

Т Р У Д Ы
ВОЕННО-КОСМИЧЕСКОЙ АКАДЕМИИ
имени А. Ф. Можайского

Под общей редакцией
доктора технических наук,
профессора **Ю. В. Кулешова**

В ы п у с к 650
Март

Издается с 1942 года



Санкт-Петербург
2016

Р е д к о л л е г и я:

председатель **Ю.В. Кулешов**, доктор техн. наук, проф.;
зам. председателя **И.В. Сахно**, доктор техн. наук, проф.;
ответственный секретарь **С.Г. Алёхин**, кандидат техн. наук;

Н.Ф. Аверкиев, доктор техн. наук, проф.; **В.Ф. Алексеев**, доктор техн. наук, доц.;
Т.В. Алексеев, доктор истор. наук, доц.; **А.П. Алёшкин**, доктор техн. наук, проф.;
В.Н. Арсеньев, доктор техн. наук, проф.; **И.Ю. Еремеев**, доктор техн. наук, проф.;
М.А. Еремеев, доктор техн. наук, проф.; **А.И. Замарин**, доктор техн. наук, проф.;
В.Н. Калинин, доктор техн. наук, проф.; **В.В. Клейменов**, доктор техн. наук, проф.;
В.В. Козлов, доктор техн. наук, проф.; **Н.С. Кужекин**, кандидат фил. наук, проф.;
В.Н. Кузьмин, доктор воен. наук, проф.; **Н.Б. Кунтурова**, доктор пед. наук, проф.;
А.Г. Ломако, доктор техн. наук, проф.; **Г.Н. Мальцев**, доктор техн. наук, проф.;
Ю.С. Мануйлов, доктор техн. наук, проф.; **Т.О. Мысливцев**, доктор техн. наук;
А.В. Паршуткин, доктор техн. наук, доц.; **Г.Д. Петров**, доктор техн. наук, проф.;
Н.А. Репях, кандидат философ. наук, доц.; **А.В. Харченко**, доктор техн. наук, доц.;
К.Ю. Цветков, доктор техн. наук, проф.; **А.В. Чарушников**, доктор воен. наук, доц.

Ответственные за выпуск:
начальник РИО **С.В. Чернышёв**;
начальник ОВТИ **А.А. Диголь**

Техническая поддержка:
Н.А. Станкевич

Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского.
Выпуск 650 / редкол.: Ю.В. Кулешов, И.В. Сахно, С.Г. Алёхин и др.; под
общ. ред. Ю.В. Кулешова; ответственные за вып.: С.В. Чернышёв,
А.А. Диголь; техническая поддержка: Н.А. Станкевич. – СПб.: ВКА имени
А.Ф. Можайского, 2016. – 247 с.

В издании представлены материалы по различным направлениям научных исследований, проводимых учеными академии и представителями сотрудничающих военных вузов и научно-исследовательских организаций.

Материалы статей могут быть полезны научным сотрудникам, преподавателям, слушателям, адъюнктам и докторантам.

© ВКА имени А.Ф. Можайского, 2016

Подписано к печ. 10.12.2015
Гарнитура Times New Roman
Уч.-печ. л. 62,00
Уч.-изд. л. 30,50

Формат печатного листа 445×300/4
Тираж 100 экз.
Заказ 3167 Бесплатно

Типография ВКА имени А.Ф. Можайского

«Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского» зарегистрированы Управлением Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзором).
Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-45867 от 20 июля 2011 г.
Издание включено в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (с 01 декабря 2015 г.).
Издание включено в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).
Адрес редакции: 197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13; тел.: 8 (812) 347-97-69; <http://trudvka.ru>

СОДЕРЖАНИЕ

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

- Галанкин А.В., Гончаров А.М., Чащин С.В.* Оценивание эффективности функционирования цифровой сети связи Космических войск..... 7
- Лазутин О.Г.* Методика доведения информации о техническом состоянии космических средств с использованием алгоритмов сжатия данных и когнитивного графического представления..... 11

СВЯЗЬ, УПРАВЛЕНИЕ И НАВИГАЦИЯ

- Андреев А.М., Дикарев В.И., Пучкова И.А.* Определение местоположения судов и самолетов с борта космического аппарата на основе использования треугольной антенной решетки..... 18
- Богаченков К.Н., Вознюк В.В.* Метод синтеза оптимальных помех ретрансляционного типа радиосистемам со сложными сигналами..... 25
- Вознюк В.В., Маслаков П.А., Фомин А.В.* Исследование помехоустойчивости аппаратуры потребителей глобальной навигационной спутниковой системы GPS на основе технологии программного приема..... 33
- Еремеев И.Ю., Маковский В.Н., Свистунов Ф.Н.* Энтропийный метод распознавания состояния системы связи с динамической топологией сети..... 41
- Калмычков И.Е., Тюстин М.М.* Особенности космического радиомониторинга при проведении спасательных операций..... 48
- Ковалев М.А., Макаров А.А., Павский В.Ф., Петелин Ю.В.,* О существовании троичных псевдослучайных последовательностей, подобных двоичным кодам Баркера..... 54

СБОР И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

- Андреев А.М., Хацаюк В.О.* Алгоритм оценивания пространственной доступности радиоизлучений космических аппаратов командно-ретрансляционных систем с использованием имитационного моделирования..... 57
- Еремеев И.Ю., Махров К.Б., Мухин А.И.* Метод обнаружения зондирующих сигналов радиолокатора космических аппаратов дистанционного зондирования Земли при низких отношениях сигнал/шум..... 62

<i>Фролов К.О.</i> Анализ атмосферных условий в Архангельской области применительно к проблеме создания искусственных туманов для решения прикладных задач.....	68
---	----

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

<i>Андрушкевич Д.В.</i> Модель и метод ситуационного управления безопасностью в вычислительной среде на основе случайной регистрации событий-инцидентов безопасности и мониторинга их коэффициентов опасности....	73
<i>Латионов И.И., Никонов В.Г.</i> Адаптивный алгоритм решения систем неравенств с k -значными неизвестными.....	88

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

<i>Грудинин И.В., Суровикин С.В.</i> Обоснование структуры метода информационного обеспечения управления борьбой с противником в воздушно-космической сфере.....	95
<i>Корнеев В.П., Кулешов Ю.В., Щукин Г.Г.</i> Современное состояние и перспективы применения авиационной технологии активного воздействия на облака для метеозащиты от аномальных явлений погоды и последствий техногенных катастроф.....	109

РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

<i>Абдурахимов А.А.</i> Статистическая обработка результатов экспериментальных исследований деградации уязвимых элементов космических аппаратов.....	122
<i>Абдурахимов А.А., Скворцов Д.В.</i> Моделирование деградации крупногабаритных уязвимых элементов космических аппаратов в условиях воздействия факторов космического пространства.....	132
<i>Аитов Р.Н., Грушковский П.А.</i> Формирование множества контролируемых признаков объектов с вращательным и возвратно-поступательным движением инерционных масс.....	138
<i>Ардашов А.А., Арсеньев В.Н., Силантьев С.Б.</i> Современное состояние и терминологическая база космической робототехники.....	144
<i>Буриков С.В.</i> Алгоритм реализации методики параметрической оптимизации бортовых приемно-передающих терминалов космических лазерных систем передачи информации.....	152
<i>Буриков С.В., Мальцев Г.Н.</i> Статистическое описание процессов срыва слежения и вхождения в связь по межспутниковому лазерному каналу в условиях ошибок взаимного наведения бортовых оптических антенн.....	161

<i>Зоткин М.Ю., Миронов В.И., Миронов Ю.В.</i> Расчет программы управления угловым движением космического аппарата в режиме сопровождения орбитального объекта по параметрам Родрига – Гамильтона.....	170
<i>Карагодин В.В., Полянский К.А.</i> Постановка задачи оптимизации структуры системы бесперебойного электроснабжения ответственных потребителей объектов Космических войск.....	175
<i>Карасёв С.Ю., Ладышкин Г.С., Сурин Д.В., Шевчук А.М.</i> Метод оценки живучести многосекционных специальных сооружений при воздействии обычных средств поражения противника.....	182
<i>Козлов В.В., Мокан Д.О., Чирва С.В.</i> Анализ вероятностного и детерминированного подходов при исследовании сложных технических систем.....	186
<i>Кулганов В.А.</i> Интегральная оценка функционального состояния и работоспособности операторов.....	192
<i>Пророк В.Я., Скирда В.С.</i> Анализ и постановка задачи синтеза рациональной структуры учебно-тренировочных средств для подготовки военных специалистов.....	199

