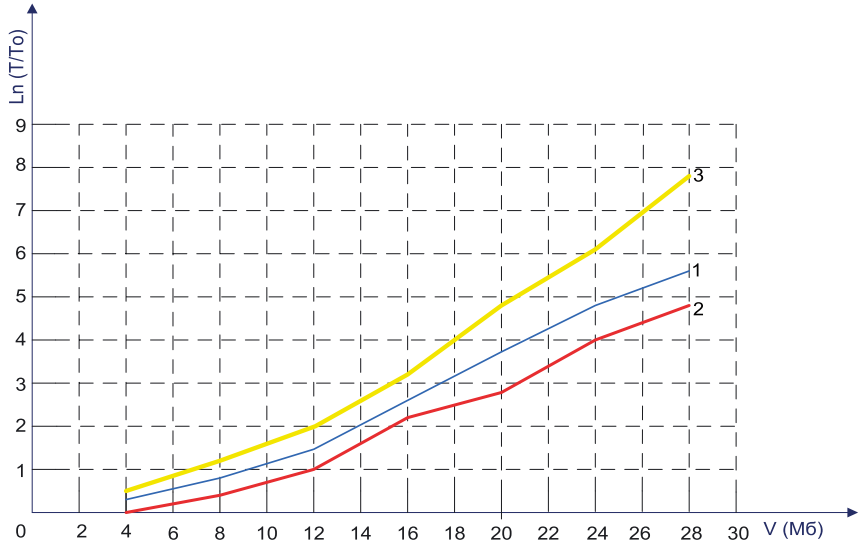


Рис. 5. Зависимости среднего времени выполнения функций над данными от объема информации

Исходя из вышеизложенного, рассмотрим построение рациональной логической структуры ЭИС УРВ на основе использования метода кластеризации атрибутов данных [3, 4, 5]. В качестве основы для поиска и выбора рациональной логической структуры ЭИС УРВ был положен алгоритм кластеризации атрибутов данных, то есть такая модификация таблиц БД, при которой время выполнения клиентских заданий определяется по целевым функциям и критериям, изложенным в [2]. Основой анализа таблиц, кандидатов на слияние, является исследование функциональных требований пользователя $F = \{f_p\}$ и, в частности, бинарного вектора $\omega_k = \{\omega_{pk}\}$, где $\omega_{pk} = 1$, если p-я функция обращается к k-й таблице, и 0 в противоположном случае. Простой анализ значений этого вектора позволяет определить круг таблиц – кандидатов на слияние. Фиксируя p, и выбирая ненулевые элементы $\omega_{pk} = 1$, можно получить список таблиц, с которыми манипулирует клиентское приложение. Для того, чтобы определить наиболее часто совместно используемые таблицы данных, построим матрицу вида

$$cr^p = \left\| cr^p kk_1 \right\| = \omega_{pk} \cdot \omega_{pk_1}, \qquad (1)$$

в которой отличные от нуля недиагональные элементы указывают на совместно используе-

мые таблицы при выполнении определенной (р-ой) функции над данными. Тогда определим матрицу в виде

$$cr = \left\| cr_{kk_1} \right\| = \sum_{p=1}^{P} cr^{\,p}\, kk_1 , \qquad (2)$$

где P – число функций над данными в БД ЭИС.

В отличие от матрицы cr^p, элементы последней матрицы (2) могут принимать любые целые положительные значения или значение ноль. Ненулевой элемент дает общее число совместного использования таблиц при выполнении всех функций над данными.

Следует заметить, что процесс определения элементов матрицы довольно просто алгоритмизируется. Следующий шаг в процессе кластеризации атрибутов данных заключается в сортировке элементов матрицы по возрастанию, после чего программный комплекс предлагает проектировщику принять объединение наиболее часто совместно используемых таблиц данных и дальнейшая работа происходит в интерактивном режиме. Интерактивный режим выбран по следующим соображениям. Во-первых, проектировщик имеет в виду реальный объем таблиц, от которого зависит скорость обработки данных. Нет смысла сливать несколько таблиц в одну, если объем такой таблицы превышает некоторый пороговый уровень. Во-вторых, объединение не должно противоречить требованиям структурного системного анализа, поскольку тогда ЭИС УРВ становится слишком специфичной и теряет наглядность представления данных. В-третьих, опытный проектировщик должен учитывать перспективу развития ЭИС УРВ, когда происходит расширение функций системы как за счет роста объема и структуры информации, содержащейся в БД, так и за счет увеличения числа функций над данными. В-четвёртых, если проектировщик не отвергнет ни одного варианта кластеризации, то это приведет лишь к увеличению времени выполнения функции над данными.

Алгоритм кластеризации предусматривает многоступенчатость. Это означает, что после принятия решения о кластеризации и анализе новой логической структуры в рамках CASE-системы, программа предусматривает возможность кластеризации данных новых таблиц, и процесс циклически повторяется. Окончание процесса кластеризации возможно либо по решению разработчика, либо когда элементы матрицы примут нулевые значения.

В данной работе для анализа была выбрана CASE-система Informix Universal Server [4], позволяющая проводить формирование, вычисление и анализ элементов матрицы cr^p. Однако возможно вмешательство разработчика в автоматический перебор вариантов кластеризации атрибутов данных. Каждый из вариантов логической структуры, прошедший контроль разработчика, используется для сравнения по времени T_q (среднему времени выполнения функций над данными) и σ_q – среднеквадратическому отклонению от T_q. Вариант логической структуры ЭИС УРВ принимается, если время T_q и σ_q меньше, чем в предыдущем варианте данной структуры. Тогда принятие окончательного решения о выборе рационального варианта логической структуры БД принимается по критерию пригодности в виде:

$$K_{np}^{T} : T_q < T_q^{Tp}; \qquad K_{np}^{q} : \sigma_q < \sigma_q^{Tp}, \qquad (3)$$

где T_q^{Tp} – требуемое среднее время выполнения функций над данными; σ_q^{Tp} – требуемое среднеквадратическое отклонение от T_q^{Tp}.

Таким образом, использование статистических данных о процессе функционирования рассматриваемой системы, методов имитационного моделирования и кластеризации атрибутов данных, а также критерия пригодности позволяет сформировать и выбрать рациональную логическую структуру ЭИС УРВ.

Литература

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

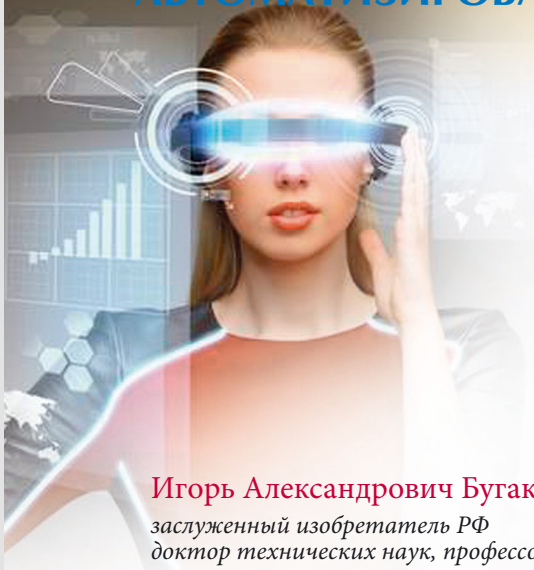
2. Мартин Дж. Организация баз данных в вычислительных системах. Перевод с англ. языка. М.: Наука, 2008. 463 с.

3. Злобин В.И., Вальваков А.М., Иващенко М.В. и др. Концептуальные принципы повышения качества функционирования систем передачи информации на основе новых информационных технологий // Известия Института инженерной физики. №4, 2012. С. 53-56.

4. Злобин В.И., Васильев И.В., Иващенко М.В. Концепция построения и функционирования интеллектуальных адаптивных систем передачи информации // Известия Института инженерной физики. №4, 2010. С. 7-10.

5. Умников В.Н., Царьков А.Н., Заводчикова М.Г. Кластеризация как сенергетический модернизационный процесс // Известия Института инженерной физики. №1, 2013. С. 93-96.

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ



УДК 004.657

РАЗВИТИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В СОВРЕМЕННЫХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ (ОТ ПОДСИСТЕМНОГО КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ К ОБЩЕСИСТЕМНОМУ КОМПЛЕМЕНТИРОВАНИЮ)

Игорь Александрович Бугаков
заслуженный изобретатель РФ
доктор технических наук, профессор
Вице-президент
по инновационным проектам МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93

Александр Ильич Куприянов
доктор технических наук, профессор
Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)
Адрес: 125871, Москва, ГСП,
Волоколамское ш., д. 4

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

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

Возможности и особенности повышения эффективности функционирования автоматических систем контроля и управления достигаются на основе последовательных переходов к организации процессов взаимной ресурсной дополнительности (комплементности) между элементами.

Capabilities and features to enhance the functioning of automatic control systems are achieved through successive transitions to the organization of processes of mutual complementarity of the resource (the complement) between elements.

Ключевые слова: системы контроля и управления, эффективность, комплексирование, эмерджентность, комплементность, интеллектуализация, риски.

Keywords: systems of control, efficiency, complexation, emergence, complementarity, intellectualization, risks.

«Информация» (сведения, повышающие степень определенности знания о контролируемом или управляемом объекте) и *«данные»* (сведения, подтверждающие, поддерживающие или опровергающие достигнутую степень определенности знания) получаются и используются в современных *системах контроля и управления (СКУ)* по все новым и новым правилам, методам, процедурам и технологиям.

Новизна приходит как по сугубо *функциональным*, так и по *служебным* изменяющимся причинам. В этой работе остановимся на важнейшей – *функциональной* – стороне вопроса *развития обработки информации в сложных СКУ*.

Основания перехода комплексирования в комплементирование СКУ

Функциональный аспект СКУ находится в непрерывном движении, что вызывает меры по *плановым и внеплановым изменениям отношений базовых характеристик систем* на всех этапах их жизненного цикла. В каждом случае задания пользователями системы или при самостоятельных действиях СКУ – все меры подчиняются некой единой *цели*. Обычно целесообразность – это в итоге – повышение *эффективности*, понимаемой в том или ином смысле.

Движение спектра потребных целевых функциональных возможностей СКУ вызывается

множеством появляющихся изменчивых факторов, которые требуется учитывать не только при разработке СКУ, но и в процессе их дальнейшей эксплуатации. Жизнь вынуждает разработчиков все чаще решать новые и новые целевые задачи, сообщать СКУ, их подсистемам и всем элементам способности реагировать, адекватно настраиваться и парировать действие вредных внешних и внутренних факторов, а также способствовать извлечению пользы из факторов положительных.

Степень готовности СКУ к соответствующей перестройке (настройке, самонастройке) текущих функциональных возможностей в значительной мере определяется уровнем разнообразия в располагаемом наборе привлекаемых к использованию (функционально комплексируемых) составляющих элементов и возможных связей, а также их качеством.

Текущие используемые комплексные наборы (варианты задействованных системой элементов и связей в протекающем процессе управления) могут быть изменяемы, а также перестраиваемы в режимах как ступенчато, так и непрерывно.

Есть N-мерная информация, и есть потребность в ее обработке для задач M-мерного управления. При этом возможна перестройка СКУ в L-мерном пространстве условий функционирования.

Сейчас в основе методов перестройки функционирования СКУ лежат автоматно-аппаратные, в перспективе – все более интеллектуализируемые возможности.

При переходе от простых организуемых систем к системам все более сложным и самоорганизуемым в том или ином смысле *преемственность* концепций контроля и управления осуществляется, так или иначе (осознанно или интуитивно), на основе идеи *«органичности»*, т.е. подобия системы сложному организму. Человеко-машинные системы становятся все более освобожденными от прямого участия человека в системе функций СКУ, причем все больше освобождается (от «этих», простых или ординарных функций – для выполнения «других», оригинальных суперфункций) пространство возможностей для последовательного установления и усложнения, интеллектуализации внутренних взаимоотношений между элементами всех уровней организации СКУ. Особая необходимость – в тех видах взаимоотношений, которые наиболее приспособлены для повышения уровня *органичности* интеллектуальной системы. При уже имеющемся в системе простом *комплексировании* функций элементов дальнейшее повышение эффективности общего функционирования может достигаться на основе последовательных переходов к организации процессов целесообразной *взаимной ресурсной дополнительности* (*соответственной ресурсной вспомогательности* – *«комплементности»*, как особого вида *синергетичности*) между элементами. В таких случаях организуется их новое, *взаимно-соответственное*, *комплементное* распоряжение «своими» ресурсами, ранее полностью использовавшимися при реализации каждым элементом только «своего», закрепленного за элементом функционала. Так на перспективу создается прямая возможность разработки и освоения технологий внутрисистемного комплементного взаимоконтроля, взаимоуправления и взаимовлияния (прямого и косвенного) составляющих в интересах повышения эффективности системы вцелом. Последнее достигается принципиально на основе получения в каждом акте взаимодействия элементов очередной «порции» нового качества – *«эмерджентности»*, получение которой невозможно каждым элементом самостоятельно, в отдельности. При усложнении (росте внутренней комплексности и взаимосвязности) системы растет и ее потенциал для *комплементирования*, повышения получаемой эмерджентности, а значит, повышается и потенциал эффективности.

Таким образом, на перспективу, радикальной возможностью нарастающего улучшения системы выступает регулярно достигаемое в ней некое дополнительное, новое полезное качество (*эмерджентность*) как источник дополнительной полезности для развивающейся СКУ. Получение эмерджентности возможно за счет разнообразных взаимодополнительных действий составляющих подсистем и их элементов (привлекаемых и задействуемых *«участников»*) СКУ. Каждый из участников использует собственные ресурсы и свою «долю», ранее выделенную из общего ресурса развития системы, решая одновременно (последовательно и параллельно) задачи, как собственного функционирования, так и помощи в обеспечении функционирования некоторых других участников в интересах СКУ вцелом. Мотив взаимной передачи, в определенном смысле – взаимного временного «пожертвования», части ресурсов между участниками (с учетом допущения возможной степени ослабления одних и требования определенной степени усиления других) должен способствовать прогрессу СКУ вцелом.

Расширяющееся комплексное пространство возможных новых составляющих и режимов каждой СКУ в перспективе, с одной стороны, стимулируется постоянно растущим числом новых системных целесообразностей, а с другой – рефлективно расширяет перечень мер для достижения

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

последних. *Комплексное* обеспечение контроля и управления в *эксклюзивно сложных системах* с взаимосвязанными процессами, с их нередко перестраиваемыми, функциональными режимами и меняющимися условиями работы, будет вынуждено переходить в обеспечение *комплементное*, временное или постоянное.

Решение задач реализации комплементирования и перехода СКУ от простой, ординарной комплексности к многосторонней углубляющейся комплементности, потребует соответствующих изменений характеристик элементов, их состава и связей в системе, обеспечивающих достижение роста ее эффективности даже в усложняющихся и ведущих к *рискам* условиях. Для перспективных СКУ ожидается последовательное внедрение виртуально-материального программного и ситуационного интеллектуального комплементирования составов и режимов элементов в изменчивом ситуационном пространстве обстоятельств.

Большинство имеющихся систем может быть модернизировано путем многоточечного комплементного применения современных интеллектуальных цифровых средств. ЭВМ стали все чаще применять для обработки нечисловой информации – понимания речевых команд, коррекций, поправок, предупреждений и т.д., для контроля выполнения последних. Последовательно достигаемая интеллектуализация позволяет разрабатывать и использовать приемы все более рационального, в частности, комплементного, распоряжения располагаемыми СКУ ресурсами, как общими, так и ее отдельных элементов.

Все основные характеристики СКУ постепенно улучшаются, показатели увеличиваются. И этот рост не противоречит, а только способствует росту органичности систем, а значит и повышению их комплементности.

Непрерывно растущие многоэлементность, многосвязность, многофункциональность, точность, быстродействие и долговечность массово распространяемых, все более типовых и универсальных СКУ практически не сопровождаются ростом удельных стоимостных, габаритно-весовых характеристик систем и дополнительных эксплуатационных неудобств. А это приводит к росту возможностей углубленного внедрения комплементности систем, развития их органичности. Предстоит разносторонняя работа по научно-методическому обеспечению внедрения и развития комплементности СКУ различного применения. Например, по методическому обеспечению ослабления и исключения *рисков в функционировании перспективных СКУ* при развитии их комплементности.

Важнейшей задачей перспективного развития СКУ является формирование функционала *упреждающего комплементирования*, когда СКУ перебалансирует запас ресурсов между подсистемами исходя не только из текущей ситуации, но и с учетом прогноза хода ее развития в будущем. Решение данной задачи невозможно без формирования методического обеспечения для решения трех основных подзадач работы с рисками: ❑ выявления неблагоприятных состояний, оценки рисков функционирования СКУ, как внешних, так и внутренних; ❑ принятия решений по заблаговременному противодействию наиболее существенным рискам, определения необходимого нового баланса ресурсов между подсистемами и размера необходимого ресурсного резерва, с учетом имеющегося у СКУ опыта; для этого разработчики, задающие рамки нормального функционирования СКУ, находят основные допустимые методы противодействия рискам, граничные значения (допустимые условия) и степень вариативности ключевых параметров; ❑ организации информационного массива, сохраняющего наработанный в процессе функционирования СКУ опыт: информацию, описывающую исходную ситуацию, оценку ее важности (итогового влияния) на работу системы, принятые решения о вариантах баланса ресурсов в СКУ для снижения рисков нарушения работы системы, оценки полученных результатов (насколько эффективно произведенные СКУ действия предотвратили или скомпенсировали рисковое событие).

Специальная информационная подсистема СКУ, реализующая эти три основные подзадачи, сможет не только противодействовать заранее заданным рискам по информации, заложенной разработчиками, но и самообучаться по мере накопления опыта функционирования, а значит, в дальнейшем позволит эффективно функционировать в условиях неопределенности и изменчивости внешних условий за счет максимального использования возможностей комплементирования ресурсов ее подсистем.

При нарастающем интеллектуальном обеспечении комплементирования подсистем (элементов) возможен учет не только внешних, но и собственных или общесистемных особых рисков – *«рисков комплементирования»* для закрепления и повышения общей эффективности СКУ.

Примеры воможностей комплементаризации в перспективных СКУ

Комплексная система контроля и управления предприятием

В СКУ современными организациями выде-

ляются три основных подсистемы: организации, получения-обработки информации и управления. Последовательное развитие каждой из них согласовывают административно. При администрировании подсистем постоянно выполняется наружная и внутренняя *оценка требуемого развития всего комплекса СКУ*.

Подсистемы СКУ могут иметь некоторую автономность. Значимость каждой из них изменчива. В триаде относительно автономных подсистем СКУ существуют развивающиеся взаимные связи, и поэтому на перспективу подсистемы становятся все менее автономными. Более того, при создании перспективных СКУ организациям придется все тщательнее согласовывать между собой базовые характеристики их подсистем. Одним из основных признаков, определяющих особенности этого согласования, является задаваемый *уровень развития* подсистем и всей СКУ *в функциональной комплементности*, характеризуемый как стадия *«комплементационной зрелости»*. При этом должно учитываться то, что *стадии изменения комплементной зрелости* составляющих СКУ могут быть различными. Таким образом, комплементное развитие СКУ может и должно базироваться на оцениваемом прогрессе соответствующих возможностей ее составляющих.

Комплексная система контроля и управления вузом

Позволяет глубже автоматизировать различные процессы деятельности вуза, например, при организации комплементного доступа заинтересованных пользователей к оборудованию центров коллективного (а в развитии – и встречного комплементного предложения участниками своих ресурсов для центра и его остальных пользователей), комплементного пользования научным оборудованием (а в перспективе – учебно-научными материальными и кадровыми ресурсами) при университете.

Дает возможность увеличить доступность существующей учебной и научной инфраструктуры университета для привлечения на комплементных условиях инновационных предприятий малого и среднего бизнеса с их потребностями и встречными предложениями для остальных участников...

Сложные сенсорные сети

Будут эволюционировать от процедур комплексирования на миниатюрных микросхемах – к нано-технологическим распределенным комплементным системам на *«интеллектуальных» сенсорах (ИС)*, способных к глубокой и сложной обработке полученных сигналов, к учету нелинейностей и посторонних влияний, к извлечению из них ценной информации более высоких уровней, к рациональному изменению режимов работы в зависимости от меняющихся обстоятельств, к самоконтролю и общению с компьютерной сетью, с появлением эмерджентных возможностей сети как следствие сверхаддитивного соединения возможностей сенсоров.

Комплексная система контроля и управления безопасностью (маскировкой, помехоустойчивостью и т.д.)

Например, при комплексном управлении снижением наблюдаемого контраста защищаемых излучений передатчиков активными способами маскировки на основе оптимального комплементирования мощностей полезного сигнала и искусственно налагаемых своих защитных маскирующих помех. В процессе работы такой СКУ на разных этапах состав задействованных подсистем и критерии оптимального управления долями ресурса общей выходной мощности сигнала и искусственных помех могут перестраиваться с учетом внешней обстановки.

Сложные робототехнические комплексные системы контроля и управления

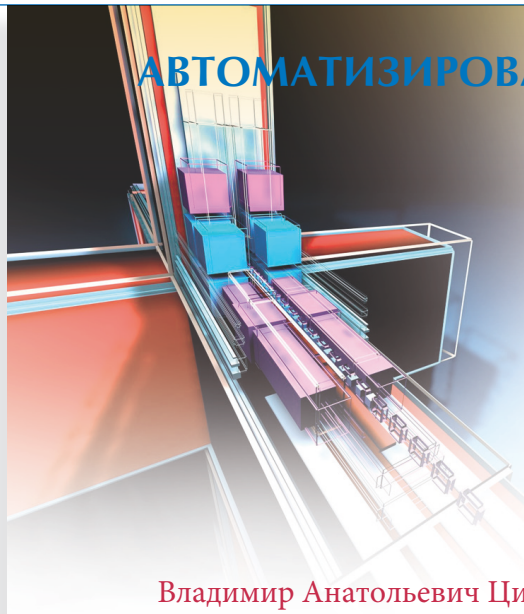
Это особое научно-техническое направление для робототехники: накопления разнообразного опыта моделирования и наращивания органичности СКУ.

Сложные нано-технологические комплексные системы контроля и управления

В сложных *нано-технологических системах (НТ-системах)* контроля и управления нарастает количество одновременно действующих на малом пространстве больших массивов факторов, организуемых функциональных и сопутствующих им процессов, медленной и быстрой перестройки «на ходу» составов и структур слабо наблюдаемых нано-объектов управления, их роста, развития, катастрофирования, санации, утилизации.

Возникают особые новые потребности в системном многостороннем оперативном комплексировании и комплементировании при огромном объеме одновременно решаемых взаимосвязанных и взаимозависимых трудных задач контроля и управления (с учетом особенностей НТ и ростом количества учитываемых влияющих условий, требований по жесткой верификации результатов контроля перед их передачей для использования при управлении).

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ



УДК 621.39

ОБОСНОВАНИЯ ТРЕБУЕМОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ УЗЛА СВЯЗИ С ЗАДАННОЙ ОПЕРАТИВНОСТЬЮ РЕАКЦИИ ПРИ МИНИМУМЕ ИХ СТОИМОСТИ МЕТОДОМ РЕКУРСИИ

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

Владимир Михайлович Ванюшин
доктор технических наук, профессор
ведущий научный сотрудник МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московской обл. г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93

Сергей Николаевич Шиманов
доктор технических наук, профессор
заместитель генерального директора по АСУ и связи – главный конструктор МОУ «ИИФ»
Адрес: 142210, Московской обл. г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93, 35-13-71
E-mail: asu_iif@gmail.ru

Дмитрий Вячеславович Островский
старший научный сотрудник МОУ «ИИФ».
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д1а
Тел.: +7(4967)35-31-93

В статье разработан научно-методический аппарат, позволяющий обосновывать требуемую производительность аппаратно-программных средств управления узла связи с заданной оперативностью реакции при минимуме их стоимости.

In article the scientifically-methodical device is developed, allowing to prove demanded productivity of hardware-software control facilities of a communication centre with the set efficiency of reaction at a minimum of their cost.