ПРОБЛЕМЫ ВОЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ

<i>Алтухов А.И., Калинин В.Н., Чебурков М.А.</i> Об опыте формирования и оценивания компетенций по дисциплинам профессионального цикла в системе военного образования.....	204
<i>Воронков И.Ю., Голубев М.А., Дьяконов Д.И., Машиков О.Г.</i> eLearning Server 4G как компонент электронного обучения в системе дополнительного профессионального образования.....	210
<i>Иноземцева Л.А., Кужекин Н.С.</i> К вопросу о пределах педагогического воздействия на индивидуально-психологические свойства личности курсанта военного вуза.....	214
<i>Прокофьева А.Л., Яснова Н.С.</i> Методические основы проектирования электронных учебных курсов в процессе изучения иностранного языка в высшем военном учебном заведении.....	219
<i>Репях Н.А., Тарасов А.В., Хрустова А.Н.</i> Индивидуально-контрольное собеседование как форма рубежного контроля в военном вузе.....	223

ВОПРОСЫ ГУМАНИТАРНЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ НАУК

<i>Тарасов А.В., Шалонов Е.В.</i> Социально-психологические условия формирования и развития авторитета руководителя воинского коллектива.....	227
---	-----

Рефераты статей.....	232
Сведения об авторах.....	239
Сведения о рецензентах.....	245

А.В. Галанкин,
кандидат техн. наук;
А.М. Гончаров,
кандидат техн. наук;
С.В. Чашин

ОЦЕНИВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЦИФРОВОЙ СЕТИ СВЯЗИ КОСМИЧЕСКИХ ВОЙСК

В статье предложен подход к оценке эффективности функционирования телекоммуникационной сети Главного испытательного космического центра на основе использования метода главного показателя, позволяющий учитывать влияние информационно-технических воздействий на процесс передачи информации и оценивать принятые меры противодействия.

Ключевые слова: телекоммуникационная сеть, эффективность, маршрутизация, пропускная способность.

Создание системы Воздушно-космической обороны ВС РФ, отвечающей самым современным требованиям, невозможно без решения проблем развития системы военной связи, требующей принципиально нового подхода к вопросам ее построения, развития и совершенствования.

Основополагающими системно-техническими и организационно-правовыми принципами совершенствования систем связи являются [1]:

- ориентация на использование открытых международных стандартов и передовых информационных технологий;
- иерархическое построение телекоммуникационных систем с выделением абонентской и магистральной части;
- аренда ресурсов пропускной способности у операторов сетей связи и передачи данных общего пользования.

Воплощение данных принципов в телекоммуникационной сети (ТКС) Главного испытательного космического центра (ГИКЦ) предполагает использование цифрового телекоммуникационного оборудования, что, несомненно, позволит обеспечить внедрение перспективных технологий в процессы обмена информацией, создание интегрированной цифровой вторичной сети связи, повышение эффективности использования ресурса сети, сокращение затрат на ее развертывание и эксплуатацию [2].

Анализ функционирования информационных инфраструктур, подобных ТКС ГИКЦ, показывает, что они становятся уязвимыми для тех угроз информационной безопасности, которые присущи сетевым инфраструктурам, одной из реализаций которых являются информационно-технические воздействия (ИТВ). Такие воздействия оказывают непосредственное влияние на процесс передачи информации и соответственно ухудшают обеспечение связью управление разнородными группировками космических аппаратов (КА), а также запуски КА [3].

Вышесказанное предопределяет поиск новых подходов к оценке эффективности функционирования ТКС, которые учитывали бы снижение их эффективности в результате воздействий и позволяли бы оценивать принятые меры противодействия ИТВ.

Комплексная всесторонняя и объективная оценка эффективности ТКС ГИКЦ может быть осуществлена с помощью метода главного показателя [4]. В соответствии с данным методом главный показатель выбирается прежде всего исходя из основного предназначения сети.

Основным предназначением ТКС ГИКЦ является обеспечение потребностей абонентов (наземных стационарных и подвижных командно-измерительных комплексов (измерительных пунктов) и испытательных центров) в передаче информации. То есть ТКС должна обеспечить своевременную передачу объема информации, циркулирующей в ГИКЦ, поскольку это и составляет смысл обеспечения связью управления разнородными группировками КА.

Причем, когда возможности ТКС снижаются и она не способна выполнять требования по объему и своевременности передачи информации – управление КА может быть затруднено или даже сорвано, в зависимости от того, насколько снижены возможности сети.

На основе вышеизложенного в качестве главного показателя эффективности функционирования ТКС предлагается использовать показатель, характеризующий степень обеспечения связью управления КА. Названный показатель – это коэффициент обеспечения связью управления $K_{об.уп}$, который численно равен отношению объема информации, переданного сетью своевременно, к предложенному объему информации, который необходимо передать между абонентами ГИКЦ в ходе функционирования последних, т.е.

$$K_{об.уп} = \frac{V_{пер}}{V_{предл}}, \quad (1)$$

где $V_{пер}$ и $V_{предл}$ – передаваемый и предложенный объемы информации соответственно.

Предложенный объем информации (предложенная нагрузка) $V_{предл}$ зависит от числа корреспондирующих пар узлов (КПУ) в ТКС (направлений связи), а также от интенсивности и длины передаваемых ими сообщений, которые называются вектором параметров информационного обмена множества КПУ $\vec{Q}_{инф}$. Данный вектор зависит от процессов управления и более точно характеризует предложенную нагрузку, чем показатель ее объема $V_{предл}$. Показатель $\vec{Q}_{инф}$ является характеристикой надсистемы по отношению к ТКС ГИКЦ и его значение не может быть изменено в интересах совершенствования последней.

Объем информации, передаваемый сетью с заданным качеством $V_{пер}$, определяется рядом факторов, в первую очередь вектором текущих характеристик ТКС ГИКЦ $\vec{G}_{ТКС}$, который описывает техническую реализацию сети и является стабильным, т.е. может быть изменен только в ходе модернизации сети и ее доработок, но не меняется в процессе функционирования ТКС в зависимости от объемов передаваемой информации или складывающейся обстановки. Существующие методики проектирования цифровых сетей связи позволяют определить $\vec{G}_{ТКС}$, а именно – множество узлов и множество линий связи, рассчитать рациональную пропускную способность узлов и инцидентных им линий.

Кроме того, важнейшей характеристикой сети является алгоритм маршрутизации сетевого трафика, который может находить рациональные маршруты для распределения сообщений по сети и является динамической характеристикой. Динамичность алгоритма маршрутизации сетевого трафика заключается в возможности изменять его параметры в зависимости от текущей обстановки в сети (возможных отказов и особенно – ИТВ).

В условиях ИТВ со стороны вероятного противника будет происходить снижение передаваемого объема информации ТКС $V_{пер}$ из-за уменьшения пропускной способности узлов и линий, что приведет и к снижению значения показателя эффективности $K_{об.уп}$, поскольку, как было отмечено, предложенный объем $V_{предл}$ не может быть динамически снижен вслед за передаваемым объемом $V_{пер}$. То есть показатель эффективности $K_{об.уп}$ зависит от количества узлов, подвергнутых воздействиям, и успешности их реализации. Это означает, что $K_{об.уп}$ является чувствительным к исследуемым процессам.

Для описания ИТВ предлагается применять вектор коэффициентов $\vec{K}^{ИТВ}$, характеризующих установленную степень ИТВ на узлах ТКС ГИКЦ [3].

Из всех представленных параметров, от которых зависит показатель $K_{об.уп}$, обеспечить максимальное его значение в условиях ИТВ со стороны вероятного противника в процессе функционирования ТКС можно лишь за счет перераспределения трафика путем поиска ра-

циональных маршрутов и передачи по ним допустимого объема сообщений. Причем выбор маршрутов и передача по ним информационных пакетов должны осуществляться с учетом реальной пропускной способности узлов, которая в случае наличия воздействий на последние, как было отмечено, снижается.

Помимо перечисленных параметров, оказывающих влияние на значение показателя $K_{об.уп}$, необходимо учитывать тот факт, что в ТКС ГИКЦ поступают сообщения, содержащие информацию различной важности, срочности и соответственно принадлежащие одному из трех приоритетов [3].

С учетом введения приоритетов передаваемой информации показатель $K_{об.уп}$ от объема своевременно передаваемых сообщений $V_{пер}$ будет зависеть более сложным образом, т.е. – не только от общего переданного объема трафика, но и от объема своевременно передаваемой информации по приоритетам.

Объем $V_{пер}$ ограничивается реальной пропускной способностью линий и узлов телекоммуникационной сети ГИКЦ $\Psi_{реал}$, а максимальное значение $V_{предл}$ соответствует наибольшей производительности абонентов ГИКЦ как источников информации в час наибольшей нагрузки. Опираясь на такое понимание $V_{предл}$, создается ТКС, рассчитанная пропускная способность узлов и линий связи которой $\Psi_{ТКС}$ равна $V_{предл}$. Тогда выражение (1) примет вид

$$K_{об.уп} = \frac{\Psi_{реал}}{\Psi_{ТКС}}, \quad (2)$$

где $\Psi_{реал}$ и $\Psi_{ТКС}$ – реальная пропускная способность ТКС ГИКЦ и рассчитанная – соответственно.

Очевидно, что при отсутствии информационно-технических воздействий и правильно рассчитанной $\Psi_{ТКС}$ $K_{об.уп} = 1$, т.е. ТКС способна обеспечить связью управление КА в полном объеме.