Ключевые слова: аппаратно-программные средства, производительность, рекурсивная процедура, своевременность реакции.

Keywords: hardware-software, productivity, recursive procedure, timeliness of reaction.

Целью автоматизации управления процессами, проистекающими на современном автоматизированном узле связи (АУС), является обеспечение заданного качества услуг, предоставляемых пользователям сети. Все это требует от комплекса автоматизации управления связью (КАУС) АУС своевременной реакции по парированию всех негативных и иных ситуаций, возникающих в ходе функционирования АУС и сегмента его сети. Как правило, КАУС реализует известный протокол управления типа SNMP [1].

КАУС АУС включает в себя совокупность различных аппаратно-программных средств (АПС), обеспечивающих восприятие сообщений о возникающих проблемных ситуациях на сети и в АУС и вырабатывающих соответствующий вариант по их разрешению. Опыт создания КАУС позволяет утверждать, что КАУС представляет собой трехступенчатую совокупность АПС:

1) вычислительный комплекс сервера (ВКС) КАУС, содержащий базу данных типовых решений и специальное программное обеспечение для решения нетиповых задач; как правило, ВКС представляет собой промышленный сервер;

2) локальную вычислительную сеть (ЛВС) типа Ethernet; 3) различные блоки преобразования интерфейсов (БПИ) или средства аппаратного сопряжения (САС), обеспечивающие сопряжение конкретных каналоформирующих

средств проводной и радиосвязи с ВКС; как правило, БПИ (САС) представляют собой компьютеры типа Pentium, либо микропроцессорные устройства. При этом все БПИ (САС) связаны с ВКС через ЛВС [1, 2, 3]. Отметим, что БПИ (САС) нужны на тех АУС, которые содержат разнотипные по управлению средства связи и допускающие управление по принципу «провод-команда», ИРПС, RS-232 и подобные им. БПИ в рамках протокола управления типа SNMP именуют также прокси-преобразователями. Современные средства связи управляются по ЛВС типа Ethernet.

К оперативности управления (реакции КАУС) предъявляются жесткие требования по временным характеристикам (ВХ – среднее время реакции) и вероятностно-временным (ВВХ – квантиль времени, доставляющий заданную вероятность реакции). Из физики процесса ясно, что оперативность реакции КАУС определяется производительностью его АПС, выраженной числом операций, выполняемых ВКС в единицу времени. Данная величина выражается в МФлоПС (MFloPS – Mega Floating point operation Per Second) (для операций над числами, представленными в форме с плавающей запятой) и в МИПС (MIPS – Mega Instruction Per Second) (для операций над числами, представленными в форме с фиксированной запятой). В конечном итоге производительность АПС определяется их тактовой частотой. Известно, во-первых, стоимость АПС напрямую зависит от их производительности и, во-вторых, оперативность обработки типовой задачи запроса находится в обратной (экспоненциальной [2]) зависимости от производительности. Таким образом, возникает задача обоснования производительности АПС КАУС АУС с требуемой своевременностью его реакции при минимуме стоимости его АПС [1].

Данная задача может быть решена как в отношении оперативности по ВХ, так и в отношении оперативности по ВВХ. Отметим, что вторая задача является более сложной, использует рекурсивную процедуру, которая на каждом шаге включает в свой состав решение первой задачи.

Первая задача имеет следующую постановку [1, 2, 3].

Исходными данными являются:

❑ для БПИ:

$\bar{I}_{БПИ}$ – средняя трудоемкость решения типовой задачи-запроса в БПИ КАУС (среднее число операций, необходимых процессору (микроконтроллеру) БПИ КАУС для обработки одной типовой задачи-запроса, определяется на этапе разработки СПО БПИ);

α_1 – интенсивность возникновения задач-запросов от одного оконечного устройства (ОУ) связи, сопрягаемого с БПИ;

$N_{ОУ}$ – количество ОУ связи, сопрягаемых с БПИ;

m_1 – число мест в очереди задач-запросов БПИ;

$V_{БПИ}$ – производительность БПИ;

❑ для ЛВС:

$N_{БПИ}$ – количество БПИ в КАУС;

$N_{АРМ}$ – количество АРМ в КАУС;

$N_{ПСС}$ – количество перспективных средств связи со стыком Ethernet;

$N_{общ} = N_{БПИ} + N_{АРМ} + N_{ПСС}$ – количество БПИ, АРМ и перспективных средств связи, имеющих стык типа Ethernet;

$\rho_З$ – максимальное время задержки распространения пакета формата Ethernet в кабеле ЛВС;

c – скорость распространения электромагнитной волны (света) в вакууме;

$L_П$ – длина пакета в ЛВС типа Ethernet;

$\bar{l}_П$ – среднее число пакетов в типовой задаче-запросе, прошедшей первичную обработку в БПИ;

$l_к$ – длина кабеля в ЛВС типа Ethernet;

$V_{ЛВС}$ – производительность (скорость передачи) ЛВС;

❑ для ВКС КАУС:

λ – интенсивность потока задач-запросов, поступающих на обработку в КАУС;

$m_З$ – число мест в очереди задач-запросов ВКС КАУС;

$\bar{I}_{ВКС}$ – средняя трудоемкость решения типовой задачи-запроса в ВКС КАУС (среднее число операций, необходимых процессору ВКС КАУС для обработки одной типовой задачи-запроса);

$V_{ВКС}$ – производительность ВКС КАУС.

Общая стоимость трех ступеней АПС равна [2]:

$$S = A_1 \cdot e^{-\frac{\bar{\tau}_1}{B_1}} + A_2 \cdot e^{-\frac{\bar{\tau}_2}{B_2}} + A_3 \cdot e^{-\frac{\bar{\tau}_3}{B_3}} \to \min$$ – целевая функция (1)

при функции-ограничении

$$(\bar{\tau}_1 + \bar{\tau}_2 + \bar{\tau}_3) \le T_p^{доп}. \quad (2)$$

Данная задача решается методом неопределенных множителей Лагранжа. В результате решения данной задачи получим следующее оптимальное распределение средних времен обработки задачи-запроса в АПС каждой ступени КАУС [2]:

$$\bar{\tau}_1 = B_1 \ln\frac{A_1}{\lambda B_1}; \bar{\tau}_2 = B_2 \ln\frac{A_2}{\lambda B_2}; \bar{\tau}_3 = B_3 \ln\frac{A_3}{\lambda B_3}, \quad (3)$$

$$\lambda = \left[e^{T_p^{доп}} \cdot \left(\frac{B_1}{A_1}\right)^{B_1} \cdot \left(\frac{B_2}{A_2}\right)^{B_2} \cdot \left(\frac{B_3}{A_3}\right)^{B_3} \right]^{\frac{1}{B_1+B_2+B_3}}. \quad (4)$$

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

Имея выражение множителя Лагранжа λ, определим средние времена, обеспечивающие заданную своевременность решения типовой задачи-запроса по управлению связью:

$$\bar{\tau}_1 = B_1 \ln\frac{A_1}{\lambda B_1}; \bar{\tau}_2 = B_2 \ln\frac{A_2}{\lambda B_2}; \bar{\tau}_3 = B_3 \ln\frac{A_3}{\lambda B_3}. \quad (5)$$

Нахождение производительностей АПС КАУС по минимуму их стоимости осуществляется так:

– для производительности АПС БПИ используем выражение:

$$V^*_{БПИ} = \mu_1 \cdot \bar{I}_{БПИ}, \quad (6)$$

– производительность АПС ЛВС:

$$V^*_{ЛВС} = \frac{N_{общ}\bar{l}_П L_П}{\bar{\tau}^*_{ЛВС} - N_{общ}\bar{l}_П 5\rho_З}, \quad (7)$$

где $N_{общ} = N_{БПИ} + N_{АРМ} + N_{ПСС}, \rho_З = \frac{l_К}{0{,}6c}$, (8)

– для производительности АПС ВКС КАУС используем выражение:

$$V^*_{ВКС} = \mu_3 \cdot \bar{I}_{ВКС}. \quad (9)$$

Вторая задача имеет следующую постановку.

Исходными данными являются:

$T_p^{доп}$ – допустимое время реакции (обработки) АПС КАУС одной типовой задачи-запроса; $P_p^{тр}$ – требуемая вероятность реакции (обработки) АПС КАУС одной типовой задачи-запроса за время $T_p^{доп}$; другие исходные данные, используемые в задаче по варианту 1.

Искомые производительности находятся через интенсивности $\mu_i, i = \overline{1,3}$. Однако, величины μ_i являются неизвестными. Они входят в выражение для ВВХ реакции, по которому их найти нельзя. Однако, μ_i и $\bar{\tau}_i$ имеют однозначную связь, при этом для БПИ и ВКС эта связь определяется итерационной формулой Стеффенсена, а для ЛВС данные величины взаимообратны. Следовательно, если найти $\bar{\tau}_i$, то можно найти и искомые μ_i. Нахождение $\bar{\tau}_i$ через $T_p^{доп}$ и $P_p^{тр}$ предлагается осуществить через вспомогательную элементарную функцию, приближенно описывающую искомые ВВХ через общее среднее время реакции. Отметим, что ВВХ описываются следующей функцией [2]:

$$F(t) = \mu_1\mu_2\mu_3\left[\frac{1}{\mu_1(\mu_1-\mu_2)(\mu_1-\mu_3)}\left(1-e^{-\mu_1 t}\right) + \right.$$
$$\left. + \frac{1}{\mu_2(\mu_2-\mu_1)(\mu_2-\mu_3)}\left(1-e^{-\mu_2 t}\right) + \frac{1}{\mu_3(\mu_3-\mu_1)(\mu_3-\mu_1)}\left(1-e^{-\mu_3 t}\right)\right] \quad (10)$$

Допущение: Вспомогательная функция распределения вероятности реакции КАУС на поступившую задачу-запрос имеет вид:

$$P_p(t) = \left(1 - e^{-\frac{t}{\bar{\tau}_p}}\right). \quad (11)$$

Нахождение $\bar{\tau}_i$ будем осуществлять с помощью рекурсивной процедуры, включающей вычисление значений функций (10) и (11).

Шаг 1. Используя формулу экспоненциального закона распределения (11), находим среднее время реакции КАУС на типовую задачу-запрос, поступившую в КАУС:

$$\bar{\tau}_p = -\frac{T_p^{доп}}{\ln(1 - P_p^{тр})}. \quad (12)$$

Шаг 2. Решаем оптимизационную задачу для минимизации стоимости АПС КАУС методом множителей Лагранжа (по варианту 1 задачи) относительно найденного $\bar{\tau}_p$ и определяем средние времена $\bar{\tau}_i$.

Шаг 3. По методу Стеффенсена определяем интенсивность обработки задач-запросов в БПИ – μ_1. Определим интенсивность доставки обработанных задач-запросов по ЛВС от БПИ к ВКС КАУС – μ_2. По методу Стеффенсена определяем интенсивность обработки задач-запросов в ВКС КАУС – μ_3.

Шаг 4. Зная значения интенсивностей μ_1, μ_2, μ_3, найдем конкретный вид функции – распределения $F(t)$ (формула (10)).

Шаг 5. Сравниваем значения вероятности $F(t)$, посчитанной по формуле (10) при найденных μ_i, и вероятности $P(t)$, посчитанной по формуле (11). Если разность вероятностей не удовлетворяет условию $\left|F\left(T_p^{доп}\right) - P_p^{тр}\right| \le \delta$, где δ – заданная точность вычислений, то реализуем очередной шаг рекуррентной процедуры, а именно: находим средние значения $\bar{F}(t)$ и $\bar{P}(t)$ на отрезке временного интервала от 0 до $T_p^{доп}$.

Далее находим среднее значение вероятности реакции:

$$\bar{P}_p(n) = \frac{\bar{F}_{n-1}(t) + \bar{P}_{n-1}(t)}{2}. \quad (13)$$

где n – шаг итерации и подставляем полученное значение вероятности $\bar{P}_p(n)$ в выражение (12) шага 1. Выполняем рекуррентную процедуру до тех пор, пока разность вероятностей не удовлетворит условию $\left|F\left(T_p^{доп}\right) - P_p^{тр}\right| \le \delta$.

Шаг 6. Нахождение производительностей АПС ступеней КАУС при минимуме их стоимости по выражениям (6), (7), (8) и (9).

Шаг 7. Вывод результатов (производительностей АПС БПИ, ЛВС, ВКС КАУС и их стоимостей, распределение вероятностей реакции КАУС за установленное время, средние времена

реакции АПС ступеней КАУС при минимальной стоимости данных АПС КАУС).

Таким образом, разработан научно-методический аппарат, позволяющий обосновывать требуемую производительность аппаратно-программных средств управления узла связи с заданной оперативностью реакции при минимуме их стоимости.

Литература

1. Цимбал В.А., Островский Д.В., Девятияров В.Б., Миронов С.Ф. Обоснование производительности комплекса аппаратно-программных средств управления узла связи с заданной оперативностью при их минимальной стоимости // Радиотехнические и телекоммуникационные системы, 2011, №2. С. 72-77.

2. Исаева Т.А., Девятияров В.Б., Островский Д.В. Нахождение зависимости «Производительность–стоимость» для типовых вычислительных устройств, применяемых в системах управления телекоммуникационных объектов // Труды РНТОРЭС, 2012. С. 284-287.

3. Исаева Т.А., Девятияров В.Б. Математическая модель функционирования блока преобразования интерфейсов комплекса управления связью, функционирующего в раздельном режиме при конечном числе источников задач // Труды РНТОРЭС, 2011. С. 216-218.

УДК 621.39

ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛУЧАЙНОГО ПРОЦЕССА, ОПИСЫВАЕМОГО ПОГЛОЩАЮЩЕЙ КОНЕЧНОЙ МАРКОВСКОЙ ЦЕПЬЮ С НЕОДНОРОДНЫМИ ПО ДЛИТЕЛЬНОСТИ ШАГАМИ ПЕРЕХОДОВ МЕЖДУ СОСТОЯНИЯМИ ЦЕПИ

Сергей Евгеньевич Орехов
кандидат технических наук
заместитель начальника кафедры
филиал Военной академии РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(4967)78-97-11

Статья посвящена численному методу анализа временных характеристик случайного процесса, описываемого поглощающей конечной марковской цепью с неоднородными по длительности шагами переходов между состояниями цепи.

The article is considered the numerical analysis method of the Markov chain time performance based on non-equal crossing steps.

Ключевые слова: поглощающая конечная марковская цепь; временные характеристики марковского процесса; неоднородные по длительности шаги переходов по марковской цепи; временная предыстория блуждания марковского процесса; численный метод анализа временных характеристик случайного процесса, описываемого поглощающей конечной марковской цепью с неоднородными по длительности шагами переходов между состояниями цепи.

Keywords: Markov chain, Markov chain time performance, non-equal crossing steps through the Markov chain, time prehistory of Markovian process, numerical analysis method of the Markov chain time performance based on non-equal crossing steps.

В теории случайных марковских процессов имеется большой класс процессов, называемый конечными марковскими цепями (КМЦ) [1, 2].

Случайный процесс, описываемый КМЦ, имеет конечное множество состояний S_1, S_2, ... , S_n и может переходить из одного состояния i в другое состояние j в дискретные моменты времени t_k (k = 0, 1, ... , ∞) с переходными вероятностями p_{ij}. При этом, если переходные вероятности p_{ij} ($i, j=\overline{1,n}$) не зависят от времени, то марковская цепь называется однородной. Объектом исследования в данной статье являются марковские цепи именно этого типа.

Формально КМЦ можно представить в виде взвешенного ориентированного графа – графа переходов (*рисунок 1*). Возможные переходы по цепи показаны на графе при помощи ветвей, промаркированных соответствующими переходными вероятностями и длительностями переходов, измеряемых в единицах времени.

Наличие в КМЦ поглощающих состояний радикальным образом изменяет характер процесса по сравнению со случаем регулярной цепи. Если среди состояний цепи имеется хотя бы одно поглощающее состояние, то такая КМЦ называется поглощающей. Поглощающая цепь непременно содержит в себе два множества: множество возвратных состояний (эргодическое множество), состоящее, по крайней мере, из одного элемента – поглощающего состояния, и множество невозвратных состояний.

В графе, изображенном на *рисунке 1*, состояние S_3 является поглощающим, состояния S_1 и S_2 – невозвратными.

Важной характеристикой КМЦ является зависимость вероятностей ее состояний от количе-

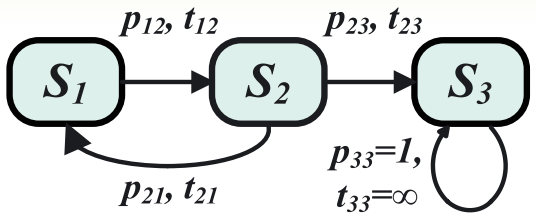


Рис. 1. Граф переходов для варианта ПКМЦ

ства шагов (переходов) по цепи. Такое изменение описывается известным уравнением Колмогорова-Чепмена (УКЧ) [2]:

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

где

$$P_{s\langle n\rangle}^{(0)} = \left\langle P_{s_1}^{(0)}, P_{s_2}^{(0)}, ..., P_{s_i}^{\langle 0\rangle}, ..., P_{s_n}^{(0)} \right\rangle \quad (2)$$

– вектор вероятностей состояний цепи на нулевом шаге;
$P_{s\langle n\rangle}^{k-1}$, $P_{s\langle n\rangle}^{(k)}$ – векторы вероятностей состояний цепи соответственно на (k-1)-м и k-м шагах;
$P_{[n,n]}$ – матрица переходных вероятностей (МПВ):

$$P_{[n,n]} = \begin{Vmatrix} p_{11} & \dots & p_{1j} & \dots & p_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ p_{i1} & \dots & p_{ij} & \dots & p_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ p_{n1} & \dots & p_{nj} & \dots & p_{nn} \end{Vmatrix}, \quad (3)$$

где $p_{i,j}$ – переходные вероятности КМЦ ($i, j = \overline{1,n}$), каждая из которых есть вероятность перехода процесса из i-го состояния в j-е за один шаг.

В практических приложениях теории КМЦ часто необходимо знать, как меняется вероятность того или иного состояния процесса в реальном масштабе времени. Если длительность шага переходов для всей цепи одинакова и равна $t_ш$, то время «блуждания» случайного процесса в течение k шагов будет равно

$$k = kt_ш. \quad (4)$$

Если имеет место неоднородность длительности шагов переходов по цепи, то задается матрица шагов переходов (МШП) [2], которая в дальнейшем будет использоваться при нахождении математического ожидания (МО) и дисперсии времени нахождения процесса в невозвратных состояниях.

$$\mathbf{T}_{[n,n]} = \begin{Vmatrix} t_{11} & \dots & t_{1j} & \dots & t_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_{i1} & \dots & t_{ij} & \dots & t_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ t_{n1} & \dots & t_{nj} & \dots & t_{nn} \end{Vmatrix}. \quad (5)$$

Данные характеристики марковского процесса обычно называют временными характеристиками (ВХ). Найдем ВХ процесса, изображенного на *рисунке 1*, для демонстрации основных принципов их расчета.

Следует отметить, что представленный на *рисунке 1* граф ПКМЦ, например, позволяет формализовать процесс доведения сообщения (пакета данных) по каналу связи с использованием алгоритма решающей обратной связи (РОС). При этом семантика состояний цепи следующая:

S_1 – отправитель осуществляет выдачу в канал связи сообщения длиной LC со скоростью VПС, что однозначно определяет длительность данного этапа информационного обмена

$$t_{ПС} = \frac{L_C}{V_{ПС}}. \quad (6)$$

S_2 – получатель, проверив контрольную сумму принятого сообщения, принимает решение о выдаче в обратный канал связи квитанции, подтверждающей достоверный прием переданного отправителем сообщения. Длительность данного этапа информационного обмена определяется выражением (7)

$$t_{ПКв} = \frac{L_{Кв}}{V_{ПКв}}, \quad (7)$$

где $L_{Кв}$ – длина квитанции в битах;
$L_{ПКв}$ – скорость передачи информации в обратном канале связи (бит/с).

S_3 – отправитель получил не искаженную помехами квитанцию и принимает решение о прекращении сеанса информационного обмена. Время пребывания рассматриваемого процесса в поглощающем состоянии неограниченно.

Исходя из изложенного, переходные вероятности (элементы МПВ) и соответствующие им длительности шагов (элементы МШП) находятся по выражениям (8)-(16):

$$p_{11} = 1 - (1 - p_{01})^{L_C}, \quad (8)$$

где p_{01} – вероятность искажения элементарного символа в прямом канале связи (отправитель-получатель);

$$p_{12} = (1 - p_{01})^{L_C}, \quad (9)$$

$$t_{11} = t_{ПС} + t_{ПКв}, \quad (10)$$

$$t_{12} = t_{ПС}, \quad (11)$$

$$p_{21} = 1 - (1 - p_{02})^{L_{Кв}}, \quad (12)$$

где p_{02} – вероятность искажения элементарного символа в обратном канале связи (получатель-отправитель);

$$p_{23} = (1 - p_{02})^{L_{Кв}}, \quad (13)$$

$$t_{21} = t_{23} = t_{ПКв}, \quad (14)$$

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

$$p_{33} = 1, \quad (15)$$

$$t_{33} = \infty. \quad (16)$$

Известно, что ВХ однородного конечного марковского процесса с поглощающими состояниями можно найти с использованием метода, приведенного в [2]. Однако данный метод не учитывает полную временную предысторию «блуждания» процесса из состояния S_i до попадания его в состояние S_j за n неоднородных по длительности шагов, что не позволяет объективно оценить среднюю длительность n-го шага по цепи.

В статье приведен новый метод анализа ВХ случайного процесса, описываемого ПКМЦ с неоднородными по длительности шагами переходов между состояниями цепи, свободный от указанного выше недостатка. Он включает в себя следующие основные этапы.

Этап 1. На каждом n-м шаге процесса находим по выражению (17) все возможные n-шаговые переходы из состояния Si в состояние Sj множества невозвратных состояний;

$$\mathbf{Q}_s^n = \mathbf{Q}_s^{n-1} \cdot \mathbf{Q}_s, \quad (17)$$

где $\mathbf{Q}_s$ – символьная переходная матрица для множества невозвратных состояний.