Использование значений пропускной способности является более предпочтительным перед использованием напрямую абсолютных значений объемов, поскольку пропускные способности характеризуют потенциальную возможность сети по обеспечению связью управления КА в любых условиях обстановки.

Показатель $K_{об.уп}$, рассчитанный таким образом, становится явно чувствительным к воздействиям, прямым следствием которых является снижение $\Psi_{реал}$.

Учитывая то, что в ТКС ГИКЦ поступает трафик, принадлежащий разным приоритетам, имеющий разную важность и соответственно вносящий разный вклад в показатель $K_{об.уп}$, в выражении для расчета данного показателя значение $\Psi_{реал}$ будет определяться реализуемыми потоками трафика по приоритетам, которые смогла обеспечить сеть в условиях информационно-технических воздействий с учетом важности передаваемого трафика на единицу пропускной способности w^s .

Соответственно значение рассчитанной $\Psi_{ТКС}$ также должно быть приведено к важности передаваемого трафика с учетом ресурса сети, выделенного под каждый приоритет.

Исходя из этого выражение (2) примет вид

$$K_{об.уп} = \frac{\sum \Lambda^s \cdot w^s}{\varphi_{зан} \cdot \hat{\Psi}_{ТКС}}, \quad (3)$$

где s – номер приоритета сообщений;

- Λ^s – поток трафика s -го приоритета, реализуемый в ТКС ГИКЦ;
 $\hat{\Psi}_{\text{ТКС}}$ – пропускная способность сети, приведенная к важности передаваемого трафика;
 $\varphi_{\text{зан}}$ – доля загрузки ТКС ГИКЦ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, предложенный подход к оценке эффективности функционирования ТКС ГИКЦ позволяет учитывать влияние информационно-технических воздействий на процесс передачи информации, а также позволяет оценивать принятые меры противодействия ИТВ.

Список используемых источников

1. Целевая комплексная программа работ по поэтапному переводу первичной сети связи Вооруженных Сил Российской Федерации на цифровое телекоммуникационное оборудование. – М.: МО, 2004. – 176 с.
2. Гончаров А.М., Галанкин А.В., Чащин С.В. Применение теории информационных сетей для описания структуры Главного испытательного космического центра // Сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции. – СПб.: ВКА им. А.Ф.Можайского, 2014. – С. 12–17.
3. Гончаров А.М. Методика выявления начала информационно-технических воздействий на элементы стационарной опорной сети связи объединения ВВС на основе анализа интегральных характеристик сетевого трафика // Вестник Военной академии ВКО: сборник статей адъюнктов и соискателей. – Тверь: ВА ВКО, 2010. – С. 74–79.
4. Теоретические основы построения систем военной связи в объединениях и соединениях: учебник / под общ. ред. Ю.А. Пирогова. – СПб.: ВАС, 2007. – Ч.2.: Научно-практические основы построения организационно-технических систем военной связи. – 306 с.

О.Г. Лазутин

МЕТОДИКА ДОВЕДЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О ТЕХНИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ КОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ СЖАТИЯ ДАННЫХ И КОГНИТИВНОГО ГРАФИЧЕСКОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

В статье рассматривается методика доведения до потребителей информации о техническом состоянии космических средств, включающая в свой состав последовательные этапы сокращения размерности исходного пространства анализируемых параметров. Когнитивное графическое представление информации способствует принятию решения о техническом состоянии в условиях жестких временных ограничений.

Ключевые слова: космическое средство, анализ, техническое состояние, сжатие информации, когнитивное графическое представление.

Для обеспечения процесса испытаний ракетно-космических комплексов (РКК) и управления ими создана и функционирует система информации о техническом состоянии и надежности РКК. Эта система определяется государственным стандартом [1], который устанавливает систему информации о техническом состоянии и надежности космических комплексов и входящих в их состав изделий при их создании, модернизации, производстве и эксплуатации.

Основная задача данной системы – достоверная оценка состояния космических средств (КСр) и их подсистем для определения готовности к выполнению поставленных задач. Анализируют и оценивают техническое состояние и надежность, а также принимают решения по управлению РКК (на всех этапах испытаний и эксплуатации существующих и перспективных ракетных, космических и наземных комплексов) личный состав боевых расчетов, руководители расчетами подготовки и пуска, техническое руководство.

Практика испытаний космических комплексов показывает, что из-за сложности интерпретации результатов мониторинга их технического состояния (ТС) лица, принимающие решения при возникновении неисправностей, отказов или аварий, не всегда справляются с оперативным оцениванием больших объемов разнородной информации и как следствие – несвоевременно формируют управляющее воздействие.

Размер ущерба при нештатных и аварийных ситуациях зачастую зависит от оперативности и достоверности принятия решений на основе результатов экспресс и оперативного анализа ТС бортовых систем. В системе информационного обеспечения испытаний и управления КСр широко используются средства автоматизации обработки и анализа измерительной информации, которые позволяют обрабатывать полные потоки телеметрии в реальном масштабе времени и выдавать обобщенные показатели функционирования КСр для оценки (контроля) ТС лицу, принимающему решения.

Таким образом, возникает необходимость создания автоматизированной системы информационной поддержки принятия решений, обеспечивающей эффективное решение задач мониторинга РКК.

При решении задачи оперативного анализа большого объема динамически изменяющихся параметров приходится сталкиваться с рядом существенных трудностей, связанных с огромной ролью интуиции оператора, которая опирается на присущие человеку возможности непосредственного восприятия складывающейся обстановки. Современные условия управления сложными системами оставляют оператора наедине с терминалами, где одновременно фиксируются тысячи параметров, которые он не в состоянии оперативно воспринять и творчески переработать в своем сознании. Основная трудность в том, что человек – всего лишь

элемент сложной автоматизированной системы контроля и управления, которая не адаптирована под его творческие возможности. Разработанные ранее в рамках эргономики методы встраивания оператора в такую систему отчасти позволили адаптировать его к организационно-техническим системам, но огромный потенциал творческой и профессиональной интуиции не использовался в полной мере. Однако благодаря прогрессу в области когнитивных наук и информационных технологий появились принципиально новые возможности для радикального решения означенных проблем. Этот прогресс особо проявился в создании новых технологий и методик когнитивной машинной графики.

Одной из основных задач указанной системы поддержки принятия решений является обеспечение автоматизированной обработки потоков информации о состоянии объекта управления с отображением ее в реальном масштабе времени в удобном для пользователя виде. Ее реализация должна производиться на основе использования когнитивной машинной графики, конкретных экспертных эвристических методик или информационных технологий, их реализующих и ориентированных зачастую на нечеткость и слабую формализуемость достигаемых при информационном обеспечении целей, выполняемых задач и принимаемых решений.

Предлагаемая методика доведения до потребителей информации о ТС КСр с использованием алгоритмов сжатия данных и когнитивного графического представления заключается в выполнении ряда последовательных этапов.

Этап 1. Подготовка исходных данных.

На этом этапе осуществляются выбор анализируемых бортовых систем и режимов их работы (на основе циклограммы полета), телеметрируемых параметров (ТМП), летно-технических характеристик, статистический анализ результатов пусковых компаний аналогичных изделий. В изделиях ракетно-космической техники производятся измерение и обработка нескольких тысяч ТМП. С учетом различной частоты опроса измерительных датчиков общее количество получаемых значений результатов измерений значительно превышает миллион.

Этап 2. Формирование множества ТС и диагностических признаков (ДП).

На этом этапе с учетом результатов летных испытаний и на основе конструкторской документации на изделие формируется так называемая таблица состояний анализируемого объекта. Строки этой таблицы представляют собой подлежащие распознаванию ТС (это могут быть как состояния, характеризующие отказы отдельных функциональных систем (блоков, узлов) в соответствии с выбранной глубиной анализа, так и состояния, соответствующие различным режимам работы объекта). В столбцах таблицы находятся модельные значения ДП, соответствующие указанным техническим состояниям. Диагностические признаки могут быть представлены как в дискретной, так и в непрерывной (в виде интервалов на вещественной числовой оси) формах представления (рис. 1).

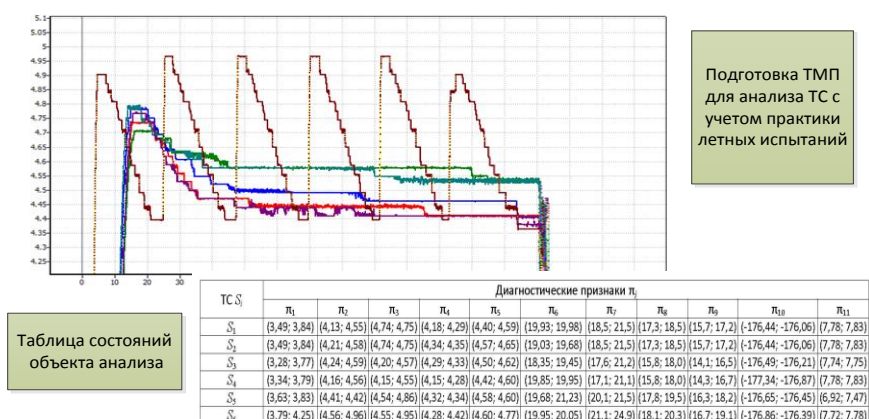


Рис. 1. Формирование множеств ТС и ДП (фрагмент)

Этап 3. Выбор наиболее «ценных» ДП с использованием алгоритмов построения гибких программ анализа ТС.