Этап 2. Оцениваем вероятностно-временные характеристики (ВВХ) полученных n-шаговых переходов из состояния S_i в состояние S_j множества невозвратных состояний по выражениям (18), (19) и запоминаем их (20).

$$\mathbf{P}(n) = \mathbf{P}(n-1) \cdot \mathbf{Q}, \quad (18)$$

где $\mathbf{Q}$ – переходная матрица для множества невозвратных состояний;

$\mathbf{P}(n-1)$ – матрица вероятностей n-шаговых переходов из состояния S_i в состояние S_j множества невозвратных состояний;

$\mathbf{P}(n-1) \cdot \mathbf{Q}$ – операция поэлементного умножения матрицы $\mathbf{P}(n-1)$ на матрицу $\mathbf{Q}$.

$$\mathbf{T}(n) = \left(\mathbf{T}(n-1) + \mathbf{P}(n-1) \cdot \mathbf{T}_\mathbf{Q}\right) \cdot \mathbf{Q}, \quad (19)$$

где $\mathbf{T}_\mathbf{Q}$ – матрица шагов переходов для множества невозвратных состояний;

$(\cdot)$ – операция поэлементного умножения матриц.

$$\mathbf{P}(n-1) = \mathbf{P}(n), \mathbf{T}(n-1) = \mathbf{T}(n). \quad (20)$$

Этап 3. Формируем матрицу $W(n)$ – матрицу средних длительностей n-го шага процесса при n-шаговом переходе из состояния S_i в состояние S_j по выражению (21).

$$\mathbf{W}(n) = \frac{1}{n} \left\| \sum_{i,j} \mathbf{T}_{ij}(n) \right\|. \quad (21)$$

Этап 4. Рассчитываем значения элементов модифицированной фундаментальной матрицы $\mathbf{N}_\mathbf{w}(n)$ по выражению (22).

$$\mathbf{N}_\mathbf{w}(n) = \mathbf{N}_\mathbf{w}(n-1) + \mathbf{W}(n) \cdot \quad (22)$$

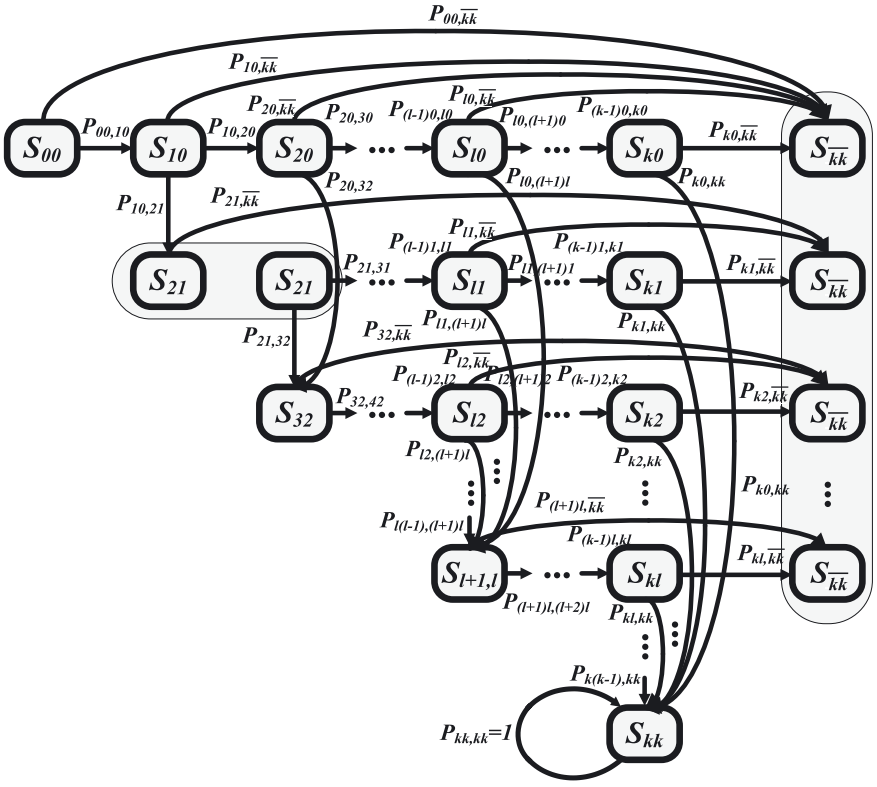


Рис. 2. Граф ПКМЦ процесса доведения k-сегментного окна по параллельному сетевому тракту в сети связи с ММП

Этап 5. Обеспечив заданную точность вычислений ε

$$\left|\boldsymbol{\tau}\left(t_{ij\max}\right)-\mathbf{S}_n\left(t_{ij\max}\right)\right|\le\varepsilon\Rightarrow n_\varepsilon, \quad (23)$$

где $\boldsymbol{\tau}\left(t_{ij\max}\right)$ – МО времени, проводимого процессом до попадания в поглощающее состояние, при одинаковых шагах переходов, равных по длительности максимальному значению МШП; $\mathbf{S}_n\left(t_{ij\max}\right)$ – частичная сумма ряда $\sum_{k=0}^{\infty}\mathbf{Q}^k\cdot t_{ij\max}$;

n_ε – количество анализируемых шагов переходов, обеспечивающих заданную точность вычислений ε.

Находим приближенное значение МО времени «блуждания» процесса в невозвратных состояниях по выражению (24).

$$\hat{M}[t]=\left\|\sum_j \mathbf{N}_{\mathrm{w}ij}\left(n_\varepsilon\right)\right\|. \quad (24)$$

Приближенное значение дисперсии времени «блуждания» процесса в невозвратных состояниях вычисляется с использованием полученных при расчете МО данных на основе выражения (25).

$$\hat{D}[t]=\hat{M}\left[t^2\right]-\hat{M}^2[t]. \quad (25)$$

Представленный метод также позволяет осуществить анализ ВХ процесса доведения *k*-сегментного TCP окна по параллельному сетевому тракту в сети связи с многомерной маршрутизацией пакетов (ММП) (*рисунок 2*). Особенностью данного процесса является наличие механизма, аналогичного РОС, рассмотренной на примере выше. Следовательно, в общем случае, шаги переходов по такой цепи неоднородны по длительности.

Таким образом, сформирована методологическая основа для анализа ВХ процессов информационного обмена в сетях передачи данных, в том числе и сетях связи с ММП, описываемых ПКМЦ с неоднородными по длительности шагами переходов между состояниями цепи.

Литература

1. Кемени Джон Дж., Снелл Дж.Л. Конечные цепи Маркова / Пер. с англ. С.А. Молчанова, Н.Б. Левиной, Я.А. Когана под ред. А.А. Юшкевича. М.: Наука, 1970. 272 с.

2. Цимбал В.А. Качество информационного обмена в сетях передачи данных. Марковский подход. Монография. Серпухов: СВИ РВ, 2009. 161 с.

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

УДК 62.50

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОМБИНИРОВАННОГО ТЕРМИНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ АНТЕННОЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ В КОСМИЧЕСКИХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Елена Юрьевна Пушкарёва
доктор технических наук, профессор
профессор кафедры
Филиал Военной академии РВСН
им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(4967)72-19-11 E-mail: calgon350@yandex.ru

Юрий Александрович Пушкарёв
Заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор
профессор кафедры
Филиал Военной академии РВСН
им. Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(4967)72-19-11 E-mail: calgon350@yandex.ru

Обоснована необходимость и структурная схема автоматической системы наведения антенны наземной радиотехнической станции (РТС) в заданную область пространства с учетом внешних возмущений. Методика терминального наведения основана на достижение третьей терминальной формы инвариантности и актуальна для систем автоматического управления антенной радиотехнической станции при вхождении её в радиосвязь с космическим аппаратом в ситуации ограничения времени передачи информации с целью исключения ее утечки.

The necessity and the block diagram of an automatic guidance system of ground-based radio station antenna (RTS) in a given region of space, taking into account external disturbances. Methods of terminal guidance is based on the achievement of the third terminal form invariance and relevant for automatic antenna control radio station when entering it in radio contact with the spacecraft in a situation of limited-time transmission of information in order to avoid leaking.

Ключевые слова: автоматическая система наведения, внешние возмущения, третья терминальная форма инвариантности, радиосвязь, космический аппарат, утечка информации.

Keywords: automatic guidance system, external disturbances, the third terminal form invariance, radio, spacecraft, information leaks.

Введение

В системах автоматического управления (САУ) различного рода динамическими объектами наряду с задачей воспроизведения полезного (задающего) воздействия возникает необходимость компенсации внешних возмущений на динамический объект управления и перевода его в заданную область пространства. Например, в системах управления антеннами радиотехнических станций слежения (РТС), применяемых в космических телекоммуникационных системах, такими возмущающими воздействиями являются ветровые нагрузки (при отсутствии радиопрозрачного укрытия антенны), качка платформы, на которых они установлены и т.д.

В условиях, когда время на передачу информации с космического аппарата (КА) на РТС ограничено (например, по причине ее перехвата и утечки) необходимо организовать синхронное управление движением антенны в точку встречи с КА за заданное (конечное) время управления с выполнением конечных условий по точности наведения. В этом случае вся система управления становится терминальной, и достижение конечных условий по точности наведения возможно только при условии устранения ошибки от внешних возмущений.

Целью статьи является разработка методических основ комбинированного терминального управления антенной радиотехнической стан-

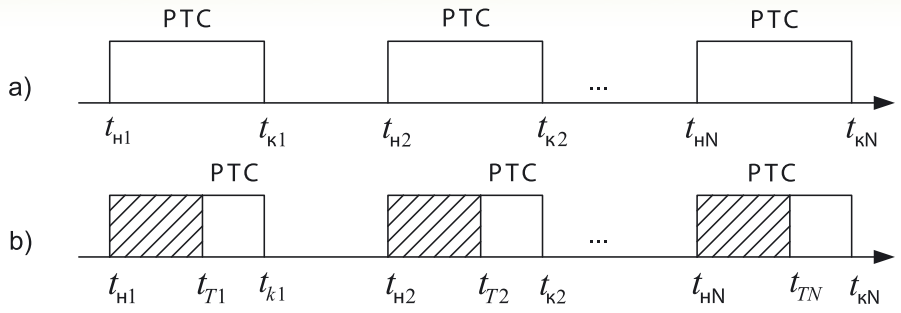


Рис. 1. К иллюстрации необходимости компенсации возмущений, действующих на антенну РТС, и ее терминального управления.

ции при наличии возмущающих воздействий в космических телекоммуникационных системах с защитой информации.

На *рисунке 1* показаны временные диаграммы, иллюстрирующие моменты времени включения и выключения бортовой аппаратуры КА на передачу информации приемной антенне наземной РТС.

Если местоположение КА по орбите характеризуется большими ошибками, то при фиксированной линейной скорости его движения по орбите требуется большее время его наблюдения наземной РТС ($t_{н1} \dots t_{к1}$ – первый сеанс связи, $t_{н2} \dots t_{к2}$ – второй сеанс связи, $t_{нN} \dots t_{кN}$ – N-й сеанс связи).

В этой ситуации бортовая аппаратура КА должна передавать информацию в течение всех промежутков времени ($t_{нi} \dots t_{кi}$, i=1…N), отведенных на сеансы связи. При этом наземная РТС включена, а ее антенна наводится в условную точку для приема информации (*рисунок 1a*).

Разумеется, что при большом времени передачи информации с КА на наземную РТС существует возможность ее утечки.

Для защиты передаваемой информации существуют разнообразные способы ее кодирования [1, 2, 3], в которых используются сложные циклические коды [2], псевдослучайные последовательности с использованием широкополосных сигналов [2] и различные виды ключевой информации для кодирования и смены кодов [1].

Однако при всех этих подходах необходимо осуществлять операции декодирования информации на наземных средствах ее приема, что усложняет аппаратуру.

Одним из подходов к защите передаваемой информации является уменьшение времени на ее передачу. Это вполне согласуется с [4, 5], где отмечается необходимость проведения организационно-технических мероприятий, направленных на скрытность и защищенность информации.

Добиться уменьшения времени передачи информации можно путем уменьшения ошибок положения КА по орбите за счет более эффективного использования бортовых и наземных навигационных средств, что приводит к уменьшению необходимого времени его наблюдения наземной РТС.

Это ситуация иллюстрируется на *рисунке 1b*. Здесь наземная РТС работает на участках времени, $t_{Tj} \dots t_{Kj}$, j=1…N. На первом терминальном участке антенна наводится с момента времени t_{T1} до конечного времени t_{K1}, на втором терминальном участке – с момента времени t_{T2} до конечного времени t_{K2} и т.д.

Учитывая наличие внешних воздействий на антенну наземной РТС, до начала терминального управления производится компенсация этих воздействий (участки времени $t_{Hj} \dots t_{Tj}$, j=1…N).

Такая организация терминального управления антенной наземной РТС в условиях внешних возмущений требует специальной структуры системы автоматического управления (САУ).

Обоснование структурной схемы автоматической системы наведения антенны РТС и методика компенсации внешних возмущений

Учитывая, что антенна управляется электроприводом (он же объект управления), целесообразно выбрать замкнутую систему управления (с ее преимуществами, в смысле точности). Сразу заметим, что управление производится в условиях отсутствия на борту КА приемо-ответчика, что делает невозможным режим слежения за КА.

Поэтому используется режим целеуказания (ЦУ) при котором задающее воздействие измеряемо и, следовательно, может быть реализован режим терминального комбинированного управления.

Будем также полагать, что внешнее возмущение тоже измеряемо.

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

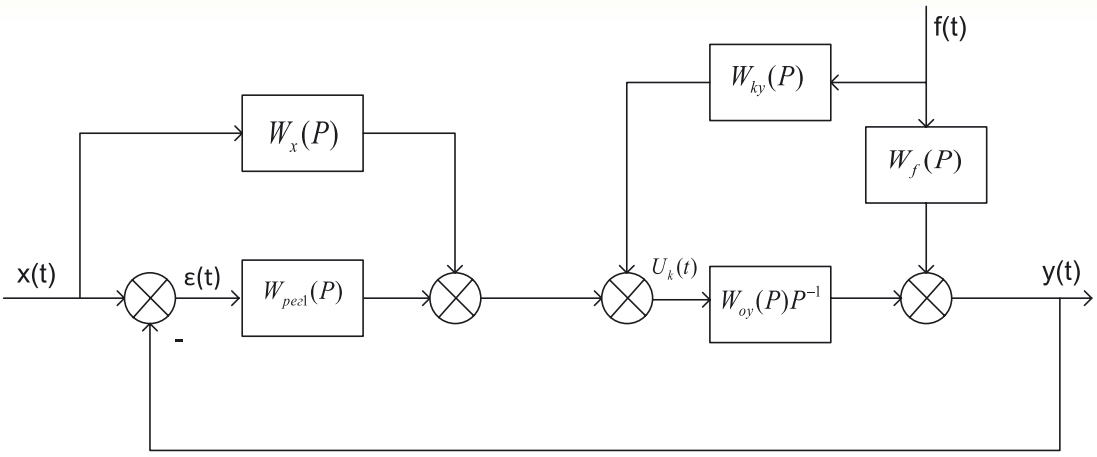


Рис. 2. Структурная схема комбинированной САУ с управлением по ошибке, возмущению и задающему воздействию

На *рисунке 2* представлена структурная схема комбинированной САУ, работающая по ошибке, задающему воздействию и возмущению.

На *рисунке 2* введены следующие обозначения:

$W_{рег1}(P)$ – передаточная функция (п.ф.) регулятора первого контура; $W_{oy}(P)P^{-1}$ – передаточная функция объекта управления, $W_f(P)$ – п.ф. связи возмущения $f(t)$ с управляемой величиной $y(t), \varepsilon(t)$ – ошибка системы; $W_x(P)$ – п.ф. по задающему воздействию; $W_{ky}(P)$ – п.ф. корректирующего устройства; $U_k(t)$ – комбинированное управляющее воздействие.

В качестве задающего воздействия при управлении электроприводом антенны в режиме программного слежения может использоваться как линейное задающее воздействие, так и постоянное воздействие.

При измеряемом внешнем возмущении $f(t)$ ошибка компенсации ε_f (ошибка на выходе комбинированной САУ в отсутствии входного воздействия $x(t)$) в соответствии с *рисунком 2* определяется следующим образом:

$$\varepsilon_f(t)=[W_f(p) - W_{ky}(p)\, W_{oy}(p)\, p^{-1}]\, f(t), \quad p=d/d_t. \qquad (1)$$

Если возмущение $f(t)$ является случайной функцией времени, то для его компенсации целесообразно использовать вторую форму достижения инвариантности, в соответствии с которой ошибка $\varepsilon_f(t)$ будет равна нулю, если оператор при возмущении $f(t)$ в выражении (1) равен нулю, т.е.

$$W_f(p)-W_{ky}(p)W_{oy}(p)p^{-1}=0 \;\Rightarrow W_{ky}(p)=W_f(p)/W_{oy}(p)p^{-1}. \qquad (2)$$

Если возмущение $f(t)$ является детерминированной функцией времени, то целесообразно использовать третью форму достижения инвариантности, в соответствии с которой ошибка (t) будет равна нулю, если произведение этого оператора на возмущение $f(t)$ равно нулю, т.е.

$$[W_f(p)-W_{ky}(p)W_{oy}(p)p^{-1}]\, f(t) = 0 \Rightarrow W_{ky}(p). \qquad (3)$$

При гармонических возмущениях (что имеет место при установках РТС на морских судах) методика их компенсации, использующая выражение (3), изложена в (7).

Наиболее сложными процедурами в данной задачи являются процедуры компенсации в соответствии с выражением (1) и реализациясамого терминального управления.

Методика синтеза терминальной системы управления движением объекта третьего порядка с учетом ограничений на управляющее воздействие

Методику синтеза терминальной системы управления антенной РТС, установленной на подвижном объекте, рассмотрим на конкретном примере.

Как уже отмечалось, при вхождении в связь с КА необходимо развернуть антенну наземной радиотехнической станции таким образом, чтобы в заданное время обеспечить ее выход в требуемую точку пространства с нулевой ошибкой. При этом вывод антенны осуществляется по программе по каждой из координатных плоскостей (азимутальной и угломестной).

При сокращенном времени передачи информации с борта КА на наземную РТС (*рисунок 1b*) необходимо в заданное время с заданной нулевой ошибкой (между направлением на КА и равносигнальным направлением диаграммы направленности) обеспечить перекрытие области возможного положения КА шириной диаграммы направленности антенны наземной РТС (по-

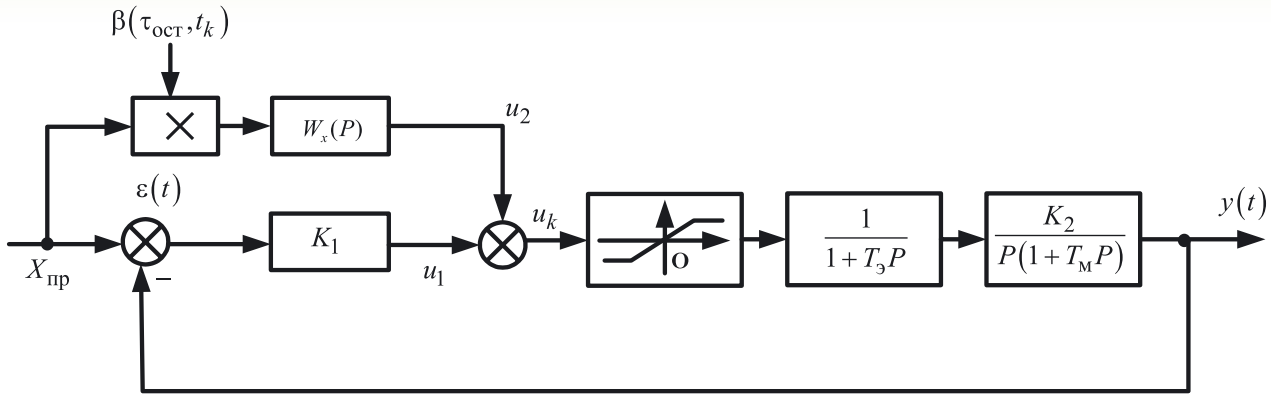


Рис. 3. Структурная схема системы управления движением антенны третьего порядка на основе электропривода

лагается, что ширина диаграммы направленности примерно соответствует угловому диапазону расположения КА на орбите).

Пусть структурная схема управления антенной на основе электропривода для осуществления связи с КА имеет вид, приведенный на *рисунке 3*.

Здесь $T_э$ и $T_м$ – электрическая и механическая постоянные времени электропривода; K_1 и K_2 – коэффициенты усиления измерительного и исполнительного устройств соответственно; $\beta(\tau_{ост}, t_k)$ – модулирующая функция, зависящая от оставшегося $\tau_{ост}$ и конечного t_k времен; $W_x(p)$ – передаточная функция связи по задающему воздействию (программное значение $X_{пр}$); комбинированное управление $U_к = U_1 + U_2$

Из структурной схемы имеем

$$W_1(p) = K_1 \quad , \qquad (4)$$

$$W_2(p) = \frac{K_2}{p(1+T_э(p))(1+T_м(p))} \quad . \qquad (5)$$

Задачу синтеза терминальной системы управления будем решать с использованием математических производных в передаточной функции $W_x(p)$.

В соответствии с методом терминального управления [6] положим

$$W_x(p) = b_{x0} + b_{x1}p + b_{x2}p^2. \qquad (6)$$

Тогда передаточная функция комбинированной САУ примет вид

$$W_к(p) = \frac{1 - W_x(p)W_2(p)}{1 + w_1(p)W_2(p)}. \qquad (7)$$

Подставляя выражение (4), (5) и (6) в (7), получим

$$W_к(p) = \frac{A_к(p)}{C_к(p)} = \frac{a_{к0} + a_{к1}p + a_{к2}p^2 + a_{к3}p^3}{c_{к0} + c_{к1}p + c_{к2}p^2 + c_{к3}p^3}, \qquad (8)$$

$$\begin{aligned} a_{к0} &= -K_2 b_{x0}, & c_{к0} &= K_1 K_2, & c_{к0} &= K_1 K_2 \\ a_{к1} &= (1 - K_2 b x_1), & & & c_{к1} &= 1, \\ a_{к2} &= (T_э + T_м - K_2 b x_2), & & & c_{к2} &= T_э + T_м, \\ a_{к3} &= T_э T_м, & c_{к3} &= T_э T_м. & c_{к3} &= T_э T_м. \end{aligned} \qquad (9)$$

Для проведения дальнейших расчетов необходимо выражение (8) преобразовать в соответствии с модифицированным преобразованием профессора В.Н. Бородовского:

$$p = p_\tau \frac{1}{\beta^2}, \quad \beta = \frac{t_к - t}{t_к}, \quad t_к - t = \tau_{ост}. \qquad (10)$$

Подставляя преобразование (10) в выражение (8) получим

$$W_к(\tau) = \frac{A_к(p_\tau)}{C_к(p_\tau)} = \frac{a_{к0}\beta^6 + a_{к1}p_\tau\beta^4 + a_{к2}p_\tau^2\beta^2 + a_{к3}p_\tau^3}{c_{к0}\beta^6 + c_{к1}p_\tau\beta^4 + c_{к2}p_\tau^2\beta^2 + c_{к3}p_\tau^3} \qquad (11)$$

Синтез параметров передаточной функции по задающему воздействию (выражение (4)) производится из условия достижения третьей формы инвариантности (крайние коэффициенты числителя передаточной функции (11)) не должны быть равны нулю, а средние коэффициенты – должны быть нулевыми :

$$\begin{aligned} a_{к0} \neq 0 &: b_{x0} = -\frac{a_{к0}}{K_2}, \\ a_{к1} = 0 &: b_{x1} = \frac{1}{K_2}, \\ a_{к2} = 0 &: b_{x2} = \frac{T_э - T_м}{K_2}, \\ a_{к3} \neq 0 &: T_э T_м \neq 0. \end{aligned} \qquad (12)$$

Как следует из *рисунка 3* передаточная функция $W_x(p)$ должна умножаться на входное воздействие $X_{пр}$.

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

Поэтому коэффициент $b_x = -a_{k0}/K_2$ должен умножаться на $X_0\beta^6$ (где $X_0 = X_{пр}$), коэффициент $b_{x1} = 1/K_2$ – на производную от $X_0\beta^4$, а коэффициент $b_{x2э} = (T_м + T_2)/K$ – на вторую производную от $X_0\beta^2$. По условию достижения третьей терминальной формы инвариантности коэффициент a_{k0} не должен равняться нулю и может в процессе настройки САУ назначаться, например, из условий качества переходного процесса (ограничение на перерегулирование).

Устойчивость определяется по характеристическому полиному, который имеет следующий вид:

$$C_К(P_\tau) = C_{к0}\beta^6 + C_{к1}\beta^4 P_\tau + C_{к2}\beta^2 P_\tau^2 + C_{к3}P_\tau^3, \quad (13)$$

где его коэффициенты определяются из выражения (9).

При положительно определенных коэффициентах требование устойчивости сводится к выполнению неравенства

$$K_1 < T_э + T_м \,/K_2 T_э T_м, \quad (14)$$

при этом все определители Гурвица данного полинома при уменьшении оставшегося времени $t_{ост}$ (т.е. $\beta \to 0$) также стремятся к нулю, что выводит систему на границу устойчивости. Этот факт является особенностью (в смысле устойчивости) терминальной системы.

Для проверки правильности теоретических расчётов проведено моделирование в среде визуального программирования «SIMULINK».