В рамках этого этапа из общего количества анализируемых ДП выбираются те из них, которые обладают наибольшей ценностью для распознавания ТС объекта. Выбор осуществляется в соответствии с мерой ценности информации, предложенной известным отечественным ученым В.И. Корогодиным. Методика выбора наиболее «ценных» ДП с учетом различной формы их представления подробно описана в работах [2, 3]. В результате выполнения третьего этапа осуществляется первый этап снижения размерности исходной совокупности анализируемых параметров.

Этап 4. Снижение размерности множества ДП с минимальным изменением геометрии их взаимосвязей на основе использования алгоритма сжатия.

На данном этапе с помощью известного метода главных компонент [4] осуществляется переход от большого числа исходных показателей состояния объекта к существенно меньшему числу наиболее информативных ДП.

Метод главных компонент (МГК) применяется к данным, записанным в виде матрицы $X_{[n,p]}$ – прямоугольной таблицы чисел, строки которой называются образцами, а столбцы – переменными. Цель МГК – извлечение из этих данных нужной информации.

Сжатие пространства данных

$$X_i^T = (x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^p); i = \overline{1, n} \quad (1)$$

можно представить в виде вектора $Z_i^{p'}$ некоторых вспомогательных параметров с существенно меньшим ($p' \ll p$) числом признаков (латентных или ненаблюдаемых переменных).

Это обусловлено следующими причинами:

- необходимостью наглядного представления (визуализации) исходных данных, что достигается их проецированием на специально подобранное трехмерное пространство ($p' = 3$), плоскость ($p' = 2$) или числовую прямую;
- стремлением к лаконизму исследуемых моделей, обусловленному необходимостью упрощения счета и интерпретации полученных статистических выводов;
- ограниченными возможностями человека в одновременном анализе («охвате») большого числа частных критериев какого-либо свойства системы и стремлением к определению вида «сверткам» этих частных критериев, к их агрегированию, а в отдельных случаях – к переходу к единственному интегральному индикатору;
- необходимостью существенного сжатия объемов хранимой статистической информации (без видимых потерь в ее информативности).

При формировании новой системы признаков к последним предъявляются следующие требования:

- наибольшая информативность;
- взаимная некоррелированность;
- наименьшее искажение геометрической структуры множества исходных данных и т.п.

Возможность перехода от большого числа исходных показателей состояния объекта к существенно меньшему числу наиболее информативных ДП обусловлена:

- а) дублированием информации, доставляемой сильно взаимосвязанными признаками;
- б) низкой информативностью признаков, мало меняющихся при переходе от одного объекта к другому («малая вариабельность» признаков);
- в) возможностью агрегирования, т.е. простого или «взвешенного» суммирования по некоторым признакам.

Для реализации предлагаемого алгоритма используются следующие исходные данные:

- исходный массив $X_{[n,p]}$ из n измерений по p телеметрируемым параметрам;

- каждое из измерений X_i представляется в виде вектора $Z(x)$ некоторых обобщенных параметров $Z^{(1)}, \dots, Z^{(p')}$ с существенно меньшим (чем p) числом компонент p' ;
- характеристики $Z^{(1)}, \dots, Z^{(p')}$ выбираются или определяются по какому-либо правилу по совокупности телеметрируемых параметров (например, как их линейные комбинации);
- задана мера $I_{p'}(Z(x))$ информативности системы обобщенных параметров $Z(x)$, которая вычисляется с помощью выражения

$$I_{p'}(Z(x)) = \frac{D_{z^{(1)}} + \dots + D_{z^{(p')}}}{D_{x^{(1)}} + \dots + D_{x^{(p)}}}, \quad (2)$$

где $D_{x^{(i)}}$ и $D_{z^{(i)}}$ – дисперсии диагностических признаков и обобщенных параметров соответственно.

Задача заключается в определении такого набора характеристик $F(x)$ из класса допустимых преобразований, при котором

$$I_{p'}(\tilde{Z}(x)) = \underset{Z \in F(x)}{\text{extr}} \{I_{p'}(Z(x))\}. \quad (3)$$

Метод главных компонент осуществляет переход к новой системе координат $Z^{(1)}, \dots, Z^{(p')}$ в исходном пространстве признаков $X^{(1)}, \dots, X^{(p)}$, при этом класс $F(x)$ допустимых преобразований векторов (1) представляет собой систему ортонормированных линейных комбинаций

$$\begin{cases} z_i(x) = \sum_{j=1}^p \lambda_{ij} (x_j - \overline{m_j}); i = \overline{1, n} \\ \sum_{j=1}^p \lambda_{ij}^2 = 1; i = \overline{1, n} \\ \sum_{j=1}^p \lambda_{ij} \lambda_{ik} = 0; j, k = \overline{1, p}; j \neq k \end{cases}, \quad (4)$$

где m_j – математическое ожидание признака x_j .

Первой главной компонентой $\tilde{z}^{(1)}(X)$ исследуемой системы параметров $X_i^T = (x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^p); i = \overline{1, n}$ называется такая нормированно-центрированная линейная комбинация этих показателей, которая среди всех прочих нормированно-центрированных линейных комбинаций переменных $(x_1^1, x_1^2, \dots, x_1^p)$ обладает наибольшей дисперсией.

Так, k -й главной компонентой $\tilde{z}^{(k)}(X)$ исследуемой системы параметров называется такая нормированно-центрированная линейная комбинация этих показателей, которая не коррелирована с $(k-1)$ предыдущими главными компонентами и среди всех прочих нормированно-центрированных и некоррелированных с предыдущими $(k-1)$ главными компонентами линейных комбинаций переменных $(x_1^1, x_1^2, \dots, x_1^p)$ обладает наибольшей дисперсией.

Другими словами, линейные комбинации выбираются таким образом, что среди всех возможных нормированно-центрированных линейных комбинаций исходных признаков первая главная компонента $\tilde{z}^{(1)}(X)$ обладает наибольшей дисперсией. Геометрически это выглядит как ориентация новой координатной оси $\tilde{z}^{(1)}$ вдоль направления наибольшей вытянутости эллипсоида рассеивания объектов исследуемой выборки в пространстве признаков $X^{(1)}, \dots, X^{(p)}$. Вторая главная компонента имеет наибольшую дисперсию среди всех остав-

шихся линейных преобразований, некоррелированных с первой главной компонентой. Она интерпретируется как направление наибольшей вытянутости эллипсоида рассеивания, перпендикулярное первой главной компоненте. Следующие главные компоненты определяются по аналогичной схеме.

Для примера на рис. 2,а показаны данные, состоящие только из двух переменных x_1 и x_2 , которые связаны сильной корреляцией. На рис. 2,б те же данные представлены в новых координатах.

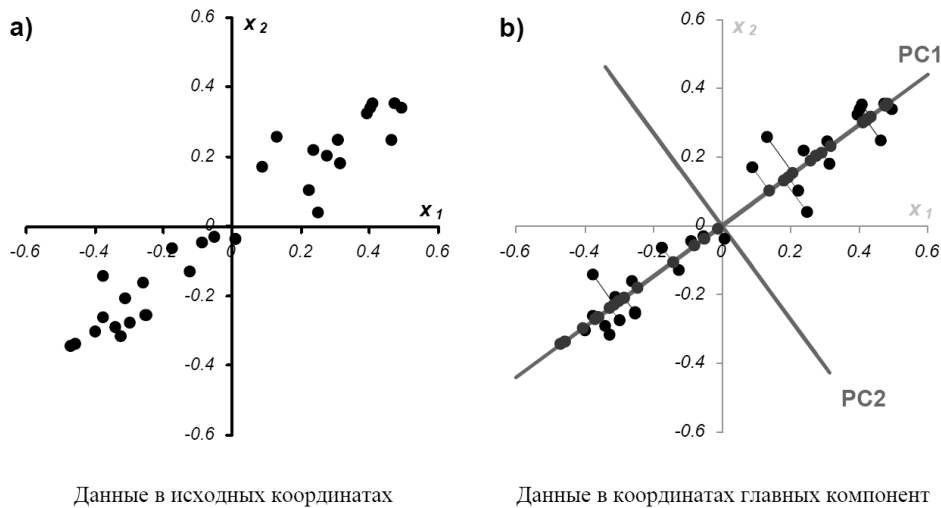


Рис. 2. Графическая иллюстрация метода главных компонент

Вычисление коэффициентов главных компонент λ_{ij} основано на том факте, что векторы $\lambda_i = (\lambda_{i1}, \dots, \lambda_{ip})^T, \dots, \lambda_p = (\lambda_{p1}, \dots, \lambda_{pp})^T$ являются собственными векторами корреляционной матрицы. В свою очередь, соответствующие собственные числа этой матрицы равны дисперсиям проекций множества объектов на оси главных компонент.