Были выставлены следующие параметры замкнутой системы (*рисунок 3*):
$T_э = 0{,}3$ с; $T_м = 0{,}7$ с; $K_2 = 0{,}3$ с$^{-1}$. При этом задающее воздействие $X_{пр} = 20°$, время управления $T = t_к = 10$ с. Коэффициенты b_{x1} и b_{x2} рассчитывались из выражения (9):

$$b_{x1} = \frac{1}{K_2} = 3{,}3 \text{ с}; \; b_{x2} = \frac{T_э + T_м}{K_2} = \frac{1}{K_2} = 3{,}3 \text{ с}.$$

Для расчета коэффициента b_{x0} коэффициент a_{x0} был задан 0,25 (исходя из величины перерегулирования). Тогда, в соответствии с выражением (9),

$$b_{x0} = -\frac{a_{x0}}{K_2} = -\frac{0{,}25}{0{,}3} = -0{,}83.$$

При отсутствии ограничения ошибка $\varepsilon_к$ в конечный момент времени $t_к$ равнялась нулю.

При введении ограничения по управлению, равного 33% от максимального управления $U_{кмакс}$ ошибка в конечный момент времени составила 5% от величины задающего воздействия. С дальнейшим увеличением ограничения ошибка в конечный момент времени управления возрастала.

Таким образом, представленная методология построения терминального комбинированного управления в условиях внешних воздействий вполне работоспособна и может быть использована в наземных РТС для наведения антенны на источник радиотехнической информации.

Литература

Смуров С.В., Нижниковский А.В., Коровин О.В. Организация ключевого пространства в беспроводных мобильных самоорганизующихся сетях // Известия института инженерной физики, 2012, №3(25). С. 9-14.

Зеленевский В.В., Зеленевский Ю.В., Наконечный Б.М. Статистический анализ двоичных циклических кодов при мягком декодировании их недвоичных представлений // Известия института инженерной физики, 2012, №2(24). С. 2-7.

Цимбал В.А., Дегтярёв В.Б., Богатырёв А.Н. Поиск псевдослучайных последовательностей для систем связи с широкополосными сигналами на основе иррациональных чисел и геномных последовательностей // Известия института инженерной физики, 2011, №1(19). С. 61-64.

Куприянов А.И., Шевцов В.В. Оптимизация мер по защите с учётом ценности информации // Известия института инженерной физики, 2012, №3(25). С. 2-6.

Шиманов С.Н. и др. Оптимизация длительности обслуживания трафика мультисервисной радиосети с динамическим выделением каналов по требованию // Известия Института инженерной физики, 2012, №3(25). С. 49-53.

Пушкарёв Ю.А., Родыгин В.А.Терминальный метод достижения инвариантности детерминированной системы управления движением объекта. М.: Наука. Изв. РАН. Теория и системы управления. 2009. №6. С. 12-18

Пушкарёва Е.Ю., Сергеева Н.А. Синтез регулятора системы автоматического управления антенной в режиме целеуказания на основе метода двухконтурных систем, эквивалентных комбинированным системам // Известия Института инженерной физики, 2012, №2(24). С. 22-26.

УДК 621

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОБЪЕКТА И СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА НЕИСПРАВНОСТЕЙ И РАЗРАБОТКИ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФИЗИКО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Сергей Григорьевич Данилюк
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

Александр Викторович Сидоров
заместитель главного конструктора
ФГУП ВНИИА
Адрес: 127055, г. Москва, Сущевская ул., д. 22
Тел.: +7(499)978-44-03

В статье обоснован подход к разработке математической модели взаимодействия объекта и средств контроля для информационно-аналитической системы анализа неисправностей и разработки диагностического обеспечения физико-энергетических установок.

The article substantiates approach to the development of mathematical model of the object and the controls for the information and analytical system fault analysis and the development of physical and diagnostic maintenance of power plants.

Ключевые слова: контрольно-измерительная аппаратура, физико-энергетическая установка, контроль работоспособности, моделирование неисправностей.

Keywords: test equipment, physical power plant, operability monitoring, fault simulation.

Введение

Процесс разработки физико-энергетической установки (ФЭУ) предусматривает создание средств контроля ее работоспособности и поиска неисправностей [2]. Контроль работоспособности ФЭУ на этапах изготовления и эксплуатации осуществляется с использованием специализированной контрольно-измерительной аппаратуры (СКИА). Контрольные программы ФЭУ создаются при помощи объектно-ориентированного языка содержательного программирования. Контрольные программы состоят из набора операций, определяющих выдачу на ФЭУ воздействий, измерение отклика на выданные воздействия и оценку состояния ФЭУ.

Для каждого типа ФЭУ требуется разработка и отладка ряда контрольных программ. Первый вариант текста контрольной программы разрабатывается по проектной документации к моменту изготовления образца ФЭУ в «железе», но, как показывает практика, он не обладает требуемыми диагностическими свойствами – способностью фиксировать неисправности, и требует длительной отладки. Отладка программы проводится с применением материальной части – требуются СКИА, опытный образец ФЭУ, специально разработанный комплект жгутов, обеспечивающий электрическую связь между СКИА и ФЭУ, а также оборудование, осуществляющее имитацию неисправностей.

Такой подход к отладке контрольной программы требует значительных материальных и временных затрат, однако он является необходимым ввиду специфики ФЭУ. Способом оптимизации процесса разработки и отладки контрольных программ является применение средств компьютерного моделирования, которое позволяет:

- ❖ сократить временные затраты как на отладку контрольных программ, так и на процесс разработки в целом;
- ❖ проводить разработку и отладку контрольных программ до момента изготовления ФЭУ в «железе»;

❖ вынести необходимость использования материальной части на этап тестирования программ проверки, тем самым исключив превышение норм на допустимый ресурс приборов, входящих в состав ФЭУ, и сократить материальные затраты;

❖ обеспечить более полную проверку диагностических свойств контрольной программы, расширив перечень имитируемых неисправностей за счет того, что имеется возможность имитировать неисправности внутри ФЭУ;

❖ проводить дополнительный анализ контрольных программ, например, на воспроизводимость и устойчивость.

С учетом вышеперечисленного актуальной задачей является создание системы моделирования процесса проверки ФЭУ контрольной программы, в рамках которой требуется разработка модели системы «ФЭУ–СКИА», состоящей из модели ФЭУ и модели СКИА.

Разработка модели объекта контроля

Прежде чем производить выбор способа и средств моделирования, надо четко определить исходные данные и цель – отправной пункт и место назначения. В существующем процессе контроля работоспособности ФЭУ, активным объектом является СКИА, посылающая воздействия на ФЭУ и оценивающая его состояние. ФЭУ является пассивной, сама по себе она не выдает воздействия на систему контроля. Поэтому при построении модели ФЭУ следует учитывать его реакцию на воздействия со стороны СКИА и отображать изменение состояния ФЭУ, так как он не обладает информацией о том, когда СКИА будет производить измерения.

Под изменением состояния понимается изменение множества стабильных значений переменных параметров ФЭУ [2, 4], например, изменение напряжения между двумя контактами разъема, переключение контакта реле и т.д. То есть состояние ФЭУ определяется состояниями всех элементов, входящих в его состав. На первый взгляд отображение изменения состояния всех элементов может показаться избыточным, например, отображение сопротивления выведенных на внешний соединитель цепей ФЭУ при замыкании/размыкании контакта, входящего в эти цепи. Хотя программой контроля может быть не предусмотрено измерение сопротивления этих цепей или измерение проводится только один раз. Но отображение состояния пригодится при создании отладчика моделей, оно делает структуру модели более понятной и приближенной к физической.

Модель любого устройства, входящего в ФЭУ, представляется в виде конечного автомата. Такое событийное представление поведения устройств ФЭУ позволяет выработать универсальный подход к разработке функции моделирования [5], которая является моделью поведения устройства.

Функция моделирования устройства F есть совокупность величин

$$F = \langle I, S, C, P, M \rangle, \qquad (1)$$

где I – множество внешних воздействий; S – множество состояний; C – множество переходов; P – множество физических параметров устройства; M – множество методов.

В первую очередь следует определить перечень внешних воздействий I, на которые должна соответствующим образом реагировать модель устройства. Перечень определяется в соответствии с методикой проверки. Целесообразным является введение ограничения действий разработчика контрольной программы путем введения алфавита допустимых внешних воздействий. На внешнее воздействие вне допустимого алфавита модель устройства должна генерировать предупреждение. В модели устройства следует определить буфер входных сигналов, в который записываются изменения сигналов в пределах допустимого алфавита.

Множество состояний S устройства определяется неоднозначно и зависит от того, насколько детально следует описывать функционирование устройства. Среди множества состояний выделяется начальное состояние и множество запрещенных состояний, при переходе в которые моделирование завершается с предупреждением. Запрещенные состояния моделируют недопустимые ситуации при функционировании устройства согласно соответствующей технической документации.

Удобным средством разработки и представления функции моделирования является диаграмма функционирования, пример которой для модели одного из устройств, входящих в состав ФЭУ, изображен на *рисунке* 1. Состояния на диаграмме изображены эллипсами. Зеленый эллипс представляет собой начальное состояние, красный – запрещенное. Переход модели устройства из одного состояния в другое происходит либо при выполнении соответствующих условий из набора условных переходов, изображаемых на диаграмме функционирования сплошными стрелками с подписанными условиями перехода, либо по истечении модельного времени нахождения устройства в текущем состоянии. Такие переходы изображаются пунктирными стрелками.

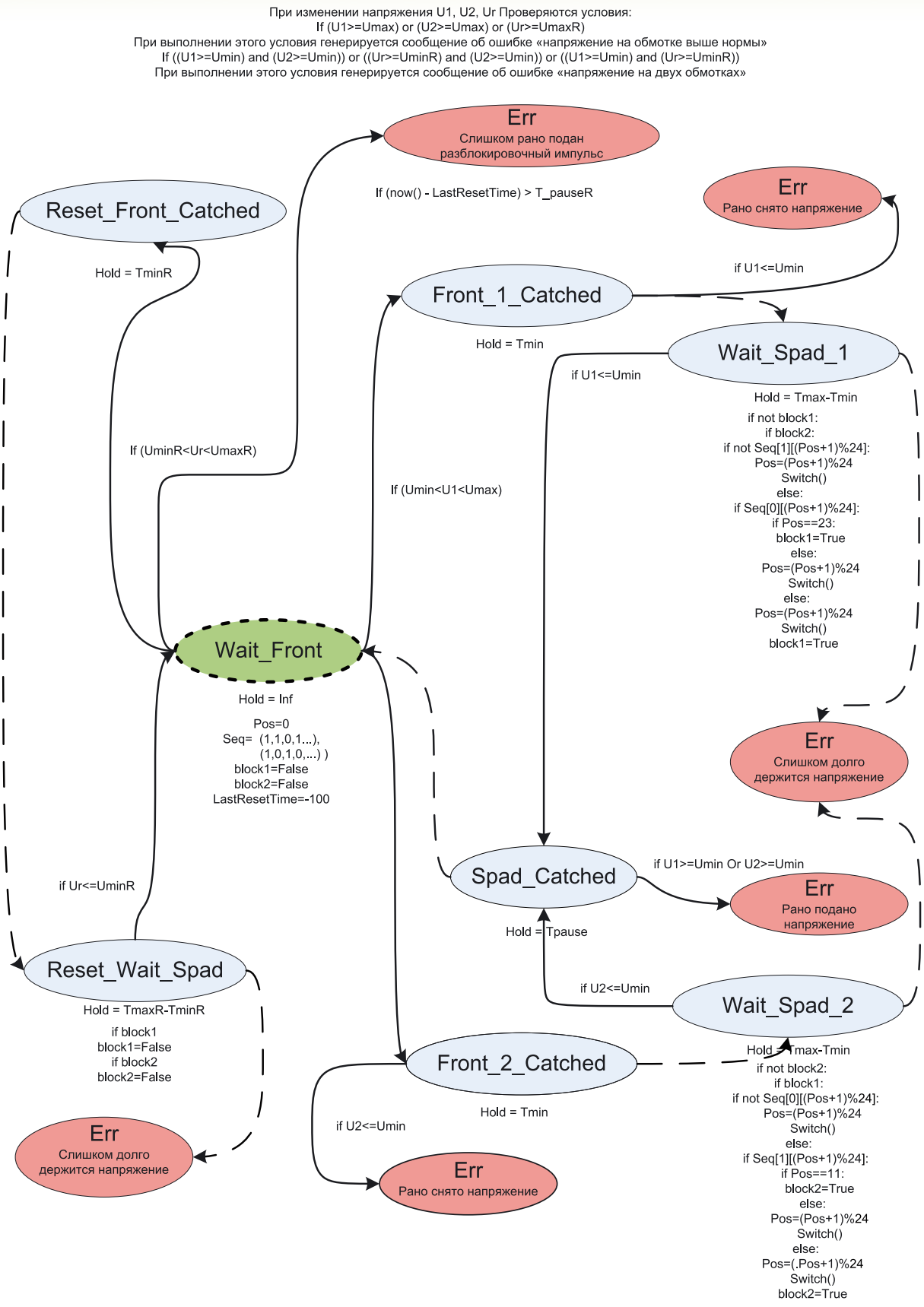


Рис. 1. Диаграмма функционирования устройства из состава ФЭУ

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

Множество физических параметров P устройства содержит численные значения физических параметров устройства, актуальных для разрабатываемой модели. Переход модели устройства из одного состояния в другое сопровождается действиями, определяемыми множеством методов M, например, переключение контактов. Предложенный подход к разработке функции моделирования позволяет быстро и эффективно реализовывать модели устройств в программном коде, так как состояниям и переходам соответствуют похожие конструкции языков программирования. Также существует возможность создания автоматизированного средства для генерации кода на основе разработки диаграмм функционирования. ФЭУ представляет собой набор большого количества устройств, связанных достаточно сложной системой электрических связей через разъемы в соответствии с электрической схемой. Причем событие, заключающееся в получении воздействия со стороны СКИА, влечет за собой выполнение некоторых условий, при которых происходят события, приводящие к изменению состояния какого-либо устройства. Изменение состояния какого-либо устройства влечет за собой событие, изменяющее состояние системы электрических связей, которое, в свою очередь, приводит к выполнению условий, при которых происходят события, изменяющие состояния других устройств. Все это происходит в дискретные моменты времени. Иными словами, воздействие со стороны СКИА влечет за собой цепную реакцию событий.

В силу приведенной специфики ФЭУ, для построения функциональных моделей наилучшим образом подходит дискретно-событийное моделирование [1]. При дискретно-событийном моделировании спецификация модели ставит в соответствие компонентам моделируемой системы (абонентам, клиентам и т. д.) процессы. В соответствие процессу ставится структура данных и программа действий (алгоритм, функция моделирования). В любой момент времени активен только один процесс, который исполняет свою функцию моделирования. Процесс использует как свои, так и чужие структуры данных, порождает другие процессы, планирует события, приостанавливает себя и другие процессы. Продвижение модельного времени до следующего запланированного события происходит тогда, когда все процессы исполнили свои функции моделирования. За счет такого отображения момента модельного времени на отрезок астрономического и достигается квазипараллелизм.

При формализации описания ФЭУ проводится декомпозиция до устройств, дальнейшая декомпозиция которых не имеет смысла (назовем такие устройства базовыми). Таким образом, структура ФЭУ подобна графу, каждый узел которого определяет базовое устройство. В соответствие узлу графа ставится активность (процесс), который может влиять на другие процессы и изменять свое состояние при анализе принятых воздействий по заданным функцией моделирования правилам.

Исходными данными, определяющими структуру графа, является информация, извлекаемая из электрической схемы объекта контроля. Так как модель ФЭУ при таком подходе реагирует только на внешние команды, посылаемые моделью СКИА, а моменты времени, в которые приходят команды, заранее неизвестны и определяются контрольной программой, то модель СКИА должна обеспечивать выдачу команд по определенному протоколу, который должен поддерживаться как моделью ФЭУ, так и моделью СКИА. С учетом того факта, что модель ФЭУ в схеме проверки является пассивной и в общем случае непостоянной, протокол общения должен быть предложен разработчиками модели СКИА.

Разработка модели объекта контроля

При рассмотрении средств разработки следует ограничиться только средствами, реализующими дискретно-событийный подход, так как не ставится задача моделирования сложных физических процессов.

Число существующих языков и систем моделирования превышает несколько сотен, и каждый новый язык моделирования есть не только средство, с помощью которого модель реализуется в виде готового продукта, но и способ описания окружающей действительности. Поэтому при выборе инструмента следует обращать внимание на его особенности, влияющие на свойства разрабатываемой модели. Среди такого широкого спектра компьютерных средств моделирования выделяются группы:

- ❖ системы, обладающие собственными языками моделирования;
- ❖ проблемно-ориентированные пакеты;
- ❖ библиотеки моделирования, разработанные под языки программирования общего назначения.

Избыточность, присущая современным системам моделирования, обусловлена широким кругом областей применения и выражается в большом количестве различных настроечных параметров. Тем самым исследование моделируемой системы сводится к выяснению реакции системы на всевозможные комбинации настро-

ек. Также применение систем моделирования требует от пользователей, на которых нацелена разработка конечного продукта, знания языка моделирования.

Благодаря развитию визуального программирования появились пакеты визуального моделирования, например, ARIS, BPsim.MSS (язык визуального моделирования UML), которые позволяют пользователю задавать описание моделируемой системы в естественной для прикладной области и преимущественно графической форме. В буквальном смысле, рисовать функциональную схему, размещать на ней блоки и соединять их связями, а также представлять результаты моделирования в наглядной форме, например, в виде диаграмм или анимационных картинок.

Одним из главных достоинств систем визуального моделирования является то, что они позволяют пользователю не заботиться о программной реализации модели, как о последовательности исполняемых операторов, что удобно для специалистов, не владеющих программированием. Образы можно перемещать, соединять и разъединять с помощью мыши. Кроме того, пользователь может видеть и оценивать результаты моделирования по ходу эксперимента и при необходимости активно в него вмешиваться. Программная реализация виртуального стенда скрыта от пользователя [3].

Специфика поставленной задачи заставляет отказаться от использования визуальных пакетов в «чистом» виде. Оптимальным выбором оказываются средства разработки, основанные на применении библиотек моделирования, спроектированных под высокоуровневые языки программирования общего назначения. Современные высокоуровневые языки позволяют разработчику определять структуру своего приложения, обеспечивая тем самым компромисс между гибкостью, простотой и функциональностью.

Практически, все современные высокоуровневые языки поддерживают парадигму объектно-ориентированного программирования (ООП), предполагающего поддержку классов и экземпляров блоков, а также наследования и полиморфизма. Класс определяет шаблон, в определении которого присутствуют только информация о типах и именах используемых переменных, но не об их значениях. Класс описывает все объекты данного типа.

При разработке собственного приложения следует учитывать сильные стороны вышеперечисленных систем – от визуальных пакетов следует взять простоту интерфейса пользователя, позволяющего пользователю сконцентрироваться на решении поставленной задачи; функциональность систем моделирования обеспечивает применение специальных библиотек моделирования, выступающих в роли «движка» для разрабатываемой системы. Тем самым разработчику моделей больше не приходиться самому заботиться о построении логики моделирования, продвижении модельного времени и т.д., сконцентрировавшись на наполнении библиотеки данными и построении графического пользовательского интерфейса.

Примерами таких библиотек служат C++Sim (базовый язык C++), SMPL/EML (базовый язык Pascal/Java) и SimPy (базовый язык Python).

Особенности построения имитационной модели с использованием современных высокоуровневых языков явились определяющими в случае создания модели «ФЭУ–СКИА» в силу ее высокой сложности, ответственности и узкой специфичности.

С учетом известных критериев выбора языка программирования для систем дискретного имитационного моделирования был сделан выбор в пользу библиотеки собственной разработки Sim# на языке C# платформы .NET. Библиотека Sim# использует те же принципы, что и SimPy, но так как C# является языком платформы .NET, открываются широкие возможности использования среды разработки VisualStudio при ее проектировании и сопровождении.

Обоснование интерфейса моделей объекта контроля и ЯСОП-операций

Моделирование проводится в рамках библиотеки моделирования Sim# на основе общей функционально-логической схемы интерфейса портов СКИА и ФЭУ. Библиотека управляет модельным временем, передавая фокус управления соответствующим процессам. Каждому процессу в соответствие ставится функция моделирования, которая выполняет требуемые действия. Управление процессу передается в тот модельный момент времени, в который возникает событие, состоящее в выполнении условия, заданного в функции моделирования этого процесса.

Условия привязываются к переменным типа WaitableValue. Некоторые из этих переменных являются общими как для модели СКИА, так и для модели ФЭУ. На основании анализа текста контрольной программы модель СКИА записывает в соответствующие переменные WaitableValue данные, зависящие от выполняемой операции. Эти данные становятся доступны модели ФЭУ, и генерируется событие, по появлению которого вызывается соответствующий

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

обработчик, который предпринимает определенные действия, заданные его функцией моделирования.

Модели операций контрольной программы должны иметь фильтр на входные параметры для случая, когда параметры операций задаются через идентификаторы. В этом случае транслятор не проверяет значения идентификаторов на допустимый диапазон. Тем самым система моделирования «оградит» разработчика от ряда случайных ошибок.

В случае обращения ЯСОП операции к цепи, которая не декларирована как допустимая, система моделирования должна фиксировать ошибку контрольной программы. Для выявления несоответствий в моделях СКИА и ФЭУ требуется организация протокола взаимодействия моделей, в котором фиксируется временная диаграмма контрольной программы и событий в интерфейсе. При выдаче воздействия модель СКИА устанавливает напряжение некоторой выходной цепи, на изменение которого реагирует модель ФЭУ и устанавливает соответствующие напряжения и сопротивления выходных цепей, которые могут быть прочитаны моделью СКИА. Если выданное воздействие является недопустимым для модели ФЭУ, то модель ФЭУ должна сообщать системе моделирования об ошибке контрольной программы.

Литература

1. Данилюк С.Г., Агарев В.А. Теоретико-множественный подход к описанию структуры мультисервисных сетей кабельного телевидения // Известия Института инженерной физики, 2007. №4. С. 23-25.

2. Данилюк С.Г., Форсов Г.Л. Обоснование подхода к управлению техническим состоянием сложных систем // Известия Института инженерной физики, 2007. №3. С. 29-32.

3. Курс математического моделирования [Электронный ресурс] // http://micro-earpiece.ru/ (дата обращения 07.04.2013).

4. Мякишев Г. Я. Общая структура фундаментальных физических теорий и понятие состояния. [Электронный ресурс] // http://www.philsci.univ. kiev.ua/biblio/mjakishev.html (дата обращения 06.04.2013).

5. Описание курса Windows Workflow Foundation 4.5 – Конечные автоматы (Мили и Мура) [Электронный ресурс] [2013] // http://edu.cbsystematics.com/ ru/courses/description/wwf-brief-course (дата обращения 06.04.2013).

УДК 621

ОБОСНОВАНИЕ ПОДХОДА К РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММ КОНТРОЛЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ И ПОИСКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ В ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УЗЛАХ И СИСТЕМАХ ФИЗИКО–ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕИСПРАВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ

Александр Викторович Сидоров
заместитель главного конструктора
ФГУП ВНИИА
Адрес: 127055, г. Москва, Сущевская ул., д. 22
Тел.: +7(499)978-44-03

Сергей Григорьевич Данилюк
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

Юрий Александрович Романенко
заслуженный деятель науки РФ
доктор технических наук, профессор
заместитель главы администрации г. Протвино
начальник управления образования и науки
Адрес: 142280, Московская обл.,
г. Протвино, ул. Ленина, д. 5
Тел.: +7(4967)74-97-40

Создание и внедрение сложных технических систем, к которым относятся современные физико-энергетические установки, тесно связано с развитием контрольно-испытательных систем. Необходимость решения задач проверки работоспособности и диагностирования ФЭУ на различных этапах их жизненного цикла определяет актуальность разработки соответствующего диагностического обеспечения. В статье обоснован подход к решению задачи разработки специализированного диагностического обеспечения и специализированной контрольно-испытательной аппаратуры, в рамках которой оно может быть реализовано.

Creation and implementation of complex technical systems (modern physical and power plants) is closely linked with the development of control and test systems. The need to solve problems of testing work petitiveness and diagnosis of modern physical and power plants at different stages of their life cycle determines the relevance of the development of appropriate diagnostic ensuring. In the article the approach to the task of developing a specialized diagnostic software and specialized control and test equipment, under which it can be implemented.