Алгоритм сжатия ДП заключается в выполнении ряда последовательных шагов.

Шаг 1. Оценить основные числовые характеристики (средние значения, ковариации) диагностических признаков:

$$M(x^{(j)}) = \bar{x}^{(j)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad j = \overline{1, p};$$

$$\hat{\sigma}_{kj} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i^{(k)} - \bar{x}^{(k)}) \cdot (x_i^{(j)} - \bar{x}^{(j)})}{n} \quad (k, j = \overline{1, p})$$

и построить ковариационную матрицу диагностических признаков

$$\mathbf{C}_{X[p]} = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_{12} & \sigma_{13} & \dots & \sigma_{1p} \\ \sigma_{21} & \sigma_2^2 & \sigma_{23} & \dots & \sigma_{2p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sigma_{p1} & \sigma_{p2} & \sigma_{p3} & \dots & \sigma_p^2 \end{pmatrix}.$$

Шаг 2. Найти решение относительно λ следующего уравнения:

$$|\mathbf{C}_{X[p]} - \lambda_{[p]} \cdot \mathbf{I}_{[p]}| = 0.$$

В этой формуле $\mathbf{I}_{[p]}$ – единичная матрица; $\lambda_{[p]}$ – вектор-столбец p вещественных неотрицательных корней, называемых собственными значениями ковариационной матрицы $\mathbf{C}_{X[p]}$.

Шаг 3. Рассчитать первую обобщенную переменную

$$z^{(1)}(X) = l_1 \cdot X,$$

где l_1 – собственный вектор матрицы $C_{X[p]}$, соответствующий наибольшему собственному числу λ этой матрицы;

$$\begin{aligned} \lambda_k &= D_{z^{(k)}} \left(k = \overline{1, p} \right); \\ D_{z^{(1)}} &= D(l_1 \cdot X) = l_1 \cdot C_{X[p]} \cdot l_1^T; \\ l_1 \cdot C_{X[p]} \cdot l_1^T &= \lambda. \end{aligned}$$

При этом обобщенная дисперсия массива $X_{[n,p]}$ исходных диагностических признаков $(\det(C_{X[p]}))$ равна обобщенной дисперсии массива $Z_{[n,p]}$ обобщенных параметров

$$\left(\det(C_{X[p]}) = \det(C_{Z[p]}) \right).$$

Следует также учитывать, что обобщенные параметры Z_k ранжируются в порядке убывания λ_k .

Шаг 4. Рассчитать остальные обобщенные переменные Z_k в соответствии с шагом 3.

Шаг 5. В соответствии с выбранным значением критерия информативности $I_{p'}(Z(x))$ определить количество обобщенных параметров Z_q , где $q = \overline{1, p'}$, $p' \ll p$, учитывая что

$$I_{p'}(Z(x)) = \frac{\lambda_1 + \dots + \lambda_{p'}}{p}.$$

Завершающая стадия четвертого этапа предлагаемой методики проиллюстрирована на рис.3.

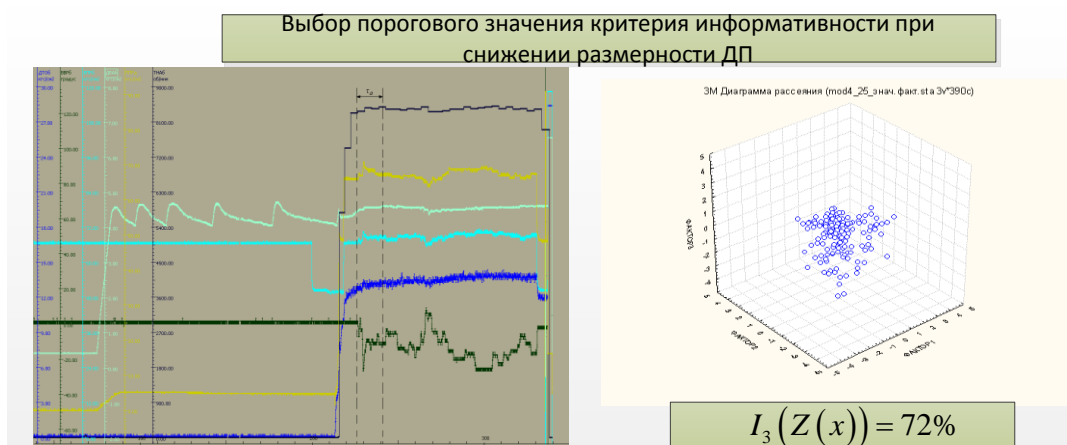


Рис.3. Выбор порогового значения критерия информативности

Этап 5. Наглядное графическое представление информации в удобном для пользователя виде.

Как известно, средства когнитивной визуализации обстановки позволяют решать задачу активной и управляемой стимуляции интуиции и эмпирического опыта оператора для принятия адекватных решений в современной сложной и быстроменяющейся обстановке.

На таком этапе осуществляется проекция многомерных данных на произвольно заданную оператором-исследователем плоскость в многомерном конфигурационном (фазовом) пространстве. При этом подбор наилучшего положения плоскости проекции осуществляет сам пользователь, опираясь на свою интуицию и когнитивный образ перед глазами. Имея возможность активно влиять на ориентацию плоскости проекции в многомерном пространстве,

исследователь свободен от предварительных соображений о статистической (геометрической) структуре данных, которые представляют объекты. Человек непосредственно видит на экране проекции кластеров или многомерных поверхностей, в которые формируются его данные. Этот зрелищный образ стимулирует его интуитивное понимание исследуемых объектов.

Когнитивная визуализация осуществляется на основе преобразования p -мерного проективного пространства в когнитивный трехмерный образ (рис. 4).

Использование визуализации многомерных статистических данных с помощью генерации когнитивного образа в качестве дополнительного инструмента при анализе ТС позволяет осуществлять контроль изменений в состоянии анализируемого объекта. Даже малые изменения параметров объекта существенно изменяют его когнитивный образ, что позволяет оператору мгновенно заметить изменение характеристик.

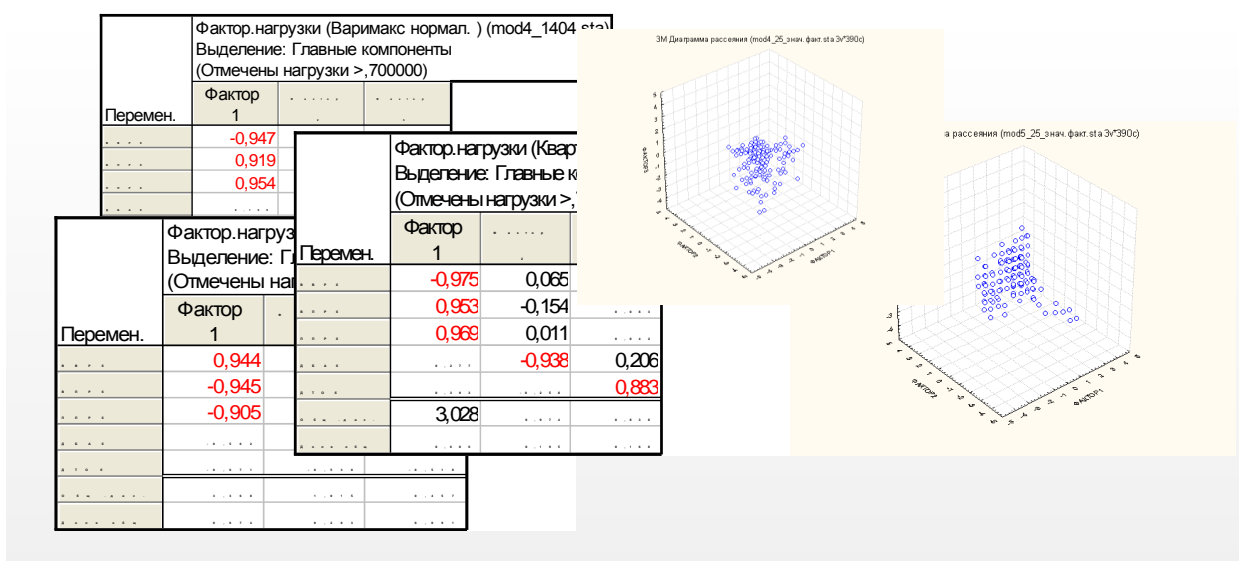


Рис.4. Наглядное графическое представление информации (фрагмент)

Процедура динамической визуализации не опирается на неполные и, возможно, ложные априорные сведения о природе объектов, а значит, не привнося в проекции искажающее влияние той или иной модели, дает возможность использовать визуализированные образы в условиях глубокой априорной неопределенности предметной области анализа ТС КСр.

Список используемых источников

1. ГОСТ РО 1410-002-2010. Комплексы космические. Система информации о техническом состоянии и надежности комплексов и входящих в их состав изделий.
2. Алгоритм построения гибкой программы диагностирования технического объекта по критерию ценности получаемой информации / Е.В. Копкин, В.А. Чикуров, В.В. Алейник, О.Г. Лазутин // Труды СПИИРАН. – 2015. – Вып. 4(41). – С. 106–130.
3. Копкин Е.В., Кравцов А.Н., Лазутин О.Г. Выбор дискретных диагностических признаков с учетом их ценности для распознавания технического состояния объекта // Информация и космос. – 2015. – № 2. – С. 111–117.
4. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности: справочное издание / С.А. Айвазян, В.М. Бухштабер, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин; под ред. С.А. Айвазяна. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 607 с.

А.М. Андреев,
кандидат техн. наук;
В.И. Дикарев,
кандидат техн. наук;
И.А. Пучкова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ СУДОВ И САМОЛЕТОВ С БОРТА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРЕУГОЛЬНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

В статье предложен новый подход к фазовой пеленгации и определению местоположения радиосигналов аварийных радиобуев терпящих бедствие судов, основанный на использовании треугольной антенной решетки и вычислении суммы и разности разностей фаз между антенными элементами. Применение предложенного подхода в спутниковой системе КОСПАС-SARSAT обеспечит возможность повышения оперативности оповещения об обнаружении аварийных сигналов за счет проведения измерений в течение одного пролета космического аппарата.

Ключевые слова: спутниковая система КОСПАС-SARSAT, аварийный радиобуй (АРБ), фазовая пеленгация, треугольная антенная решетка, оперативность оповещения.

В последние десятилетия хорошо зарекомендовала себя международная система КОСПАС-SARSAT, предназначенная для определения местоположения аварийных радиобуев (АРБ). В состав системы входят низкоорбитальные спутники, геостационарные спутники, локальные наземные станции связи, центр управления и координатно-спасательные центры. Часть спутников предоставляется и поддерживается США, Канадой и Францией, другая часть – Россией.

Функционирование спутниковой части системы осуществляется на частоте 406,025 МГц, взаимодействие с поисковыми самолетами происходит на частоте 121,5 МГц. Передатчики с указанными частотами устанавливаются на АРБ. В настоящее время имеется три типа АРБ: авиационные, морские и переносные (для использования на суше). В случае необходимости запеленгованные сигналы АРБ могут быть ретранслированы спутниками системы КОСПАС-SARSAT на наземные станции – пункты приема информации (ППИ) для обработки и определения местоположения АРБ. Каждый ППИ обслуживает район радиусом примерно 2500 км. В систему КОСПАС-SARSAT входят 15 ППИ, размещенные в Канаде, Франции, США, России, Австралии и Японии. В России ППИ расположены в Москве, Архангельске, Новосибирске и Владивостоке [1].

В системе КОСПАС-SARSAT для определения координат АРБ за один пролет низкоорбитального космического аппарата (КА) требуется достаточно высокая стабильность частоты излучения передатчика АРБ. Если задача определения координат АРБ не решена при первом пролете КА, то неоднозначность разрешается при втором прохождении с помощью математических методов. Ожидание второго пролета КА существенно снижает оперативность оповещения о терпящем бедствие судне (от 1,5 до 9–10 ч и более). На текущий момент время оповещения пытаются уменьшить за счет увеличения количества используемых КА [2, 3].

Наиболее перспективным путем решения указанной проблемы является обеспечение возможности определения местоположения АРБ уже при первом обнаружении его сигнала.

С этой целью и для повышения точности пеленгации АРБ с борта спутника системы КОСПАС-SARSAT разработана схема нового бортового приемника, совмещенного с пеленгатором, в котором предлагается использовать новый вариант расположения бортовых приемных антенн [4].

На рис. 1 отображено взаимное расположение приемных антенн в рассматриваемой системе.

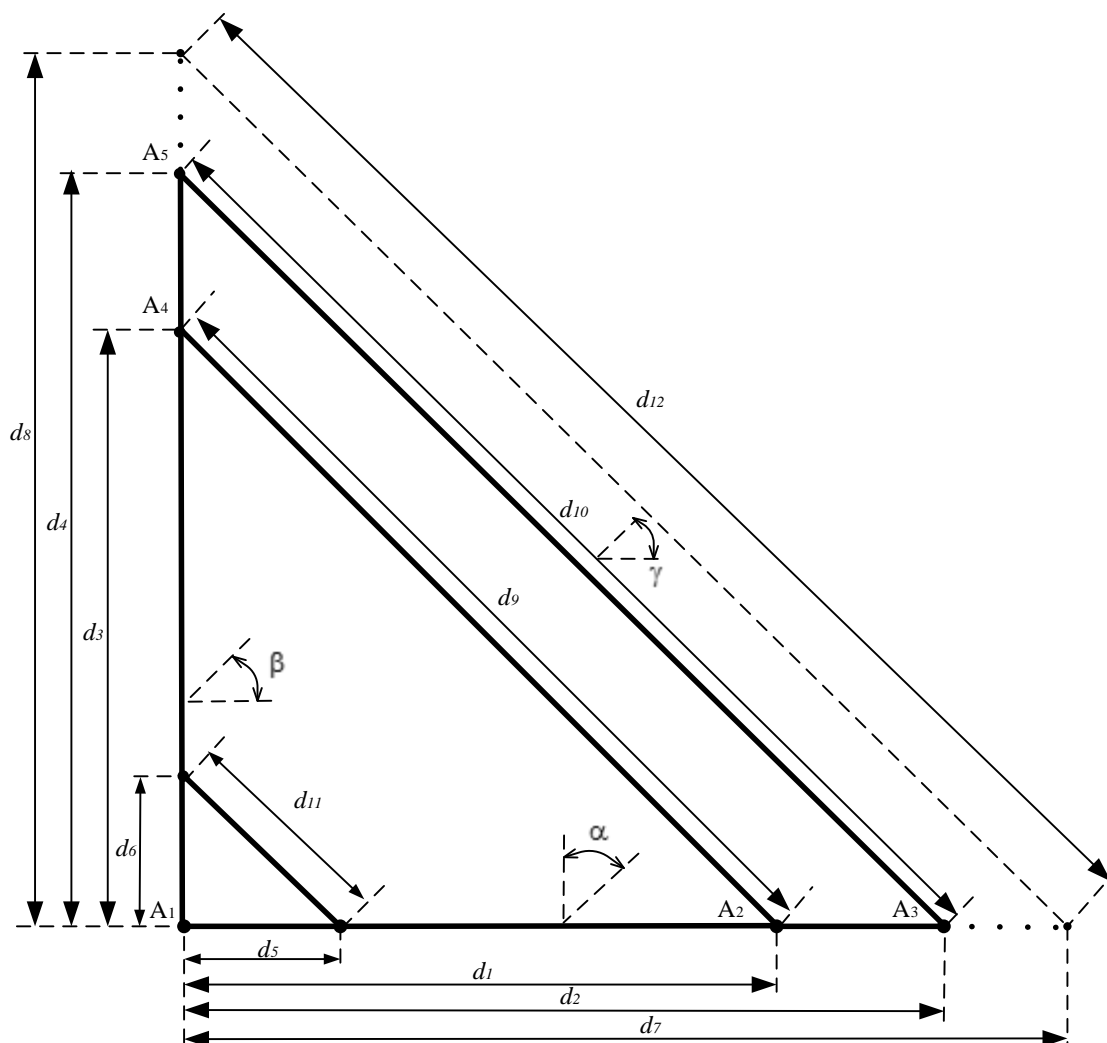


Рис. 1. Взаимное расположение приемных антенн

На рисунке введены следующие обозначения:

$A_1 - A_5$ – точки расположения антенн;

$d_1 - d_4$ – измерительные базы;

$d_5 - d_8$ – расчетные измерительные базы;

d_9, d_{10} – измерительные базы, расположенные в гипотенузной плоскости;

α, β – угловые координаты АРБ (азимут и угол места);

γ – угол ориентации АРБ.

Структурная схема совмещенного приемника-пеленгатора представлена на рис. 2.

Бортовой приемник-пеленгатор работает следующим образом.

Сканирование заданного диапазона частот D_f и поиск сигналов с фазовой манипуляцией (ФМн – сигналов) АРБ осуществляются с помощью блока поиска, который периодически с периодом T_{Π} по пилообразному закону изменяет частоту ω_T гетеродина.