Ключевые слова: контрольно-измерительная аппаратура, физико-энергетическая установка, контроль работоспособности, моделирование неисправностей.

Keywords: test equipment, physical power plant, operability monitoring, fault simulation.

Для получения достаточного объема диагностической информации при разработке диагностического обеспечения сложного объекта диагностирования необходимо [1, 3, 4]:

❖ определение объекта диагностирования как отдельного технического объекта, изучение его структуры и режимов функционирования;

❖ построение математической модели объекта диагностирования;

❖ создание алгоритма и расчетной программы, в которой реализуется математическая модель объекта диагностирования;

❖ подготовка персонального компьютера, как одного из блоков будущей системы диа-

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

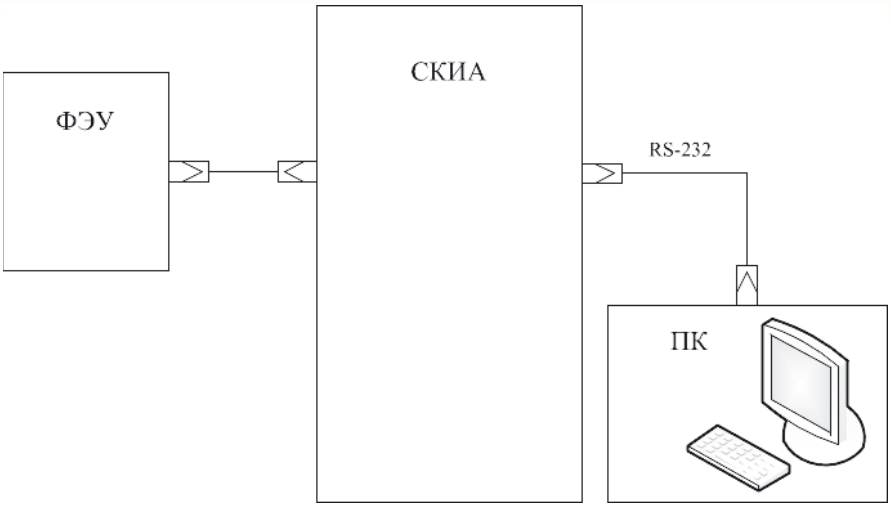


Рис. 1. Состав АРМ для разработки контрольных программ проверки ФЭУ

гностирования с необходимым системным программным обеспечением и расчетной программой;

❖ проведение необходимого объема расчетов с использованием математической модели объекта диагностирования;

❖ определение наиболее информативных параметров процесса для включения их в число непосредственно измеряемых при диагностировании;

❖ создание диагностической модели объекта, связывающей введенные диагностические признаки объекта с тем же количеством измеряемых параметров процесса, обеспечивающих однозначную идентификацию этих диагностических параметров; создание расчетной программы для диагностической модели объекта.

Создание и внедрение сложных технических систем, к которым относятся современные ФЭУ, тесно связано с развитием контрольно-испытательных систем. Необходимость решения задач проверки работоспособности и диагностирования ФЭУ на различных этапах их жизненного цикла определяет актуальность разработки соответствующего диагностического обеспечения [5]. В соответствии с [2] диагностическое обеспечение представляет собой «комплекс взаимоувязанных правил, методов, алгоритмов и средств, необходимых для осуществления диагностирования на всех этапах жизненного цикла объекта». Понимание особой важности отмеченных задач для обеспечения надежности и качества ФЭУ определяет необходимость разработки специализированного диагностического обеспечения и специализированной контрольно-измерительной аппаратуры (СКИА), в рамках которой оно может быть реализовано.

Потребность в СКИА обусловлена следующим:

1) спецификой объектов контроля, объединяющих в себе технические устройства, работающие на различных физических принципах и обладающие в ряде случаев уникальными техническими характеристиками;

2) необходимостью обеспечения высоких показателей достоверности контроля (диагностирования);

3) необходимостью сокращения времени и трудоемкости контроля (диагностирования);

4) требованием по снижению объема испытательной аппаратуры в эксплуатации.

Необходимость соответствия структуры аппаратуры контроля структуре проверяемых объектов и задачам, определяемым условиями их эксплуатации, предопределила непрерывность процесса совершенствования диагностического обеспечения ФЭУ в целом и СКИА как его системного воплощения.

Традиционный подход к разработке диагностического обеспечения ФЭУ реализован на базе персонального компьютера и СКИА в виде технологического автоматизированного рабочего места (АРМ) программиста. В рамках такой интегрированной среды разработки программист имел возможность:

1) разрабатывать (редактировать) программу контроля (диагностирования) на проблемно-ориентированном уровне;

2) получать разрабатываемую программу контроля (диагностирования) пригодную для загрузки в СКИА;

3) осуществлять исполнение программы в режиме моделирования без физического объекта контроля (ОК) и с ОК;

4) получать сопутствующую информацию и документацию.

При этом процесс отработки каждой программы проверки ФЭУ условно делился на отладку программы проверки ФЭУ и оценку полноты ее проверки. Отладка программ проверки осуществляется с использованием АРМ, в состав которого включен персональный компьютер, соединенный с СКИА по последовательному интерфейсу RS232. Персональный компьютер содержит интегрированную среду разработки программ проверки ФЭУ, включающую в себя редактор исходных текстов, транслятор и отладчик. Состав рабочего места показан на *рисунке 1*.

Оценка полноты проверки разработанной программы в рамках сложившегося подхода к разработке диагностического обеспечения ФЭУ производится вручную. Для решения этой задачи используются физическое внесение неисправностей в реальный ОК, т.е. в ФЭУ, а также замена предельных допустимых значений параметров в самой программе.

Необходимо отметить, что описанный выше подход весьма трудоемок в реализации. Сложность физического моделирования неисправностей в реальной ФЭУ приводит к тому, что имитировать все диагностические ситуации не удается.

По экспертной оценке разработчиков процесс отладки контрольной программы для ФЭУ занимает около четырех недель. Особенно затратным по времени является этап подтверждения диагностических свойств контрольной программы, т.е. ее способности фиксировать неисправности ФЭУ. При этом необходимо подчеркнуть существенные ограничения по возможности моделирования и исследования диагностических ситуаций с использованием в качестве физической модели реального ОК. Без изменения параметров операций исследуемой контрольной программы единственным способом введения неисправности является разрыв или введение ложных связей на входах и/или выходах ОК. Из регламентированного списка неисправностей удается таким способом реализовать не более 10% за длительный период интенсивной работы. Еще одним недостатком такого подхода является превышение норм на допустимый ресурс функциональных узлов и составных частей ОК.

Таким образом, отмеченному выше подходу присущи явные негативные стороны, такие как:

1) невозможность проводить отладку контрольных программ и выявлять при этом ошибки в схеме ФЭУ на «ранних этапах» проектирования (до изготовления образца);

2) невозможность отладки программ на сколь угодно большом числе рабочих мест разработчика (ограниченное количество экземпляров СКИА);

3) сложность, а в некоторых случаях невозможность физического моделирования неисправностей, обусловленная схемно-конструктивными особенностями ФЭУ и СКИА, что не позволяет достичь требуемой глубины и полноты диагностирования;

4) существенные временные затраты и расход ресурса дорогостоящих составных частей ФЭУ при многократных «прогонах» контрольной программы.

Ограниченность возможностей экспериментального исследования сложных систем делает актуальной разработку методики их моделирования, которая позволила бы в соответствующей форме представлять процессы функционирования систем, описание протекания этих процессов с помощью математических моделей, получение результатов экспериментов с моделями по оценке характеристик исследуемых объектов. Часто только с помощью моделирования могут быть получены ответы на целый ряд вопросов, возникающих на различных этапах проектирования и испытаний системы. Выбор метода моделирования и необходимая детализация моделей существенно зависят от этапа разработки сложной системы

Одним из наиболее эффективных средств является имитационное моделирование. Дополнительным фактором, определяющим перспективность моделирования как метода исследования характеристик процесса функционирования сложных систем, является повышение быстродействия и оперативной памяти ЭВМ, а также развитие математического и алгоритмического обеспечения. Однако внедрение математического моделирования в процессе проектирования ФЭУ сдерживается трудностями построения моделей исследуемых систем. Построение математических моделей сложной системы представляет собой весьма трудоемкий процесс и требует высокой квалификации, в том числе и в области программирования от разработчиков ФЭУ.

Приведенное выше в полной мере относится к разработке образцов современных ФЭУ. Решение вопросов, возникающих при создании и эксплуатации ФЭУ, связанных с оценкой эффективности принятых схемно-конструктивных решений, исследованиями и проверкой правильности функционирования во всех режимах, требованиями диагностики отказов, контролем работоспособности и т.д., является весьма трудной

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

задачей. Именно поэтому особое внимание уделяется поиску и развитию средств, позволяющих повысить эффективность и качество разработки схем ФЭУ.

К числу задач, которые целесообразно решать при разработке ФЭУ на основе математического моделирования, относятся:

1) проверка работоспособности ФЭУ в диапазонах воздействия внешних воздействующих факторов (температура, механика, радиация и т.д.), действующих как пофакторно, так и комплексно;

2) моделирование и исследование неисправных состояний ФЭУ с целью выявления диагностических признаков, позволяющих в последующем выявлять причины отказа ФЭУ в эксплуатации;

3) формирование множества неисправностей ФЭУ, обеспечивающего достаточную глубину и полноту диагностирования для каждого из этапов жизненного цикла;

4) исследование влияния физических факторов, обусловленных срабатыванием отдельных функциональных узлов ФЭУ при реализации программы проверки работоспособности, на правильное функционирование КИА, а также телеметрической аппаратуры;

5) формирование диагностического обеспечения ФЭУ в виде комплекса взаимоувязанных правил, методов, алгоритмов и средств, необходимых для осуществления диагностирования на всех этапах жизненного цикла объекта.

Таким образом, можно обоснованно констатировать необходимость решения задачи разработки моделей неисправных модификаций комплекса КИА–ФЭУ и алгоритмов исследования их диагностических свойств, и анализа диагностической информации.

Литература

1. Основы технической диагностики. В 2-х книгах. Кн. 1. Модели объектов, методы и алгоритмы диагноза / В.В. Карибский, П.П. Пархоменко, Е.С. Согомонян и др.; под ред. П.П. Пархоменко. М.: Энергия, 1976. 464 с.

2. ГОСТ 20911–1989 Техническая диагностика. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1990. 13 с.

3. Панкин А.М. Построение автоматизированных систем диагностирования технических объектов. – ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=4013

4. Данилюк С.Г., Форсов Г.Л. Экспликация задачи адаптивного управления техническим состоянием сложных технических систем // Известия Института инженерной физики, 2007, №4. С. 31-33.

5. Данилюк С.Г., Звягинцев О.А., Форсов Г.Л., Якимов Д.А. Вероятностно-лингвистическая диагностическая модель: расширение возможностей // Известия Института инженерной физики, 2012. №1. С. 46-50.

УДК 001.891.53

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ РОТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

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

Денис Евгеньевич Сорокин
начальник отдела –
заместитель начальника Управления
Департамента вооружения МО РФ

В статье рассматриваются перспективные направления развития двигателей внутреннего сгорания, в частности, роторных двигателей. На основе обзора существующего опыта роторного двигателестроения опроведена оценка основных направлений повышения ресурса и энергоэффективности роторных двигателей. Рассмотрены перспективы создания и применения многотопливных роторных двигателей различной мощности на базе единой унифицированной секции.

The article discusses perspectives for the development of internal combustion engines, in particular, the rotary engine. Based on a review of existing experience rotary engine assessed the main ways of increasing resource and energy efficiency rotary engines. The prospects for the development and application of multi-fuel rotary engines of various capacities on the basis of a single unified section.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, многотоплиный двигатель, роторный двигатель, дизельный роторный двигатель, эксплуатационно-технические характеристики, смесеобразование.

Keywords: internal combustion engine, multipropellant engine, diesel rotary engine, operating and technical characteristics, mixing.

Подавляющее большинство подвижных объектов транспортных систем в качестве источника энергии используют тепловую энергию сгорания углеводородного топлива, преобразуемую в механическую посредством двигателей внутреннего сгорания. Наибольшее распространение получили поршневые двигатели, которые прошли длительный путь развития и достигли высокой степени совершенства.

Принято считать, что история поршневого двигателя насчитывает около 140 лет, однако при этом не учитывается почти двухвековой опыт использования поршневой и кривошипно-шатунной схемы превращения тепловой энергии расширяющегося пара в механическую. Созданию поршневого двигателя предшествовал богатейший опыт отработки конструкций, технологий и материалов цилиндропоршневой группы, кривошипно-шатунного механизма, механизма газораспределения, систем и материалов смазки.

Современные поршневые двигатели достигли предельных значений показателей удельной мощности, экономичности и экологичности. Они, в основном, исчерпали возможности дальнейшего совершенствования. Наряду с недостатками поршневых двигателей это привело к необходимости частичной или, в некоторых случаях, полной их замене более совершенными и перспективными типами двигателей.

На всем протяжении истории развития поршневого двигателя не прекращались попытки создания альтернативных схем превращения тепловой энергии в механическую. С развитием технологий на смену поршневому двигателю приходят другие схемы преобразования тепловой энергии сгорания углеводородного топлива в механическую. В некоторых областях поршневую схему с достаточно высокой эффективностью заменили газотурбинные и реактивные двигатели, которые также имеют свои особенности и ограничения сфер применения.

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

Одной из наиболее жизнеспособных схем является схема роторного двигателя, реализованная на основе планетарного вращения многогранного ротора внутри статора с пертахоидной формой внутренней поверхности. На сегодняшний день наибольшее распространение получила схема с трехгранным ротором и двухэпитрахоидным статором. Общепризнанными авторами этого двигателя считаются германские конструкторы Ф. Ванкель и В. Фройде. Двигатели этой схемы в настоящее время называются роторными. В литературе встречается и более раннее название – «роторно-поршневые двигатели». Хотя, именно отсутствие поршней, в привычном понимании этого слова, отличает этот двигатель от традиционных поршневых. В настоящее время под **роторным двигателем** подразумевается схема с трехгранным ротором, двухэпитрахоидным статором и передаточным отношением направляющих шестерен 2 к 3.

Роторные двигатели за свою недолгую историю, (около 50-ти лет) получили широкое распространение.

В настоящее время роторный двигатель является наиболее значимым конкурентом традиционных поршневых двигателей. Однако несмотря на неоспоримые преимущества роторной схемы в автомобилестроении на сегодняшний день основным производителем автомобилей с роторным двигателем является японская компания Mazda. Стоит отметить, что в 60-е годы прошлого века ежегодные продажи автомобилей с роторным двигателем ряда зарубежных и отечественных производителей исчислялись сотнями тысяч.

Причины столь сдержанного распространения роторных двигателей в современном автомобилестроении, видимо, выходят за рамки чисто технических и технологических преимуществ этого двигателя. Стремление получить быстрый экономический эффект от внедрения роторного двигателя в автомобильной промышленности не было подкреплено глубокими научными исследованиями. Широкое внедрение роторного двигателя потребовало больших экономических вложений, коренной перестройки всех сложившихся производственных потоков. Кроме того, переход на роторный двигатель потребовало бы списания в убыток колоссальных и далеко еще не возмещенных вложений в технологию традиционных поршневых двигателей.

Тем не менее, инженерные разработки подтвердили возможность выпуска и применения роторного двигателя, имеющего ряд крайне привлекательных свойств по сравнению с традиционным поршневым, уже почти достигшим своего совершенства, а следовательно, и своего потолка.

Судя по активизации, прослеживаемой в последнее время в публикациях, выставках, рекламе, патентной активности, роторный двигатель вступает в период нового всплеска интереса к нему.

Приближение современных поршневых двигателей к пределам своего совершенствования в большей степени актуализирует задачу поиска новых схем преобразования тепловой энергии сгорания углеводородного топлива в механическую.

Рассмотрение роторной схемы в данном контексте актуально по ряду причин. В отличие от ряда относительно новых предлагаемых схем, альтернативных поршневому двигателю, роторный двигатель уже прошел ряд начальных эволюционных стадий и в настоящее время подтвердил свою жизнеспособность.

Роторные двигатели обладают рядом существенных достоинств: плотность компоновки, небольшая удельная масса и габариты, возможность создания унифицированных мощностных рядов за счет наращивания однотипных секций. Детальное рассмотрение всех достоинств роторного двигателя может выйти за рамки настоящей статьи. Однако наряду с достоинствами роторному двигателю присущи и недостатки: как общие для всех современных двигателей внутреннего сгорания, так и сугубо индивидуальные, связанные с особенностями данной схемы. Большая часть этих недостатков была присуща роторным двигателям ранних моделей и в настоящее время существует в основном в виде устоявшихся стереотипов. Другая часть недостатков, в той или иной степени препятствующая роторному двигателю получить более широкое распространение, может быть устранена в ближайшее время. Варианты направлений исследований, призванных улучшить характеристик роторных двигателей, представлены на *рисунке 1*.

Долговечность роторных двигателей до настоящего времени была несколько ниже поршневых. В настоящее время этот недостаток в большей степени относится к устоявшимся стереотипам. Результаты проведенных за последние десятилетия в этом направлении исследований позволили уравнять ресурсные характеристики роторных двигателей с поршневыми. Причем это было достигнуто при использовании традиционных «поршневых» технологий, благодаря в основном соответствующему подбору материалов и конструктивных усовершенствований систем уплотнения камеры сгорания.

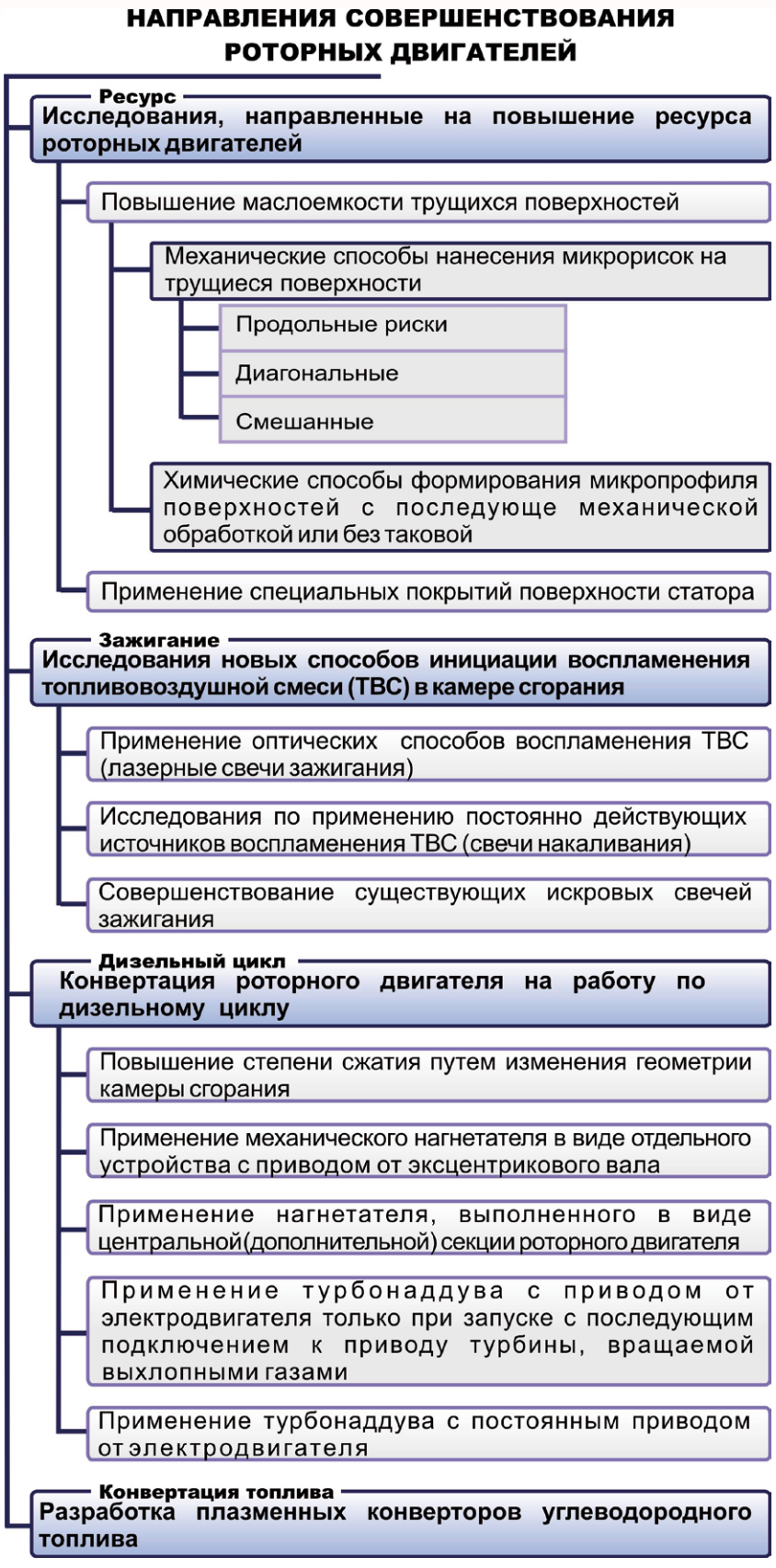


Рис. 1. Направления совершенствования роторных двигателей

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

Известны несколько подходов к организации смазки основных трущихся поверхностей роторного двигателя. Как минимум два из них четко сформировались в 70-х годах в отечественном двигателестроении. Смазка и охлаждение вращающегося ротора может осуществляться топливовоздушной смесью с маслом по аналогии смазки в двухтактных поршневых двигателях. Такой подход успешно использовался на роторных двигателях, разрабатываемых в г. Серпухове (ВНИИ МП). На большинстве моделей роторных двигателей, разрабатываемых в г. Тольятти (АвтоВАЗ, СКБ РПД) охлаждение ротора и смазка подшипников осуществляются маслом, а смазка радиальных уплотнений осуществляется через отверстия в верхней части статора посредством масляного насоса и лубрикатора.

Существенное влияние на ресурс может оказать такое свойство трущихся поверхностей как маслоемкость. Повышение маслоемкости поверхности может быть достигнуто, как нанесением микрорисок механическим способом, так и различными химическими способами травления металла. Возможности обоих способов далеко не исчерпаны, что позволяет сделать вывод об актуальности дальнейших исследований по совершенствованию (существующих и поиск новых) технологий производства роторных двигателей.

Кроме того, в настоящее время ведется активный поиск технологий нанесения на поверхность или выращивания в структуре металла керамических покрытий.

Еще одна проблема, с которой пришлось столкнуться при эксплуатации отечественных автомобилей с роторным двигателем, – это образование токопроводящей нагарной пленки на изоляторах свечей зажигания. В основном это связано с условиями эксплуатации автомобильной техники и нестабильным качеством топлива. В настоящее время прорабатывается, в том числе и в Институте инженерной физики, ряд направлений решения этой проблемы.

Поиск новых и совершенствование существующих способов инициации воспламенения топливовоздушной смеси в камере сгорания роторного двигателя является актуальной задачей, так как форма камеры сгорания роторного двигателя с точки зрения процессов горения является далеко не оптимальной.

К перспективным направлениям исследований по совершенствованию способов инициации воспламенения топливовоздушной смеси в камере сгорания роторного двигателя относятся:

- ❑ применение лазерных свечей зажигания;
- ❑ применение свечей накаливания;
- ❑ организация процесса воспламенения от сжатия и непосредственного впрыска топлива (работа дизельному циклу).

Лазерные свечи зажигания. Замена традиционных искровых свечей зажигания на устройства, использующие другие физические принципы воспламенения топливовоздушной смеси, например, лазерные, позволит исключить возникновение токопроводящей нагарной пленки на изоляторах. Кроме того, использование лазера позволяет при помощи фокусировки организовать точку начала распространения фронта пламени в любой области камеры сгорания, например, в точке, наиболее близкой к центру.

Свечи накаливания. Особенности конструкции роторного двигателя в настоящее время еще не до конца реализованы. Каждая из трех рабочих полостей, в которой последовательно проходят фазы четырехтактного цикла в роторном двигателе не только изменяет свой объем, но движутся по кольцу вдоль стенок статора. Такая особенность позволяет изменить подход к управлению моментом начала воспламенения. А именно: разместить постоянно нагретую свечу накаливания в точке, к которой камера сгорания переместится в момент, когда необходимо воспламенить подготовленную топливовоздушную смесь. Для реализации данного технического решения требуется дальнейшая исследовательская работа по оптимизации расположения такой свечи и разработка способов регулировки угла опережения зажигания в зависимости от оборотов двигателя.

Дизельный роторный двигатель. Процесс воспламенения от сжатия в роторном двигателе может быть организован повышением степени сжатия за счет кардинального изменения его геометрии. Однако и без того далеко не оптимальная серповидная форма камеры сгорания может стать еще тоньше. Кроме того, пересмотр существующей, отлаженной и хорошо работающей геометрии роторного двигателя повлечет увеличение нагрузки на эксцентриковый вал. При разработке мощностного ряда, включающего в себя роторные двигатели более четырех секций для эксцентрикового вала, могут потребоваться новые, более прочные материалы. Для этого потребуются новые технологии, что приведет к удорожанию производства и сведет на нет часть наиболее ярких преимуществ роторного двигателя.

В связи с этим рассматриваются ***два основных направления.***

Первое направление. Использование турбонаддува с приводом от электродвигателя при запуске с последующим подключением (или без такового) к приводу турбины, вращаемой выхлопными газами по известной классической схеме.

Второе направление. Использование механического нагнетателя дополнительной порции воздушного заряда в камеру сгорания роторного двигателя с приводом от эксцентрикового вала.

Основная цель разработки предлагаемых способов механического наддува для роторного двигателя – это повышение степени сжатия до уровня современных дизельных двигателей с целью обеспечения возможности работы роторного двигателя и на дизельном топливе, в том числе без существенного изменения геометрии стандартной роторной секции. Одна из схем механического наддува камеры сгорания роторного двигателя защищена патентом на изобретение №2416727 «Дизельный роторный двигатель внутреннего сгорания». Дальнейшим развитием этого направления является схема трехсекционного роторного дизеля, средняя секция которого используется в качестве механического нагнетателя. Передняя и задняя секции являются рабочими. Средняя секция выполняет функцию нагнетателя для обеих рабочих секций.

Актуальность разработки данного направления обусловлена возможностью расширения областей использования как дизельных, так и бензиновых роторных двигателей. При дальнейшей разработке открываются перспективы создания роторных двигателей, работающих на нетрадиционных видах топлива, например, на монотопливах или при иных сочетаниях топлива и окислителя.

Литература

1. C 1 2334883 RU F 02 B 55/16, F 02 M 27/04. Многотопливный роторный двигатель / Еремин Б.Г., Мартынов С.В., Назаров А.В., Ситников А.П., Царьков А.Н. (МОУ ИИФ РФ №2007101474/06; Заявл. 17.01.2007 // Изобретения (Заявки и патенты). 2008. №27.

2. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей // Под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. – М.: 1985. – 375 с.

3. Патент на изобретение C2 2416727 RU «Дизельный роторный двигатель внутреннего сгорания» / Еремин Б.Г., Мартынов С.В., Ситников А.П., Царьков А.Н.

УДК 001.891.53

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОТОПЛИВНЫХ РОТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА НОВЫХ ВИДАХ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

Денис Евгеньевич Сорокин
начальник отдела –
заместитель начальника Управления
Департамента вооружения МО РФ

В статье рассмотрены перспективы использования роторных двигателей на новых видах вооружения и военной техники. Обосновывается актуальность разработки мощностных рядов роторных двигателей на базе единой унифицированной секции. Рассматриваются пути создания многотопливного роторного двигателя и роторного двигателя работающего по дизельному циклу.

The article considers the prospects of using of rotary engines for new types of weapons and military equipment. Actuality development cardinality series rotary engines based on a single, unified section. The ways of creating multi-fuel rotary engine and rotary engine running on diesel cycle.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, многотоплиный двигатель, роторный двигатель, дизельный роторный двигатель, эксплуатационно–технические характеристики, смесеобразование.

Keywords: internal combustion engine, multipropellant engine, diesel rotary engine, operating and technical characteristics, mixing.

Современный уровень развития вооруженных сил РФ и тенденции развития вооружения и военной техники как в России, так и за рубежом свидетельствуют, что степень использования электронных устройств, вычислительных средств, систем связи, систем радиолокационного и электронноoптического наблюдения с каждым годом возрастает. Прослеживается увеличение внедрения автономных систем при выполнении самых разнообразных боевых задач. И круг таких задач неуклонно растет. Например, БПЛА получили широкое распространение в различных видах войск. В недалеком будущем прогнозируется появление и наземных систем, выполняющих различные задачи (*рисунок 1*). Целесообразность применения БПЛА в составе ПГРК на сегодняшний день однозначно определить пока сложно, но другие вышеперечисленные системы несомненно будут внедряться.

Каждый объект военного назначения, в том числе и входящий в состав вышеперечисленных систем является потребителем энергии и, следовательно, нуждается в ее источнике. Во многих случаях эту задачу решают накопители энергии, т.е. аккумуляторные батареи. Однако целесообразность их применения прежде всего определяется количеством энергии, необходимой для выполнения той или иной задачи, и временем автономной работы.

При увеличении количества энергии, необходимой для выполнения определенной задачи, до некоторых пределов встает вопрос об использовании других источников энергии. Учитывая тот факт, что по соотношению массы и энергоемкости даже самые совершенные, (а следовательно и очень дорогие) на сегодняшний день аккумуляторы уступают углеводородным топливам более чем на два (!) порядка. Получается, выбор однозначен. Например, по энергоемкости 1 кг бензина равен около 200 кг аккумуляторных батарей. Ресурс аккумуляторов тоже небезграничен – порядка нескольких тысяч циклов разряда-заряда. При этом далеко не всегда есть необходимость применять привод через дополнительный генератор.

Двигатель внутреннего сгорания может быть напрямую или через редуктор (коробку выбора передач, гидронасос) подключен непосред-

Рис. 1. Проекты перспективных подвижных автономных объектов военного и двойного назначения

ственно к потребителю, в качестве которого могут использоваться различные механические исполнительные устройства, гидравлические насосы и компрессоры воздуха и других газов. Исходя из вышесказанного, определен термин «универсальный силовой привод», т.е. двигатель внутреннего сгорания рассматривается не только как привод электоргенератора, а гораздо шире. Сдерживанию повсеместного внедрения двигателей внутреннего сгорания в качестве универсальных силовых приводов способствует высокая стоимость разработки и организации производства нового типа двигателя с требуемыми, в каждом отдельном случае, мощностными характеристиками.

В настоящее время в качестве основных и вспомогательных энергетических установок транспортных систем, приводов разнообразных агрегатов и механизмов, малогабаритных источников электроэнергии в большом диапазоне мощностей и назначений наибольшее распространение получили поршневые двигатели внутреннего сгорания. Однако наличие сложного механизма газораспределения, большого количества движущихся, а, следовательно, точных в изготовлении деталей, дороговизна разработки и организации производства определяет тенденцию к укрупнению, и, соответственно, удорожанию поршневых двигателей внутреннего сгорания, используемых в качестве источника энергии. Разработка нового поршневого двигателя требуемой мощности под каждую конкретную задачу требует значительных средств и времени. В мирное время на гражданских объектах более целесообразно использовать дешевую электроэнергию из сети или при необходимости использовать один крупный источник электроэнергии, например, подвижную или стационарную дизельную электростанцию, и от нее питать множество различных потребителей.

При использовании двигателей внутреннего сгорания в качестве универсальных силовых приводов в вооруженных силах эта тенденция имеет ряд негативных моментов, главным из которых является резкое снижение живучести объектов вооружения и военной техники. С точки зрения использования одного крупного источника энергии для ряда потребителей, находящихся, например, на полевой позиции, в условиях воздействия противника, вероятность выполнения задачи каждым из потребителей становится равной живучести этого источника энергии; в рассматриваемом примере – той же дизельной электростанции. В связи с современными тенденциями внедрения робототехнических систем в системы охраны и обороны

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

военных объектов задача разработки для них независимых источников становится еще более актуальной.

Выбор именно роторной схемы двигателя внутреннего сгорания для решения поставленной задачи определяется возможностью создания унифицированных мощностных рядов за счет наращивания дополнительных однотипных секций. Возможно создание мощностного ряда с соотношением мощности от 1:1 до 1:5. При этом унифицированные детали ряда составляют 85-90%. Отсюда следует, что создание односекционного роторного двигателя влечет за собой возможность в создания ряда двигателей с мощностью, превышающей его от двух до пяти раз.

В настоящей статье под *роторным двигателем* понимается планетарный двигатель с соотношением направляющих шестерен 2 к 3, включающий в себя трехгранный ротор, двухэпитрахоидный статор и эксцентриковый вал.

Роторные двигатели по сравнению с существующими поршневыми двигателями одного мощностного диапазона обладают рядом существенных достоинств; детальное рассмотрение каждого из них может выйти за рамки настоящей статьи.

Роторный двигатель имеет плотную компоновку. Небольшая удельная масса и габариты выгодно отличают его от традиционной поршневой схемы. Следует отметить основную особенность роторного двигателя: нетребовательность к свойствам топлива, а именно – к октановому числу бензина. Эта особенность позволила рассматривать в свое время роторный двигатель в качестве силовой установки на подводных самодвижущихся автономных объектах военного назначения, работающих на нетрадиционных для ДВС видах топлива. Кроме того, особенность роторной схемы позволяет создавать двигатель внутреннего сгорания сверхмалых размеров (несколько десятков миллиметров) на основе современных технологий трехмерной печати. Вопрос о целесообразности создания таких двигателей пока остается открытым, однако публикации по этой теме существуют.

Экспериментальные исследования, проведенные в лаборатории НИЦ МОУ «ИИФ» на отечественных серийных роторных двигателях новой адаптивной системы плазмо-электрохимического управления процессами подготовки топливовоздушной смеси и горения топлива в камере сгорания, позволяют сделать вывод о возможности работы роторного двигателя на различных жидких видах моторного топлива, включая керосин и дизельное топливо. Основное направление этих работ – улучшение основных характеристик двигателей внутреннего сгорания путем совершенствования внутрикамерных процессов. Совершенствование внутрикамерных процессов может быть направлено как на повышение энергоэффективности двигателей при используемых в настоящее время видах топлива, так и на создания устройств для расширения диапазона физико-химических свойств видов топлива, используемых на одном и том же двигателе. Одним из направлений проводимых работ является разработка универсального силового привода на базе мощностного ряда многотопливных роторных двигателей с адаптивной плазмохимической системой конверсии углеводородных видов топлива. В настоящее время проводятся исследования возможности создания роторного двигателя, полностью работающего по дизельному циклу с механическим нагнетателем воздуха.

Использование многотопливных двигателей в качестве основных и вспомогательных силовых приводов в РВСН стимулируется многими причинами. При наличии многотопливных двигателей степень использования продуктов переработки сырой нефти возрастает с 0,5 для обычных двигателей до 0,7. Использование многотопливных двигателей придает большую автономность и независимость действия частям и подразделениям войск. Особую актуальность свойство многотопливности универсальных силовых приводов приобретает в частях и подразделениях мобильных грунтовых ракетных комплексов.

В первую очередь это касается создания независимых (резервных или аварийных источников энергии) для наземных, в том числе и мобильных, систем радиолокационного, электронноптического наблюдения, систем связи, и т.п., работающих в труднодоступных районах. Свойство многотопливности рассматриваемого типа двигателей может значительно повысить надежность и бесперебойность электроснабжения этих потребителей. В отношении аварийных источников энергии многотопливность рассматриваемого типа двигателей в значительной степени повышает вероятность бесперебойного электроснабжения, так как современные моторные виды топлива при длительном хранении могут изменять свои свойства. Кроме того, возможность создания мощностного ряда на базе единой унифицированной секции позволяет подобрать требуемый источник энергии для широкого спектра задач, при этом значительно снизить затраты при разработке и производстве этих источников.

В отличии от классического четырехтактного

поршневого двигателя, эффективность которого очень зависит от стабильности характеристик топлива, роторный обладает свойством многотопливности. Известны исследования, ведущиеся в настоящее время в области конвертации роторного двигателя на работе на нетрадиционных видах топлива (например биотопливо). Свойства этих видов топлива значительно отличаются от традиционных.

С точки зрения применения многотопливных роторных двигателей на объектах военного назначения интересны направления, связанные с решением проблемы повышенной вязкости топлива. Так, дизельное топливо при низких температурах приобретает повышенную вязкость, что может повлиять на показатели надежности холодного пуска двигателя, а это, в свою очередь, негативно скажется на боеготовности.

Анализ проблем, возникающих при использовании обычного дизельного топлива в условиях низких температур в системах топливоподачи, показал, что требуется более детальная проработка отдельных элементов этих систем. Прежде всего, это касается систем смесеобразования топливовоздушной смеси в камере сгорания двигателя.

Многочисленные исследования свидетельствуют о значительном влиянии физических свойств топлива на процесс смесеобразования. Известно, что в условиях низких температур дизельное топливо имеет значительно более высокую вязкость по сравнению с традиционным дизельным топливом. На характеристики смесеобразования наибольшее влияние оказывает именно вязкость топлива.

В связи с этим в лаборатории НИЦ МОУ «ИИФ» разрабатываются способы интенсификации смесеобразования на основе оригинального взаиморасположения отверстий распылителя дизельной форсунки, позволяющих использовать в качестве топлива жидкости с вязкостью, аналогичной вязкости растительных масел.

Исследования, проведенные в лаборатории НИЦ МОУ «ИИФ», позволяют сделать вывод о возможности разработки многотопливных роторных двигателей различной мощности на базе единой унифицированной секции.

Литература

1. Гаврилов Б.Г. Химизм предпламенных процессов в двигателях. Ленинград: ЛГУ им. Жданова, 1970. 183 с.

2. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей / Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. М.: 1985. 375 с.

3. Колчин А.И., Демидов В.П. Расчет автомобильных и тракторных двигателей. М.: Высшая школа. 1980. 400 с.

4. Кругов В.И. Автоматическое регулирование и управление двигателей внутреннего сгорания. М.: 1998. – 415 с.

5. Назаров А.В. Устройство для управления воспламенением топливо-воздушной смеси в двигателях внутреннего сгорания. М.: 2002. Деп. в ЦВНИ МО РФ 15.01.02, №В4881.

6. Ямпольский Ю.П. Элементарные реакции и механизм пиролиза углеводородов. М.: Химия, 1990. 300 с.

7. С 1 2334883 RU F 02 B 55/16, F 02 M 27/04. Многотопливный роторный двигатель / Еремин Б.Г., Мартынов С.В., Назаров А.В., Ситников А.П., Царьков А.Н. (МОУ ИИФ РФ № 2007101474/06; Заявл. 17.01.2007 // Изобретения (Заявки и патенты). 2008. №27.

8. U1 87472 RU F 02 M 27/04. Устройство для обработки топлива двигателя внутреннего сгорания / Еремин Б.Г., Мартынов С.В., Назаров А.В., Потураев С.Е., Ситников А.П., Царьков А.Н. (МОУ ИИФ РФ № 2009121158/22; Заявл. 04.06.2009 // Изобретения (Заявки и патенты). 2009. №28.

9. U1 75432 RU F 02 M 27/00. Устройство для приготовления топливно-воздушной смеси для двигателя внутреннего сгорания / Литвинов Р.С., Потураев С.Е., СВИ РВ РФ № 2007134677/22; Заявл. 17.09.2007 // Изобретения (Заявки и патенты). 2007.

УДК 008

ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ СИСТЕМЫ СОЦИАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ВОЕННОСЛУЖАЩИХ, УВОЛЬНЯЕМЫХ ИЗ РЯДОВ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ

Алевтина Валентиновна Иващенко
младший научный сотрудник 3-й ЛНИ
филиал Военной академии РВСН
имени Петра Великого (г. Серпухов)
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов,
ул. Бригадная, д. 17
Тел.: +7(4967)78-96-53; +7(916)580-2954
E-mail: avi05@yandex.ru

В статье рассматриваются вопросы совершенствования системы социальной поддержки военнослужащих, увольняемых в запас. В частности, выделены аспекты применения новых форм социальной работы с использованием современных инновационных технологий.

In the article are considered questions of system improvement of social support of military people, fired in the spare. In particular, chosen aspects of using the new forms of social work with use modern innovations technologies.

Ключевые слова: адаптация уволенных военнослужащих, инновационные формы социальной работы, современные информационные системы и технологии.

Keywords: adaptation of dismissed military people, forms of social work, modern information systems and technologies.

Произошедшие за последнее десятилетие изменения в политической системе и в экономической ситуации в России затронули такую важную государственную структуру, как Вооруженные силы. Новые условия привели к необходимости реформирования и сокращению численного состава ВС, что порождает острую социальную проблему, связанную с адаптацией граждан, уволенных с военной службы, к новым условиям жизни и деятельности. В этой связи возникает необходимость поиска новых методов и форм социальной поддержки увольняемых военнослужащих, т.к. ранее разработанные общепринятые методы в новых рыночных условиях практически перестали работать.

Необходимо отметить, что новые формы социальной работы с военнослужащими, увольняемыми из рядов ВС РФ, начали формироваться лишь недавно. Создание такой работы на основе концептуальных моделей, реализованных в информационной системе, и построенной с использованием современных информационных технологий может стать инструментарием при решении государственных программ социальной защиты военнослужащих, граждан, уволенных с военной службы, и членов их семей. Исследования, проводимые Центром социологических исследований Министерства обороны, показывают, что военнослужащие, использующие инновационные методы, уже до увольнения готовы перейти к гражданской жизни и определяют дальнейшие действия. Хотелось бы акцентировать внимание на том, что использование таких методов особенно актуально в отдаленных воинских частях и местах компактного проживания военнослужащих.

Инновационная функция социальной сферы заключается в обеспечении соответствия реформационных процессов нуждам общества и каждого его члена в отдельности, а также во внедрении социальных инноваций, что обеспечит успешное продвижение реформ и их позитивную направленность. Внедрению инновационных технологий в систему социальной поддержки способствует развитие информационных технологий и систем телекоммуникаций [2]. Единая информационная система должна решать задачи анализа и прогнозирования, работать как автономно, так и во взаимодействии с другими информационными системами соцзащиты

населения, военных комиссариатов, центров занятости и других служб.

Для воплощения в конкретный результат инновационная функция социальной сферы должна обеспечиваться следующими ресурсами [1]:

• информационные – одни из важнейших ресурсов современного общества. Обеспеченность им включает равное распределение информации между субъектами процесса, доступность информации для субъектов всех уровней, релевантность информации, возможность своевременного обновления информации. Недостаток информационного ресурса приводит к неадекватной реакции субъектов инновационного процесса на нововведение, прерывистости инновационного процесса, искажению результатов инновации;

• организационные ресурсы определяют четкость распределения функций, полномочий и обязанностей между субъектами инновационного процесса, преемственность различных его стадий и уровней. Недостаток данного ресурса негативно влияет на эффективность выполнения различных стадий инновационного процесса и, как следствие, на нарушение всего процесса;

• человеческие ресурсы определяют качество выполнения отдельных операций. Обеспеченность человеческим ресурсом определяется квалификацией субъектов и исполнителей инновационного процесса, их количественной достаточностью. Спецификой социальной сферы является часто большое количество субъектов-потребителей вводимого блага и крайний недостаток субъектов-новаторов и субъектов-исполнителей;

• финансовые ресурсы во многом влияют на обеспеченность инновационного процесса другими ресурсами. В социальной сфере остро стоит проблема эффективного распределения и использования финансов из-за непрозрачности финансовых потоков и бесприбыльности отечественной социальной сферы;

• инновационный потенциал – ресурс, который сам по себе не может быть определен, но выявляется в соотношении с другими ресурсами. Именно он определяет возможности для дальнейшего развития в инновационном направлении, степень противодействия инновации, адаптивные возможности инновации в современной российской действительности весьма высок.

Для совершенствования структуры и системы социальной поддержки военнослужащих, увольняемых с военной службы, предлагается следующее.

1. Развитие системы и структуры социальной поддержки за счет привлечения мобильных центров социальной поддержки и центров обучения и переподготовки, и с их помощью приближения всей работы по социальной поддержке к местам компактного проживания военнослужащих, граждан, уволенных с военной службы, и членов их семей и других слоев населения отдаленных районов. Важнейшим элементом работы системы станет единое интегрированное информационное обеспечение, единая информационная среда органов социальной поддержки (Управления социальной защиты населения, Центра занятости населения, Военного комиссариата и др.), которое может использоваться непосредственно в удаленных территориях [3].

Мобильный центр социальной поддержки (МЦСП) представляет собой автобус, оборудованный необходимой оргтехникой, мобильной системой Интернет и рабочими местами для специалистов Военного комиссариата, Центра занятости, Управлений социальной защиты, Центров социальной адаптации, которые будут периодически участвовать в днях социального обслуживания непосредственно в гарнизонах и других территориальных образованиях.

В действующей модели МЦСП могут решаться следующие задачи.

По направлению работы центров занятости:

• перерегистрация безработных граждан (по месту жительства); • информирование населения о состоянии рынка труда в регионе, вакансиях на предприятиях региона (наличие вакансий); • профориентационное тестирование различных категорий граждан с целью определения профессиональных интересов; • психологическое тестирование граждан с целью оценки их профессиональной пригодности к деятельности в той или иной профессии (специальности); • профессиональное консультирование граждан по выбору профессии (специальности) и мест работы; • профессиональное консультирование граждан по выбору учебных мест.

По направлениям работы Военных комиссариатов:

• вопросы пенсионного обеспечения уволенных военнослужащих, членов их семей; • получения необходимых справок и документов, лечебно-профилактических мероприятий; • получение юридической консультации и др.

По направлениям Центров социальной адаптации:

• координация работы всех заинтересованных структур по социальной поддержке бывших кадровых военнослужащих и членов их семей; • оказание помощи по защите прав, законных интересов своих членов в органах государственной власти, местного самоуправления, об-

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

щественных объединениях и учреждениях; • содействие в организации трудоустройства; • поддержка в решении вопросов реабилитационных и лечебно-профилактических мероприятий; • решение вопросов жилья, учета и распределения жилой площади и др.

Кроме оказания информационной поддержки, в мобильном центре обратившиеся могут получить необходимые справки или сделают заявку для решения более сложных вопросов с последующим оформлением необходимых документов и привлечением для их разрешения других структур.

2. Использование непрерывной системы дополнительного профессионального образования (профессиональная переподготовка и повышение квалификации) различных контингентов слушателей: военнослужащих, уволенных в запас, и членов их семей, государственных и муниципальных служащих и работников муниципальных предприятий, студентов старших курсов, предпринимателей, специалистов сферы малого бизнеса, безработных граждан и незанятого населения [3].

Для организации этой работы Министерством обороны РФ осуществлялась ведомственная целевая программа на 2009-2011 годы «Реализация социальных гарантий военнослужащим, увольняемым с военной службы», целью которой является обеспечение необходимых предпосылок для эффективной адаптации военнослужащих, увольняемых с военной службы, к условиям гражданской жизни. В ходе реализации этой программы создано специальное структурное подразделение Межрегиональный Центр дистанционного обучения. В Центре организованна информационно-образовательная среда дистанционного обучения (ДО), которая включает комплекс программно-аппаратных и телекоммуникационных средств и учебно-методических материалов, позволяющих организовать открытое общедоступное дистанционное обучение в локальной компьютерной сети.

Данная форма работы, как пилотажный проект, уже несколько лет успешно используется в ГБУ СО МО «Областной центр социальной адаптации военнослужащих, граждан, уволенных с военной службы, и членов их семей» (г. Ногинск), которое осуществляет свою деятельность на территории Московской области. В своей работе Центр широко применяет инновационные технологии, такие как дистанционное обучение с использованием информационных и телекоммуникационных технологий. Это стало возможным благодаря тесному сотрудничеству с Московской академией государственного и муниципального управления, которая входит в образовательную систему Российской академии государственной службы при Президенте РФ.