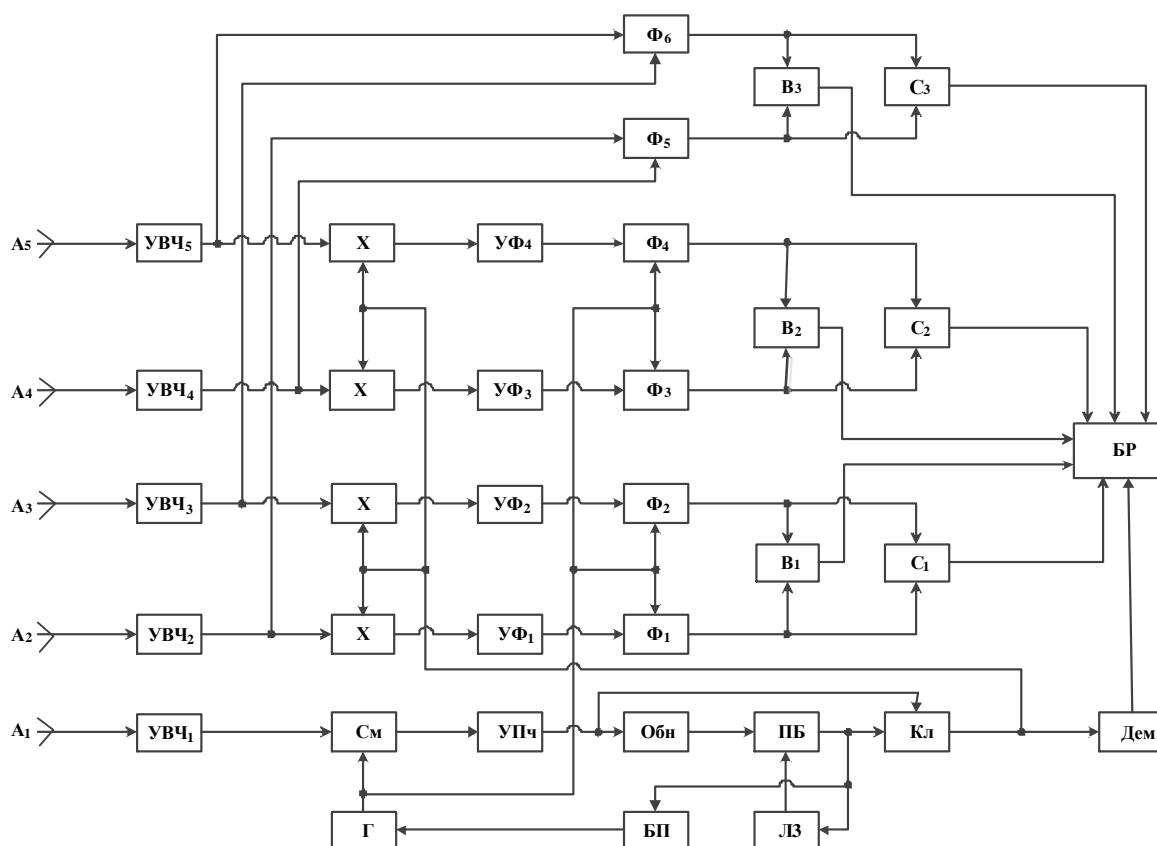


Рис. 2. Структурная схема бортового приемника-пеленгатора

На рис.2 используются следующие обозначения:

$A_1 - A_5$	– антенны;	Обн	– обнаружитель;
УВЧ ₁ –УВЧ ₅	– усилители высокой частоты	БП	– блок поиска;
X	– умножители;	ЛЗ	– линия задержки;
См	– смеситель;	$B_1 - B_3$	– вычитатели;
Г	– гетеродин;	$C_1 - C_3$	– сумматоры;
УФ ₁ –УФ ₄	– узкополосные фильтры;	Кл	– ключ;
УПЧ	– усилитель промежуточной частоты;	ПБ	– пороговый блок;
$\Phi_1 - \Phi_6$	– фазометры;	Дем	– демодулятор.
БР	– блок регистрации;		

Принимаемые от АРБ ФМн-сигналы могут быть представлены следующими выражениями:

$$\begin{aligned}
 u_1(t) &= U_1 \cos [(\omega_c \pm \Delta\omega)t + \varphi_k(t) + \varphi_1]; \\
 u_2(t) &= U_2 \cos [(\omega_c \pm \Delta\omega)t + \varphi_k(t) + \varphi_2]; \\
 u_3(t) &= U_3 \cos [(\omega_c \pm \Delta\omega)t + \varphi_k(t) + \varphi_3]; \\
 u_4(t) &= U_4 \cos [(\omega_c \pm \Delta\omega)t + \varphi_k(t) + \varphi_4]; \\
 u_5(t) &= U_5 \cos [(\omega_c \pm \Delta\omega)t + \varphi_k(t) + \varphi_5],
 \end{aligned}$$

причем $0 \leq t \leq T_c$,

где $U_1 - U_5$ – амплитуды сигналов;

$\varphi_1 - \varphi_5$ – начальные фазы сигналов;

ω_c – несущая частота сигналов;

T_c – длительность сигналов;

$\pm \Delta\omega$ – нестабильность несущей частоты сигналов, обусловленная различными дестабилизирующими факторами, в том числе и эффектом Доплера;

$\varphi_k(t)$ – манипулируемая составляющая фазы сигналов, при этом $\varphi_k(t) = \{0, \pi\}$.

Манипулируемая составляющая фазы сигналов отображает закон фазовой манипуляции в соответствии с модулирующим кодом $M(t)$, который, в свою очередь, является идентификационным кодом АРБ.

Принимаемые ФМн-сигналы с выходов приемных антенн $A_2 - A_5$ через усилители высокой частоты УВЧ₂ – УВЧ₅ поступают на перемножители X.

Принимаемый ФМн-сигнал с выхода приемной антенны A_1 через усилитель высокой частоты УВЧ₁ поступает на первый вход смесителя. На второй вход смесителя подается напряжение гетеродина

$$u_r(t) = U_r \cos(\omega_r t + \varphi_r).$$

На выходе смесителя образуются напряжения комбинационных частот. Усилителем промежуточной частоты выделяется напряжение промежуточной частоты

$$u_{np}(t) = U_{np} \cos[(\omega_{np} \pm \Delta\omega)t + \varphi_k(t) + \varphi_{np}], \quad 0 \leq t \leq T_c,$$

$$\text{причем } U_{np} = \frac{1}{2} U_1 U_r,$$

где ω_{np} – промежуточная частота, при этом $\omega_{np} = \omega_c - \omega_r$;

φ_{np} – начальная фаза промежуточной частоты, при этом $\varphi_{np} = \varphi_1 - \varphi_r$.

Данное напряжение промежуточной частоты $u_{np}(t)$ через обнаружитель и пороговый блок поступает на управляющий вход ключа. При обнаружении сложного ФМн-сигнала ключ открывается. В исходном состоянии ключ всегда закрыт. При этом напряжение $u_{np}(t)$ с выхода УПЧ через открытый ключ поступает в демодулятор, в котором выделяется низкочастотное напряжение, пропорциональное модулирующему коду $M(t)$. Это напряжение фиксируется блоком регистрации.

Время задержки τ_z линии задержки выбирается таким, чтобы можно было провести обработку обнаруженного ФМн-сигнала. По истечении этого времени напряжение с выхода линии задержки поступает на вход сброса порогового блока и сбрасывает его в начальное (нулевое) состояние. При этом блок поиска переводится в режим перестройки, а ключ закрывается, т.е. они переводятся в свои исходные состояния.

В случае обнаружения в последующем времени ФМн-сигнала, излучаемого АРБ некоторого иного объекта, потерпевшего аварию, система работает аналогичным образом.

В каждом случае обнаружения ФМн-сигналов на выходе перемножителей пеленгационных сигналов образуются гармонические колебания:

$$u_6(t) = U_6 \cos(\omega_r t + \varphi_r + \Delta\varphi_1);$$

$$u_7(t) = U_7 \cos(\omega_r t + \varphi_r + \Delta\varphi_2);$$

$$u_8(t) = U_8 \cos(\omega_r t + \varphi_r + \Delta\varphi_3);$$

$$u_9(t) = U_9 \cos(\omega_r t + \varphi_r + \Delta\varphi_4);$$

причем $0 \leq t \leq T_c$,

где

$$U_6 = \frac{1}{2} U_2 U_{\text{пр}};$$

$$U_7 = \frac{1}{2} U_3 U_{\text{пр}};$$

$$U_8 = \frac{1}{2} U_4 U_{\text{пр}};$$

$$U_9 = \frac{1}{2} U_5 U_{\text{пр}};$$

$$\Delta\varphi_1 = \varphi_2 - \varphi_1 = 2\pi \frac{d_1}{\lambda} \cos \alpha;$$

$$\Delta\varphi_2 = \varphi_3 - \varphi_1 = 2\pi \frac{d_2}{\lambda} \cos \alpha;$$

$$\Delta\varphi_3 = \varphi_4 - \varphi_1 = 2\pi \frac{d_3}{\lambda} \cos \beta;$$

$$\Delta\varphi_4 = \varphi_5 - \varphi_1 = 2\pi \frac{d_4}{\lambda} \cos \beta.$$

Указанные гармонические колебания $u_6(t) - u_9(t)$ выделяются узкополосными фильтрами $УФ_1 - УФ_4$ и поступают на первые входы фазометров $\Phi_1 - \Phi_4$ соответственно. На вторые входы фазометров $\Phi_1 - \Phi_4$ подается напряжение $U_T(t)$ гетеродина.