Успешность новых форм работы подтверждена данными социологических опросов, проводимых Центром (в частности филиалом в г. Серпухове), в удаленных войсковых частях и местах компактного проживания военнослужащих. Из 176 респондентов 57,8% отдают предпочтение дистанционной форме обучения. Из них 19,2% наряду с военной специальностью уже имеют гражданскую, но хотели бы освоить новую профессию, востребованную на современном рынке труда.

Данные опросов и уже имеющийся опыт работы Мобильных центров и систем ДО подтверждают необходимость дальнейшего развития и внедрения во все регионы РФ новых форм работы в системе социальной поддержки с использованием инновационной информационной системы. Не имея единого информационного пространства, невозможно оперативно поднимать и решать проблемы увольняемых военнослужащих, членов их семей отдаленных районов и снижать социальную напряженность.

В заключении необходимо отметить, что использование инновационных технологий поможет:

• повысить эффективность всей системы социальной поддержки, обеспечивающей информационно-методическое, юридическое и материальное обеспечение военнослужащих, граждан, уволенных с военной службы, членов их семей за счет проведения адресной работы в отдаленных местах и гарнизонах; • организовать комплексную систему заблаговременной подготовки военнослужащих, увольняемых с военной службы, к действиям на рынке труда, подбору необходимой профессии с учетом опыта и индивидуальных качеств, а также вовлечения их в активную трудовую деятельность; • организовать взаимодействие социальной работы различных структур в единой информационной среде и выработать общие стратегии и технологии работы по совершенствованию социальной поддержки.

Литература

1. Дудченко В.С. Инновационная технология / Учебно-методическое пособие. М., 2006. 63 с.

2. Закиров М.И. Об инновационной информационной системе управления социально-экономическими процессами // Независимое военное обозрение, 2010. №15. С 4-5.

3. Социальная адаптация и социальная защита военнослужащих, граждан, уволенных с военной службы, и членов их семей в Московской области / Информационный бюллетень. Ногинск, 2008. 95 с.

УДК 65.014

ИНТЕГРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И СИСТЕМНЫЕ МЕХАНИЗМЫ СОЦИАЛЬНОГО КОМПЛЕМЕНТИРОВАНИЯ

Валерий Николаевич Умников
заслуженный деятель науки и образования РАЕН
доктор технических наук, профессор
ведущий научный сотрудник ИИФ
Адрес: 142210, Московская обл.,
г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.: +7(4967)35-31-93

Выполнен анализ движения проблем социального комплементирования. Рассмотрены аспекты возникновения, сохранения и потери целостности социальных систем. Описаны метод, меры и механизмы развития социального комплементирования.

The analysis of the movement of social complementarity problems. Considered aspects of the emergence, development and losses of integrity of the social systems. Described the method, measures and mechanisms for the development of social complementarity.

Ключевые слова: системы, целостность, сложность, эмерджентность, социальная комплементность, метод, меры и механизмы развития социального комплементирования.

Keywords: : systems, integrity, complexity, emergence, social complement, method, measures and mechanisms for the development of social complementarity.

Введение

В предыдущих статьях, посвященных актуальным вопросам строительства системы гражданского общества России [1, 2] было показано, что именно полная и совершенная интегрирующая системная доорганизация нации – главный рычаг для необходимых конструктивных преобразований всех сторон жизни в стране. *Великий Социальный Синтез* [4] все очевиднее как генеральная социальная тенденция синэргирования системных отношений двух базовых сфер каждой нации – *гражданского общества* и *государства*. При этом становится более понятным, почему *социал-комплементаризм* этих отношений определяет нацию будущего как в совершенстве системно и комплементно организованный народ [4-8].

Движение проблем социального комплементирования

Общая *Интегрология* [3] занимается движением целостности систем как их главного качества, останавливаясь на общих принципах и эвристиках, не вскрывая все его детальные механизмы. *Социальная интегрология* [5] призвана и вынуждена ответственно исследовать более полную картину системного движения, обращая внимание на возможно более глубокие и тонкие причины изменений. Происходящие на наших глазах слабо контролируемые, часто совершенно не управляемые, динамичные разрушительные социальные явления в большинстве случаев связаны с проблемой недостаточной территориальной и мировой связности возникающих общественных образований, технологий и процессов, недоразвитой общей системности.

Разумно движущаяся интеграция *порождает* созидательную системность, дает ее продукт – *эмерджентность* (новое качество, способность получения чего-то дополнительного к исходным возможностям собственно набора элементов и связей, образующих систему). Потенциальный уровень получающейся эмерджентности определяется *сложностью системы* (по ее составу, связям элементов и их качеству). Постоянное движение сложности системы дает непрерывное движение ее эмерджентности.

Практическими рекомендациями социальной интегрологии являются принципы, правила (эвристики) и технологии управления процессами движения целостности социальных систем. Один из основных принципов интегрологии – *принцип комплементности (дополнительности)* составляющих целостной системы. В применении к социальным отношениям это – *принцип соци-*

альной комплементности (социал-комплементаризма). Его использование позволяет через новые системные механизмы социального комплементирования более действенно влиять на повышение связности, сложности и потенциальной эмерджентности систем социума.

Социальное комплементирование принципиально подвижно; его изменчивость онтологически связана со сверхсложной картиной вечно переходного движения всеобщей (тотальной) мета-системы отношений. Даже временно допускаемый вынужденный отход от позиции непрерывного разумного (общенаучного, истинно «всесоциологического») учета этого постоянного движения, даже эпизодического не учета всех отношений «тотального», порождает риск роста опасности проявления и нарастающего движения проблем социального катастрофирования. И первопричинными здесь выступают именно *интегрологические проблемы социального комплементирования*.

Интегрологические проблемы связности при социальном комплементировании

Социальное комплементирование – принципиально интегрологическое направление в жизнедеятельности общества. Взаимная дополнительность, комплементность участников социальных систем дает основания для повышения связности и целостности социальных образований. При этом растет их сложность, что способствует желаемому росту потенциальной эмерджентности и полезности систем. Но одновременно может повышаться риск катастрофирования усложняющихся систем от даже незначительных как внешних, так и внутренних конфликтных факторов.

«Разумный Мир» представляется как устойчивое социальное пространство сложных движущихся мета-систем, эффективно обеспеченных массовыми внутренними и внешними комплементными обратными связями.

Интегрологические аспекты ***движения, т.е. возникновения, сохранения в изменениях и потери целостности социал-комплементных систем*** *(СК-систем)* слабо изучены даже на самом общем уровне.

Интегрологические аспекты ***возникновения целостности*** *СК-систем* связаны с вопросами:

– возникновения потребностей в самом системном социальном комплементировании;

– проблем подготовки к системному социальному комплементированию;

– проблем оценки готовности к переходу в состояние СК-системы;

– проблем оценки первичных состояний совершенствуемой СК-системы.

– проблем создания СК-систем с требуемой целостностью.

Интегрологические аспекты ***сохранения целостности*** *СК-систем в изменениях состояний* диктуют исследовательские вопросы:

– проблем преодоления консервативизации отношений в среде участников СК-систем;

– проблем открытости и гибкости программ внутреннего развития СК-систем;

– проблем сохранительного инновационного развития организаций и технологий функционирования СК-систем.

Интегрологические аспекты снижения и ***потери целостности*** *(катастрофирования) СК-систем* связаны с вопросами:

– проблем качества контроля и прогноза состояний самих СК-систем и пространства их внешних отношений;

– проблем непрерывного наращивания и совершенствования систем внутренних и внешних обратных связей;

– проблем управления развитием или частичного предотвращения процессов потери целостности (ослабления катастрофирования) СК-систем;

– проблем анализа последствий катастрофирования и разработки эффективных мер по ускоренному восстановлению пострадавших СК-систем.

Метод, меры и механизмы развития социального комплементирования

Методом строительства и развития СК-систем выступает комплексно и всепроникающее используемый интегрологический *принцип социал-комплементаризма* [4], [5], [7]. Нация будущего – в совершенстве системно и комплементно организованный народ. Главный потенциал Нации – люди, их главный потенциал – организованность, основа же организованности – принцип социал-комплементаризма. Нация принципиально комплементна, т.к. только народ комплементный способен создать Нацию.

Комплекс мер по обеспечению процессов непрерывной системной комплементной социализации как прямо связан с названными выше *практическими направлениями интегрологической проблематики* (идеологическим, методологическим, организационным, технологическим, ресурсным) развития СК-систем, так и косвенно обусловливает создание общей среды поддержки их существования.

Меры местного, территориального, национального уровней социума в каждом случае конкретны и имеют свои механизмы.

Основные системные механизмы развития социального комплементирования для каждого из уровней структурирования социума страны уже были подробно рассмотрены в монографиях автора [4], [6], [7], [8]. Однако, жизнь постоянно выдвигает на первый план все новые актуальные задачи, решение которых видится на основе возможностей социального комплементирования. В качестве

примеров, рассмотрим некоторые новые тенденции в понимании *явлений и механизмов движения социального и материального капитала*.

Движение социального капитала. Социализация общества, нарастающая во всем мире, есть реализация его *социального капитала*, под которым понимается способность общества к организации и самоорганизации различных сообществ, к их все более успешным совместным действиям.

❖ *«Социальный капитал нации (страны)»* вцелом объединяет формируемые раздельно и находящиеся во взаимном влиянии *«социальный капитал гражданского общества нации»* и *«социальный капитал государства нации»*.

Современное всемирное движение наций, базирующееся на предшествующем двухсотлетнем бурном развитии *материального капитала* (теперь все более проблемного), стало все более зависеть от развития влиятельного капитала социального, и при этом основной движущей силой выступают именно отношения, эффективно использующие возможности социал-комплементаризма.

Комплементность – главный неисчерпаемый многосторонний ресурс человечества, самосогласованный с процессом непрерывного совершенствования качества жизни. Эпоха социал-комплементаризма нации – время полного раскрытия возможностей социального капитала, особенно в его собственном движении (самодвижении) при сниженном давлении проблем от распоряжения материальным капиталом.

В целом социал-комплементаризм нации обеспечит всестороннее (в пределе – гармоничное, органичное) взаиморазвитие и взаимовлияние социального капитала и капитала материального. После имевших место в прошлом попыток чередования длительного влияния и доминирования каждой из сторон капитала нации (материального или социального) настанет преобладание гуманитарного начала. Постепенно из двух видов капитала нации ведущим станет социальный капитал (например, в экономике потребления это будет все больше выражаться через доминирование задающего социального спроса, требования для возможного материального предложения, удовлетворения).

❖ Социал-комплементаризм улучшит и структурирование политики как *новой. комплементной политической системы и политики нации* с ее взаимно дополняющими в действиях сторонами:

– *политикой системы государства* (*«Г-политика»* административных органов и особо крупных, парламентских политических партий) и

– *политикой системы гражданского общества* (*«ГО-политика»* разнообразных влиятельных организаций и непарламентских политических партий).

❖ Прогрессирующее влияние в обществе социал-комплементаризма создаст условия для лечения «социальных болезней», например, последовательного *преодоления коррупции* [12].

Нарушения общественной морали и норм закона через договорные нелегитимные (в частности, коррупционные) взаимные действия, приносящие тот или иной вред, изживались и, в дальнейшем, будут последовательно изживаться. Наиболее эффективными всегда являются меры, основанные на возможностях органичных, а не искусственных отношений в живом общественном организме на всех уровнях его устройства.

Одно из эффективных перспективных направлений улучшения легитимных и снижения уровня распространенности нелегитимных социальных взаимоотношений основано на применении в них органичных возможностей *системной социальной комплементности*.

До сих пор регулярно допускались две главные социально-стратегические ошибки, на почве чего произрастала коррупция: исключалась возможность комплементарности подходов к организации гражданско-общественной и государственно-политической жизни нации; насаждалась и практиковалась конкурентная дискриминация между государством и гражданским обществом, отсюда – исключалась взаимная комплементность в их отношениях.

Эффективность и гибкость социального капитала, предполагающего формирование системы социального партнерства, развитость коммуникаций, навыков полезного комплементного взаимодействия, позволяющего мобилизовать и координировать деятельность людей, обеспечивающего оперативность передачи информации, снижает частоту проявлений отклоняющегося поведения, случаев нарушения этических и правовых норм, недобросовестного отношения к со-

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

трудничеству – всего, что питает среду коррупции. Коррупция во всех странах – прямое следствие отсутствия взаимных комплементных усилий государства и гражданского общества, раздельности интересов мира касты разрешающих чиновников и мира обращающихся к последним, вынужденно конкурирующих между собой за их разрешения, граждан.

Определенный опыт устранения условий для расширения коррупции накоплен при развитии и совершенствовании *систем легального политико-экономического лоббизма*, причем именно в тех странах, где уже более развита система гражданского общества, есть достаточно свободное участие граждан в политической жизни и реально их право влиять на работу административных органов. Фактически *лоббизм – развивающаяся сторона и форма будущего частно-государственного легального комплементирования*, позволяющая избегать расширения и даже достигать ослабления интенсивности коррупции.

Лоббизм легально преследует как экономические, так и политические цели (обоим этим направлениям следует и коррупция, но нелегальными методами).

Основа подконтрольного государству и гражданскому обществу лоббизма – те или иные легальные социальные, политические, этнические и другие группы, организации, движения. Важно, что в своей деятельности современные легальные лоббисты руководствуются официально принятыми в их среде строгими моральными правилами и ограничениями.

В России близко официальное признание института лоббизма как одного из направлений перспективной системы антикоррупционных мер. Ожидается ускоренный процесс формирования усовершенствованной системы этого социального института.

Движение материального капитала

❖ Системный комплементаризм дает преодоление проблем монополизации через сотрудничество социального и материального капитала в *современных кластерах* [13], [14]. Пришло время нового перехода *от простого корпорирования к сложному комплементированию*, время современных еще более гибких в отношениях кластеров: *комплементирующих систем инновационного типа*. Кластеры – образцовые системные механизмы социального комплементирования.

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*.

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*.

Последние десять лет *Межрегиональное общественное учреждение «Институт инженерной физики» (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. ИИФ – диверсифицированный кластер, в котором 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. ИИФ – подобный кластер с развитой базовой инновационной социальной составляющей.

Литература

1. Умников В.Н. Актуальные вопросы строительства гражданского общества России // Известия Института инженерной физики, 2006. №2. С. 66-68.

2. Умников В.Н. Интегрологические проблемы социального комплементирования // Известия Института инженерной физики, 2007. №1(3). С. 28-30.

3. Умников В.Н. Основы интегрологии. МО СССР. 1986. 87 с.

4. Умников В.Н. Великий Социальный Синтез. От великого социального вопроса – к великому социальному ответу. М.: Реалии, 2001. 416 с.

5. Умников В.Н. Социальная комплементология. М.: Реалии. 2003. 200 с.
6. Умников В.Н. Система организации России. М.: Реалии. 2001. 48 с.
7. Умников В.Н. Социал-комплементаризм в системе мира. М.: Раритет. 2006. 368 с.
8. Умников В.Н. Городское гражданское общество. М.: Раритет. 2008. 126 с.
9. Умников В.Н. Социология. МГТУ «МАМИ». 2003. 52 с.
10. 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.
11. Умников В.Н. Взаимоотношения гражданского общества и государства как системный индикатор развития нации / Национальная безопасность России: актуальные проблемы современности: Сборник научных статей. М.: АИПНБ, 2012. С. 39-56.
12. Попов В.Г., Умников В.Н. Коррупция: основные угрозы и меры противодействия. М.: АИПНБ, 2012. – 398 с.
13. Умников В.Н., Царьков А.Н., Заводчикова М.Г. Кластеризация как синергетический модернизационый процесс России // Известия Института инженерной физики, 2013. №1. С. 93-96.
14. Умников В.Н., Царьков А.Н., Заводчикова М.Г. Современная кластеризация как комплементно развивающийся управляемый системно инновационный социально-экономический процесс // Известия Института инженерной физики, 2013. №2. С. 89-94.

УДК 37.012.4

РАЗВИТИЕ И ОЦЕНКА УРОВНЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ МОТИВАЦИИ СТУДЕНТОВ

Павел Андреевич Рябов
аспирант Российской международной академии туризма
Адрес: 141420, Московская обл., г. Химки, м-н Сходня, ул. Горького, д. 7
Тел.: +7(495)574-16-97

Николай Михайлович Емелин
заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор
заместитель директора ФГБНУ «Госметодцентр» по научной работе
Адрес: 1155998, г. Москва, Люсиновская ул., д. 51
Тел.: +7(499)706-81-25

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, характеризующаяся 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].

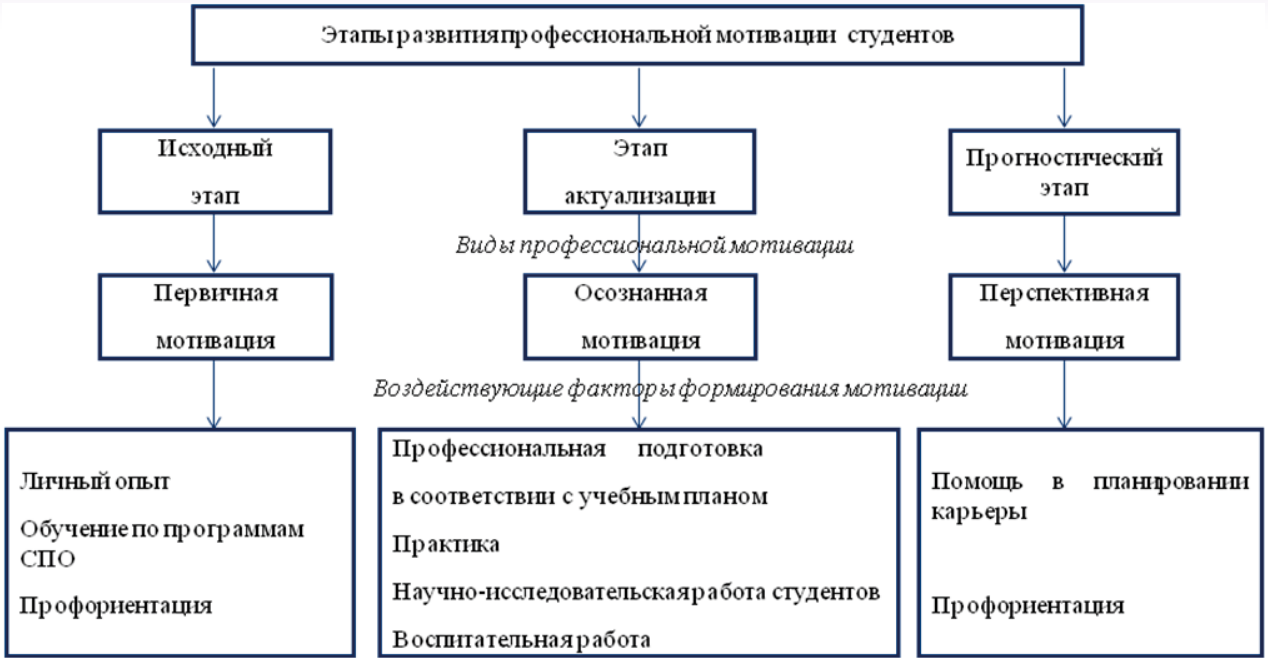


Рис. 1. Этапы развития профессиональной мотивации студентов

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 нами 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

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

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 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 $\{k(t_j)\}$, формирующихся за время обучения t_j, используем индикативный показатель – полярный знаковый индекс, успешно примененный для оценки компетенций студентов [2, 3], вида

$$I = 1 + \sum_{k=1}^{l} F_K \cdot U_K \cdot (i_K - 1), \qquad (1)$$

где:
i_k – индикатор;
l – число индикаторов;
U_k – весовые множители, удовлетворяющие условиям

$$U_K > 0; \qquad (2)$$

$$\sum_{K=1}^{l} U_K = 1. \qquad (3)$$

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

$$I^{mK} = 1 + \sum_{i=1}^{h} F_i \cdot U_i \cdot (ind_i^K - 1), \qquad (4)$$

где: ind_i^K – значение индикатора K-й 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

$$I = \sum_{i=1}^{m} I_i \ . \qquad (5)$$

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 определяются на основе интервальных оценок

$$\tilde{I} = t_\beta \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \ , \qquad (6)$$

где:
$\tilde{I}$ – 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, на-

правленный 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:

$$t_{эмп} = \frac{\bar{d}}{S_d}, \quad (7)$$

$$\bar{d} = \frac{\sum d_i}{n} = \frac{\sum (x_i - y_i)}{n}, \quad (8)$$

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum d_i^2 - \frac{(\sum d_i)^2}{n}}{n(n-1)}}, \quad (9)$$

где x_i, y_i – соответствующие значения переменной X и Y;

n – величина равночисленных выборок X и Y.

Получив эмпирическое значение критерия $t_{эмп}$, его необходимо сравнить с известным (табличным значением квантилей распределения Стьюдента) критическим значением критерия $t_{кр}$. 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.

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

УДК 377, 378

ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПРОФОРИЕНТАЦИИ В ИНТЕРЕСАХ ПРЕДПРИЯТИЙ ОБОРОННО–ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Игорь Ильич Колтунов
доктор технических наук, профессор
первый проректор Московского государственного машиностроительного университета (МАМИ) / Университета машиностроения/
Адрес: 107023, Москва, ул. Б. Семеновская, д. 38
Тел.: +7(495) 223-05-23 E-mail: ssv@mami.ru

Олег Николаевич Андрух
кандидат технических наук, доцент
директор филиала Университета машиностроения в г. Серпухове, вице-президент МОУ «ИИФ» по учебно-методической работе
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.:+7(4967) 35-31-93 E-mail: oandruh@mail.ru

Майя Константиновна Чадунели
заведующая кафедрой
филиал Университета машиностроения в г. Серпухове
Адрес: 142210, Московская обл., г. Серпухов, Большой Ударный пер., д. 1а
Тел.:+7(4967) 35-31-93 E-mail: maiakonst@mail.ru

Предприятия оборонно-промышленного комплекса испытывают острую необходимость в высококвалифицированных рабочих, специалистах, научных работниках. В условиях формирования в стране рыночной экономики механизм взаимодействия предприятий с образовательными учреждениями не отработан. В статье осуществляется анализ объектов профессиональной ориентации, исследуются её главные составляющие, разрабатываются основные положения системы профориентации для выполнения государственного заказа на подготовку работников в интересах предприятий оборонно-промышленного комплекса.

The enterprises of a defense industrial complex suffer from necessity of highly skilled workers, experts, science workers. In conditions of forming market economy in country the coordination mechanism of the enterprises with educational institutions is not perfect. In this article main points of career-guidance system are developed, aimed at execution of the state order for workers' preparation according to interests of the enterprises of the defense industrial complex.

Ключевые слова: профориентация, целевая подготовка, государственный заказ на подготовку кадров, работники, оборонно-промышленный комплекс.

Keywords: career-guidance, target preparation, the state order for a professional training, workers, a defence industrial complex.

Профессиональная ориентация – это обобщенное понятие одного из компонентов общечеловеческой культуры, проявляющегося в форме заботы общества о профессиональном становлении подрастающего поколения, поддержки и развития природных дарований, а также проведения комплекса специальных мер содействия человеку в профессиональном самоопределении и выборе оптимального вида занятости с учетом его потребностей и возможностей, социально-экономической ситуации на рынке труда [6].

Важнейшими направлениями профессиональной ориентации являются: профессиональная информация, профессиональная консультация, профессиональный подбор, профессиональный отбор, профессиональная, производственная и социальная адаптация.

Объекты профориентации регламентированы нормативно-правовыми документами. В соответствии с Положением о профессиональной ориентации и психологической поддержке населения в Российской Федерации [6] основными объектами профориентационной работы являются образовательные учреждения и центры занятости населения. Таким образом, объекты, наиболее заинтересованные в результатах про-

фориентационной работы – предприятия – выпадают из процесса. В условиях, когда предприятия и образовательные учреждения действуют как независимые элементы системы, эффективность профориентационной работы низка. Особенно остро и масштабно проблема проявляется в условиях предприятий ОПК.

В настоящее время в ОПК страны входит 1353 организации, которые осуществляют свою деятельность в 64 регионах Российской Федерации, общая численность работников организаций ОПК составляет свыше 2 миллионов человек [4].

После десятилетий забвения оборонной промышленности в 2010 году была принята Государственная программа вооружений на 2011-2020 годы (ГПВ-2020). Общая стоимость ГПВ-2020 составляет огромную сумму в 20 триллионов рублей. Главной задачей ГПВ-2020 является доведение доли современных образцов вооружений в войсках к 2020 г. до 70% [2]. Однако современное вооружение невозможно создать без квалифицированных рабочих, специалистов, научных работников.

В то же время организации ОПК испытывают ряд проблем в области кадрового обеспечения, основными из которых являются:

❑ старение персонала (средний возраст персонала ОПК составляет 46 лет, количество работающих пенсионеров – 15% [3]); ❑ дефицит высококвалифицированных работников всех образовательных уровней – начального, среднего, высшего профессионального и послевузовского образования (50% предприятий ОПК испытывают дефицит кадров [3]); ❑ неоднородность возрастной структуры работников – на предприятиях ОПК трудятся возрастные и молодые работники, в то время как большое количество работников среднего возраста (35-45 лет) покинуло отрасль; ❑ увеличение количества работников женского пола (в настоящее время 52% работников предприятий ОПК – женщины [3]); ❑ сложности найма работников рабочих профессий из-за передачи в регионы системы образовательных учреждений (ОУ) начального профессионального образования (НПО), их резкого сокращения, сокращения набора на технические специальности; ❑ высокая текучесть кадров среди молодежи, доходящая до 10%.

Для решения кадровой проблемы предприятий ОПК используется механизм государственного кадрового заказа на профессиональную подготовку специалистов, который реализуется в соответствии с постановлением Правительства РФ от 9 июня 2010 г. №421 «О государственном плане подготовки научных работников и специалистов для организаций оборонно-промышленного комплекса на 2011-2015 годы» и приказом Минобрнауки России от 16 мая 2011 г. №1621 «Порядок реализации государственного плана подготовки научных работников и специалистов для организаций оборонно-промышленного комплекса на 2011-2015 годы». Это третий пятилетний государственный план подготовки научных работников и специалистов для организаций ОПК (первый опыт целевого набора студентов на необходимые оборонке специальности реализовывался в 2002-2006 годы), но, к сожалению, каждый год далек от достижения поставленных в государственном плане цифр. Одним из лучших показателей является 65% выполнения плана при наборе в вузы студентов-целевиков на первый курс очной формы обучения. Однако после целевого обучения выпускники практически не трудоустраиваются на предприятия ОПК.

Трудности с набором для целевого обучения в интересах ОПК объясняются тем, что отбор абитуриентов-целевиков осуществляют сами организации ОПК, как правило, силами кадровых служб. Однако у кадровых служб нет соответствующего опыта, надежных, апробированных методик по профориентационной работе с молодежью для привлечения абитуриентов сначала к обучению, а затем и к трудоустройству. Возникает противоречие между нормативно-правовым обоснованием объектов профориентации (образовательные учреждения и центры занятости населения) и реалиями реализации государственного кадрового заказа, в которых объектами профориентации являются предприятия ОПК, которые занимают в данном процессе пассивную роль.

Таким образом, важной задачей является включение в перечень объектов профориентации предприятий, которым необходимы работники, и обеспечение предприятиям статуса не пассивных наблюдателей, а активных участников профориентации наряду с образовательными учреждениями и центрами занятости. Кроме того, для успешной профориентационной работы предприятиям ОПК необходима разработка системы профориентации абитуриентов и студентов для решения кадровых проблем.

Система профориентации в интересах предприятий ОПК должна включать: ❑ объекты профориентации; ❑ субъекты профориентации; ❑ нормативно-правовое и методическое обеспечение профориентации; ❑ систему мотивации для обучения на целевой основе и трудоустройства на предприятиях ОПК; ❑ комплекс мероприятий по профориентации.

Известия
ИНСТИТУТА ИНЖЕНЕРНОЙ ФИЗИКИ

Объектами профориентационной работы являются предприятия ОПК, образовательные учреждения, центры занятости населения. Кадровым службам предприятий ОПК необходимо налаживать партнерские отношения с различными образовательными учреждениями (ОУ) по профилю деятельности, в числе которых: ❑ среднеобразовательные школы; ❑ ОУ среднего профессионального образования (СПО) (с сентября 2013 года в РФ начальное профессиональное образование в соответствии с Федеральным законом «Об образовании в Российской Федерации» [4] становится первой ступенью СПО); ❑ вузы; ❑ ОУ дополнительного профессионального образования (ДПО).

Основная цель профориентационной работы в школах – формирование у школьников устойчивого интереса к предприятиям ОПК, привлечение абитуриентов к целевому обучению.

С учетом ввода в РФ профильного образования [7] необходимо учитывать тот факт, что далеко не все школы в настоящее время ориентированы на нужды промышленности. Помимо традиционного базового обучения в школах широко внедрены следующие профили: физико-математический, физико-химический, химико-биологический, биолого-географический; социально-экономический, социально-гуманитарный; филологический; информационно-технологический, агротехнологический, индустриально-технологический, художественно-эстетический, оборонно-спортивный.

В результате большинство школ имеют гуманитарную направленность, количество выпускников школ, сдающих ЕГЭ по физике, составляет чуть более 20%, ЕГЭ по информатике – примерно 10%, в то время как ЕГЭ по обществознанию – свыше 50% выпускников школ.

Следовательно, предприятиям ОПК целесообразно проводить профориентационную работу в школах не по географическому принципу (взаимодействие с находящейся рядом школой), а со школами, в которых реализуется базовое обучение и такие профили, как физико-математический, физико-химический, информационно-технологический и индустриально-технологический.

Предприятия ОПК должны быть инициаторами внесения изменений в национальные нормативно-правовые документы, регулирующие профильное обучение. Сейчас перекос осуществлен в пользу гуманитарного обучения, причем такое большое количество профилей (тринадцать!) реализуется только в РФ. В ряде западных стран и в США выделяют только базовое обучение, естественнонаучный и гуманитарный профиль. Такой подход более взвешен, он позволяет примерно половину выпускников ориентировать на естественнонаучное направление, что упрощает проблемы с набором студентов в обрабатывающие отрасли.

Основная цель профориентационной работы в сузах, вузах и образовательных учреждениях ДПО – трудоустройство выпускников профессиональных образовательных учреждений на предприятия ОПК.

В настоящее время итоги целевого обучения можно считать неудовлетворительными, поскольку лишь небольшая часть выпускников-целевиков трудоустраиваются на предприятия ОПК [1]. Следовательно, необходима профориентационная работа и со студентами-целевиками, и студентами вне целевого обучения, направленная на то, чтобы убедить выпускников трудоустроиться на предприятия ОПК. Помимо информирования студентов об условиях работы на предприятиях ОПК, перспективной формой взаимодействия является организация и проведение производственных практик студентов, привлечение студентов и преподавателей вузов к выполнению научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ предприятий оборонной промышленности.

Субъектами профориентационной работы являются учащиеся образовательных учреждений. Анализ существующей практики показывает, что возможности всех форм обучения профессиональных образовательных учреждений не используется. Так, субъектами госплана являются только студенты и аспиранты очной формы обучения, в отношении которых ежегодно Минобрнауки России определяет контрольные цифры приема. Так удобно Минобрнауки России, но не предприятиям ОПК. К субъектам госплана следует отнести студентов очной, заочной, очно-заочной и дистанционной форм обучения. Тогда работники предприятий ОПК, которые видят свое будущее именно на данных предприятиях, смогут продолжить обучение на основе заочной, очно-заочной и дистанционной форм обучения, при этом существенно улучшатся количественные показатели по набору на обучение и трудоустройству выпускников.

Основополагающими документами профориентационной работы являются нормативно-правовые документы, регламентирующие целевое профессиональное обучение. Методическое обеспечение профориентации раскрывает особенности проведения профориентационных мероприятий.

В настоящее время целевое обучение студентов регламентируется «Положением о целевой

контрактной подготовке специалистов с высшим и средним профессиональным образованием», утвержденным постановлением Правительства РФ от 19.09.1995 года №942 и постановлением Минтруда РФ и Госкомвуза РФ от 27 декабря 1995 г. №73/7 «О типовых контрактах между студентом и учебным заведением высшего (среднего) профессионального образования, студентом и работодателем, заключаемых в рамках целевой контрактной подготовки специалистов с высшим и средним профессиональным образованием». Эти документы предъявляют требования к образовательным учреждениям, но фактически не накладывают никаких обязательств на предприятия, для которых готовятся специалисты. С 1 сентября 2013 года вступает в действие Федеральный закон от 29 декабря 2012 г. №273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации», в котором существенное внимание уделяется вопросам целевого обучения.

Поскольку работа на предприятиях ОПК по существу является государственной приоритетной задачей, связанной с определенными ограничениями, накладываемыми на работников (например, необходимость сохранять государственную тайну при производстве вооружений, ограничения по выезду за рубеж и т.д.), необходимы специальные меры, компенсирующие данные ограничения. Эти меры должны составить систему мотивации для обучения студентов на целевой основе и трудоустройства выпускников на предприятиях ОПК.

Основу системы мотивации студентов-целевиков должны составить следующие предложения: ❑ гарантированное обеспечение места в общежитии; ❑ выплата повышенных стипендий, установленных на национальном уровне; ❑ выплата стипендий студентам, имеющим оценки «удовлетворительно» в текущей сессии; ❑ единоразовые выплаты выпускникам, трудоустроившимся на предприятие ОПК; ❑ льготы по обеспечению жильем (служебное жилье, место в общежитии, предоставление льготных ипотечных кредитов, предоставление возможности приобретения жилья экономкласса).

В системе мотивации необходимо разграничить ответственность государства и предприятий ОПК для того, чтобы правила игры были едиными на всем пространстве РФ.

Комплекс профориентационных мероприятий организаций ОПК должен включать: ❑ организацию экскурсий школьников (студентов) на предприятия ОПК с демонстрацией лучших образцов вооружений и военной техники (ВВТ); современного производственного оборудования; ❑ размещение в школах стендов предприятий с образцами или фотографиями производимых ВВТ, с фотографиями передовиков производства, чьи дети учатся в данных школах; ❑ организацию кружков технического творчества для школьников на базе предприятий ОПК; ❑ проведение мастер-классов представителями предприятий во время учебного процесса в школах по предметам «Физика», «Информатика», «Химия», «Технология»; ❑ проведение занятий по предмету «Технология» частично или полностью на базе предприятий ОПК с возможным присвоением квалификации по рабочей профессии; ❑ проведение производственных практик студентов на базе предприятий ОПК, привлечение студентов и преподавателей вузов к выполнению научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ предприятий; ❑ проведение в профессиональных образовательных учреждениях ярмарок вакансий.

Таким образом, можно сделать следующие **выводы**.

1. Одним из важных направлений в решении кадровых проблем предприятий ОПК является использование механизма профориентационной работы. 2. Для достижения целей профориентационной работы, реализуемой в настоящее время в основном силами образовательных учреждений и центров занятости населения, необходимо кардинально изменить роль предприятий ОПК со статуса наблюдателя до активного участника, для чего необходимо разработать и внедрить систему профориентации в интересах предприятий ОПК. 3. Система профориентации в интересах предприятий ОПК должна включать: объекты профориентации; субъекты профориентации; нормативно-правовое и методическое обеспечение профориентации; систему мотивации для обучения на целевой основе и трудоустройства на предприятия ОПК; комплекс мероприятий по профориентации.

Литература

1. Андрух О.Н., Сидорова А.С., Чадунели М.К. Повышение конкурентоспособности вуза на основе организации целевой подготовки работников для ОПК страны // Известия МГТУ «МАМИ». М.: МГТУ «МАМИ», 2013. №1 (15). С. 149-154.

2. Богданов К.В. Госпрограмма вооружений: перезагрузка // Национальная оборона. Декабрь 2011. № 12.

3. Демин В. Чем привлечь молодежь // Военно-промышленный курьер. 24.10.2012. №42.

4. Латухина К. «Оборонка» ждет прорыва // Российская газета. 03.09.2013. №5874.

5. Федеральный закон от 29 декабря 2012 г. №273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации».

6. Постановление Минтруда РФ от 27 сентября 1996 г. №1 «Об утверждении Положения о профессиональной ориентации и психологической поддержке населения в Российской Федерации».

7. Приказ Министерства образования РФ от 9 марта 2004 г. №1312 «Об утверждении федерального базисного учебного плана и примерных учебных планов для образовательных учреждений Российской Федерации, реализующих программы общего образования» (в ред. Приказов Минобрнауки РФ от 20.08.2008 №241, от 30.08.2010 №889).

AUTHORS

Vladimir M. Aleshin. Cand.Tech.Sci., senior scientist. IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyj l., 1a.

Oleg N. Andruh. Cand.Tech.Sci., associate professor. Vice-president IPO "IEP". Director of the branch of Moscow state university of mechanical engineering (MAMI). Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyj l., 1a.

Boris F. Bezrodnyu. Dr.Sci.Tech., professor, chief engineer, Design and Technological Construction Bureau of railway automatics and telemechanics. Moscow, Perevedenovskiy l., 21/9.

Evgeniy M. Borisov. Doctor of military science, professor. Senior scientist. IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyj l., 1a

Igor A. Bugakov. Dr.Sci.Tech., professor. Honoured devisor of Russia. Vice-prezident IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyj l., 1a.

Maya K. Chaduneli. Chair of Department. The branch of Moscow state university of mechanical engineering (MAMI).Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyj l., 1a.

Anton V. Chernikov. Postgraduate student. IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyj l., 1a.

Sergey G. Daniliuk. Dr.Sci.Tech., professor. IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyj l., 1a.

Nikolay M. Emelin. Honoured scientist of RSFSR, Dr.Sci.Tech., professor. State Research and Consulting Centre. Moscow, Lusinovskaya st., 51.

Andrey N. Furov. Cand.Tech.Sci. Scientist. IPO "EPI". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyj l., 1a.

Vadim G. Gribunin. Dr.Sci.Tech. PO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyj l., 1a.

Anatoliy V. Guliaev. Ministry of Defence of the Russian Federation.

Alevtina V. Ivashchenko. Junior scientist. The Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Mikhail A. Kondrashin. Cand.Tech.Sci., senior scientist. IPO "EPI". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyj l., 1a.

Alexey A. Korobkov. Cand.Tech.Sci., associate professor. Senior scientist. IPO "EPI". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyj l., 1a.

Igor I. Koltunov. Dr.Sci.Tech, professor. First Vice-Rector. Moscow state university of mechanical engineering (MAMI). Moscow, Bolshaya Semionovskaya st., 38.

Anatoliy A. Kotov. Dr.Sci.Tech., professor. IPO "EPI". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyj l., 1a.

Mikhail P. Kovalenko. Cand.Tech.Sci. Engineer. IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyj l., 1a.

Nikolay S. Kukin. Cand.Tech.Sci. Senior scientist. IPO "EPI". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyj l., 1a.

Alexander I. Kuprijanov. Dr.Sci.Tech., professor. Moscow aviation institute. Moscow, Volokolamskoye h., 4

Evgeniy A. Mikheev. Cand.Tech.Sci., scientist, IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyj l., 1a

Ilia A. Nikitin. Chief specialist. Federal Service for Defence Contracts.

Anton V. Nizhnikovskiy. Scientist. IPO "EPI". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyj l., 1a.

Sergey E. Orekhov. Cand.Tech.Sci. The Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Dmitriy V. Ostrovskiy. Dr.Sci.Tech., professor. Senior scientist. IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyj l., 1a.

Sergey E. Potapov. Cand.Tech.Sci. The Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Yuri A. Pushkarev. Honoured scientist of Russia, Dr.Sci.Tech., professor. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17

Elena Y. Pushkareva. Dr.Sci.Tech., professor, chief department. Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17

Pavel A. Riabov. Postgraduate student. Russian International Academy for Tourism. Moscow reg., Khimki, Gorkogo st., 7.

Yuriy A. Romanenko. Honoured scientist of Russia, Dr.Sci. Tech., professor. Head of Education and Science the City Administration. Moscow reg., Protvino, Lenina st., 5.

Vladimir M. Samartsev. Scientist. IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyj l., 1a.

Nadezhda A. Sergeeva. Postgraduate student. IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyj l., 1a.

Sergey N. Shimanov. Dr.Sci.Tech., professor. IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyj l., 1a.

Evgeniy V. Shmyrin. Senior scientist. IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyuj l., 1a.

Alexander V. Sidorov. Deputy chief designer. The Federal State Unitary Enterprise All-Russia Research Institute of Automatics. Moscow, Sushchevskaya st., 22.

Alexander P. Sitnikov. Cand.Tech.Sci., senior scientist. IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyj l., 1a.

Dmitriy V. Smirnov. Dr.Sci.Tech., associate professor. General director of IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyj l., 1a.

Denis E. Sorokin. Head of Department. Ministry of Defence of the Russian Federation.

Alexey V. Svistunov. Junior scientist. IPO "EPI". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyj l., 1a.

Dmitriy A. Tokarev. Ministry of Defence of the Russian Federation.

Vladimir A. Tsimbal. Honoured scientist of Russia, Dr.Sci.Tech., professor. Head scientist at IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyj l., 1a.

Valeriy N. Umnikov. Dr.Sci.Tech, professor. IPO "EPI". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyj l., 1a.

Eugeniy V. Umnikov. Head engineer. IPO "EPI". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyj l., 1a.

Vladimir M. Vaniushin. Dr.Sci.Tech., professor. IPO "IEP". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyj l., 1a.

Vladimir V. Zelenevskiy. Dr.Sci.Tech, professor. The Branch of the Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow reg., Serpukhov, Brigadnaya st., 17.

Yuriy V. Zelenevskiy. Cand.Tech.Sci., associate professor. Military Academy of the Strategic Missile Forces. Moscow, Kitaygorodskiy d., 9/5.

Vladimir I. Zlobin. Honoured scientist of Russia, Dr.Sci.Tech., professor. IPO "EPI". Moscow reg., Serpukhov, Bolshoy Udarnyj l., 1a.

МОУ «ИИФ» НА ДНЕ ИННОВАЦИЙ МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ РФ

20 августа Министерство обороны впервые провело День инноваций. В выставочном показе передовых достижений, инновационных технологий и разработок в интересах Вооруженных сил России принял участие Институт инженерной физики.

МОУ «ИИФ» представил свои инновационные разработки, среди которых светопрозрачные бронированные конструкции, универсальное бронированное сборно-разборное огневое наблюдательное сооружение, системы локального обогрева экипировки водолазного и сухопутного снаряжения, двигателей транспортных средств, разработки в области модернизации существующего стрелкового оружия, а также блокировочные системы высших классов защи-

ты, электронное пломбировочное устройство (электронная печать), механические кодоблокировочные устройства с изменяемым и фиксированным кодом, другие специальные средства защиты информации от несанкционированного доступа. Были представлены результаты исследований в области создания комплексов и систем обработки информации навигационных и геоинформационных систем: автоматическую систему определения астрономического азимута, интегрированную инерциально-спутниковую геоинформационную навигационную систему, войсковой метрологический комплекс поверок и калибровок навигационно-геодезической аппаратуры.

С экспонатами МОУ «ИИФ» ознакомился министр обороны РФ генерал армии Сергей Шойгу. Важным итогом выставки стало то, что в соответствии с указаниями министра обороны командованием Воздушно-десантных войск проработан вопрос проведения пробной эксплуатации систем модернизации экипировки, обмундирования военнослужащего и комплектов дополнительных деталей стрелкового оружия, разработанных учеными МОУ «ИИФ».

По итогам Дня инноваций МОУ «ИИФ» получил Диплом участника и Знак Министерства обороны «За заслуги в области развития и внедрения инновационных технологий».

ВИЗИТ КОМАНДУЮЩЕГО ВДВ

В середине августа командующий Воздушно-десантными войсками России генерал-полковник В.А. Шаманов ознакомился с перспективными разработками Института инженерной физики. Визит высокого гостя в МОУ «ИИФ» стал очередным шагом в комплексе мероприятий, направленных на создание системы перспективных военных исследований и разработок Министерства обороны России.

Новейшие разработки ученых МОУ ИИФ» генерал-полковнику В.А. Шаманову представил Президент Института, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор А.Н. Царьков. Генерал-полковнику В.А. Шаманову были продемонстрированы новейшие разработки по модернизации стрелкового оружия, система локального обогрева экипировки водолазного и сухопутного снаряжения, универсальное бронированное сборно-разборное огневое наблюдательное сооружение и другие опытные образцы новейшей военной техники.

В ходе рабочего визита в МОУ «ИИФ» командующий Воздушно-десантными войсками детально познакомился с 15 научными направлениями Института инженерной физики, каждое из которых имеет богатый опыт внедрения и применения в военной и гражданской сферах.

РЕКОМЕНДАЦИИ АВТОРАМ СТАТЕЙ

Для публикации принимаются статьи на русском языке. Рекомендуемый объем статьи – 0,2–0,4 п.л. (8000–16000 знаков).

Тексты должны быть представлены:

❍ в электронном виде (Win Word 6.0 или 7.0). Иллюстративный материал (сложные формулы, рисунки, фотографии и т.д.) кроме размещения в тексте обязательно должны предоставляться отдельными файлами!

❍ на бумажном носителе формата А4.

Текст статьи должен быть набран через 1,5 интервала (гарнитура «Times New Roman»), кегль 14.

Просьба, простые символы и формулы не набирать в математическом редакторе!

Напечатанный текст должен иметь поля: верхнее и левое – 2,5 см, правое и нижнее – 2 см.

Вверху первой страницы статьи размещаются:

❍ рубрика журнала (см. *Приложение 1*);

❍ УДК;

❍ название статьи;

❍ имя, отчество, фамилия автора (авторов), ученая степень, ученое звание, должность и место работы.

Список литературы (Литература) размещается в конце статьи.

После литературы помещается:

❍ список ключевых слов;

❍ краткая аннотация (1–2 абзаца, но не более одного листа А4) на русском и английском языках.

Завершает рукопись полная информация об авторе (авторах):

❍ ФИО;

❍ ученая степень, ученое звание, должность и место работы;

❍ адрес места работы, контактные телефоны, электронный адрес (по желанию автора – домашний адрес и телефон).

Обращаем особое внимание на:

❍ точность и правильность библиографического оформления списка литературы (в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008);

❍ выверенность статьи в компьютерном наборе;

❍ полное соответствие файла на электронном носителе (диске, дискете) и бумажного варианта.

Редакционная коллегия оставляет за собой право на редактирование статей, при этом с точки зрения научного содержания авторский вариант сохраняется.

Статьи, не принятые к публикации, не возвращаются.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается!

Приложение 1

Рубрикация журнала «Известия Института инженерной физики»

Управление, вычислительная техника и информатика

- Технологии обработки и передачи данных;
- Средства и методы защиты информации;
- Информационно-расчетные системы;
- Вычислительные методы;
- Тестирование и сертификация программно-аппаратного обеспечения;
- Компьютерные сети и системы;
- Новые информационные технологии;
- Электромагнитная безопасность систем и комплексов;
- Искусственный интеллект;
- Базы данных;
- Моделирование процессов управления и оптимизации;
- Информационные технологии проектирования;
- Информационные технологии в образовании;
- Геоинформационные системы;
- Программно-аппаратное обеспечение;
- Автоматизированные системы управления;
- Компьютерная графика.

Электроника, измерительная техника, радиотехника и связь

- Методы и способы измерения, оценка погрешностей;
- Информационно-измерительные системы;
- Методы обработки сигналов;
- Диагностические системы;
- Радиоэлектронные системы;
- Антенны, распространение радиоволн;
- Элементная база;
- Радиотехническая аппаратура;
- Системы связи.

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.