Напряжения $u_{\text{пр}1}(t)$ и $u_{\text{пр}3}(t)$, $u_{\text{пр}2}(t)$ и $u_{\text{пр}4}(t)$ подаются на два входа фазометров Φ_5 и Φ_6 соответственно. Фазометры Φ_5 и Φ_6 измеряют фазовые сдвиги $\Delta\varphi_5$ и $\Delta\varphi_6$, которые определяются по выражениям:

$$\Delta\varphi_5 = \varphi_4 - \varphi_2 = 2\pi \frac{d_9}{\lambda} \cos \gamma;$$

$$\Delta\varphi_6 = \varphi_5 - \varphi_3 = 2\pi \frac{d_{10}}{\lambda} \cos \gamma.$$

Измеренные фазовые сдвиги $\Delta\varphi_1$ и $\Delta\varphi_2$, $\Delta\varphi_3$ и $\Delta\varphi_4$, $\Delta\varphi_5$ и $\Delta\varphi_6$ с выходов фазометров Φ_1 и Φ_2 , Φ_3 и Φ_4 , Φ_5 и Φ_6 поступают на два входа вычитателей B_1 , B_2 , B_3 и сумматоров C_1 , C_2 , C_3 соответственно.

На выходе указанных вычитателей формируются разности разностей фаз:

$$\Delta\varphi_{p1} = \Delta\varphi_2 - \Delta\varphi_1,$$

$$\Delta\varphi_{p2} = \Delta\varphi_4 - \Delta\varphi_3,$$

$$\Delta\varphi_{p3} = \Delta\varphi_6 - \Delta\varphi_5,$$

эквивалентные измерению фазовых сдвигов на измерительных базах, длина которых определяется разностью измерительных баз:

$$d_5 = d_2 - d_1,$$

$$d_6 = d_4 - d_3,$$

$$d_{11} = d_{10} - d_9.$$

Таким образом, выбирая разности измерительных баз d_5 , d_6 , d_{11} достаточно малыми, можно обеспечить формирование грубых, но однозначных шкал отсчета азимута α , угла места β и угла ориентации γ АРБ.

На выходе сумматоров C_1 , C_2 , C_3 образуются суммы разностей фаз:

$$\Delta\varphi_{c1} = \Delta\varphi_1 + \Delta\varphi_2,$$

$$\Delta\varphi_{c2} = \Delta\varphi_3 + \Delta\varphi_4,$$

$$\Delta\varphi_{c3} = \Delta\varphi_5 + \Delta\varphi_6,$$

эквивалентные измерению фазовых сдвигов на измерительных базах, длина которых определяется суммой измерительных баз:

$$d_7 = d_1 + d_2,$$

$$d_8 = d_3 + d_4,$$

$$d_{12} = d_9 + d_{10}.$$

Здесь формируются точные, но неоднозначные шкалы отсчета азимута α , угла места β и угла ориентации γ АРБ.

В результате между сформированными косвенным методом измерительными базами устанавливаются следующие неравенства:

$$\frac{d_5}{\lambda} < \frac{1}{2} \leq \frac{d_7}{\lambda},$$

$$\frac{d_6}{\lambda} < \frac{1}{2} \leq \frac{d_8}{\lambda},$$

$$\frac{d_{11}}{\lambda} < \frac{1}{2} \leq \frac{d_{12}}{\lambda}.$$

Итак, при использовании особого расположения антенн и формировании измерительных баз косвенным методом после измерения вышеуказанным способом одновременно с высокой точностью и при условии однозначности – азимута α , угла места β , и угла ориентации γ – можно определить местоположение АРБ судна или самолета за один пролет КА.

Отметим, что описанный принцип определения местоположения АРБ с борта спутников системы КОСПАС-SARSAT отражает новый подход к фазовой пеленгации источников радиоизлучения (ИРИ). Он базируется на том, что приемные антенны должны располагаться в виде прямоугольного треугольника, в вершине прямого угла которого размещается приемная антенна A_1 измерительного канала (рис. 1).

Фазовый пеленгатор с таким расположением приемных антенн инвариантен к виду модуляции (манипуляции) и нестабильности несущей частоты принимаемых сигналов. Классическое расположение антенны и измерительных баз в виде симметричного креста не обеспечивает этого качества. Кроме того, формирование измерительных баз косвенным методом обеспечивает тонкую и однозначную пеленгацию ИРИ даже в тех случаях, когда из-за конструктивных ограничений это сделать невозможно, например, на борту летательного аппарата [2].

Предложенный подход к фазовой пеленгации ИРИ может найти применение на практике. Возможность реализации предлагаемой схемы исследовалась в рамках научно-технического проекта «Региональная информационно-коммуникационная система «ПЕТЕРСПУТНИК» [2].

Таким образом, внедрение новой схемы бортового приемника сигналов АРБ, обеспечивающего пеленгование с использованием предложенного варианта построения антенной системы, может обеспечить однозначное и достаточно точное пеленгование сигналов терпящих бедствие судов соответственно в режиме времени, близком к реальному, может определять и передавать их координаты на наземные ППИ для организации спасения.

Список используемых источников

1. Официальный сайт КОСПАС-SARSAT. – URL: <http://www.cospas-sarsat.org> (дата обращения: 05.06.2015).
2. Дикарев В.И., Заренков Д.В., Койнаш Б.В. Космические, самолетные и вертолетные системы в деятельности оперативных служб. – СПб.: изд-во «АСВ», 2004. – 171 с.
3. Патент РФ №2.201.601. Спутниковая система для определения местоположения судов и самолетов, потерпевших аварию, G01S 5/04, 2001 / Дикарев В.И., Заренков В.А., Заренков Д.В.
4. Заявка на изобретение. Спутниковая система для определения судов и самолетов, потерпевших аварию, G01S 5/04, 2015 / Дикарев В.И.

К.Н. Богаченков;
В.В. Вознюк,
кандидат техн. наук, доцент

МЕТОД СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНЫХ ПОМЕХ РЕТРАНСЛЯЦИОННОГО ТИПА РАДИОСИСТЕМАМ СО СЛОЖНЫМИ СИГНАЛАМИ

В статье рассматривается энергоэффективный метод подавления радиосистем со сложными сигналами, основанный на принципе создания сигналоподобных помех ретрансляционного типа.

Ключевые слова: радиосистемы, сложные сигналы, помехи ретрансляционного типа.

Фундаментальным принципом, положенным в основу построения современных радиосистем со сложными сигналами, является псевдослучайность фазы или частоты полезного сигнала, что мешает системе радиоподавления (РП) добиваться эффективного воздействия за счет введения искусственной неопределенности параметров сигнала и вынуждает систему РП с ограниченной мощностью передатчика распределять спектральную плотность мощности помех по всему диапазону частот либо по некоторым участкам частотного диапазона, оставляя остальные участки диапазона свободными от воздействия помех. Наиболее полно положительные свойства методов расширения спектра проявляются при использовании сигналов с большой базой. Однако увеличение базы сигналов приводит к снижению скорости передачи информации. Таким образом, способ передачи информации с расширением спектра сигналов заключается: *на передающей стороне* – в одновременной и независимой модуляции параметров сигнала специальным кодом (расширяющей спектр функцией) и передаваемым сообщением; *на приемной стороне* – в синхронной демодуляции сигнала в соответствии с расширяющей спектр функцией и восстановлении переданного сообщения [2].

Известно, что наибольшей помехоустойчивостью к воздействию большинства типовых известных помех в условиях отсутствия достоверной информации о структуре подавляемого сигнала обладают приемники корреляционного или согласованного с сигналом типа. Напряжение $v(t)$ на выходе линейной части таких приемников в момент времени T можно найти с помощью следующих выражений:

$$v_{\text{кф}}(T) = \int_0^T x(\tau) \cdot s(\tau) d\tau \quad (1)$$

$$v_{\text{сф}}(T) = \int_0^T x(\tau) \cdot h(t - \tau) d\tau. \quad (2)$$

В этих выражениях $x(\tau)$ – аддитивная смесь входного сигнала $s(t)$ и помех $N_{\text{нп}}(t) + N_{\text{пп}}(t)$ непреднамеренного и преднамеренного характера, а $h(t)$ – импульсная характеристика фильтра. Как основной признак согласованности фильтра в формуле (2) выступает условие

$$h(t) = a \cdot s(T - t). \quad (3)$$

Общим между коррелятором и согласованным фильтром является равенство (с точностью до постоянной) выходных напряжений интеграторов в момент времени T . Это и определяет их взаимную эквивалентность с точки зрения обнаружения полезного сигнала. Выбор между коррелятором и согласованным фильтром, как правило, зависит от технических особенностей проектируемого приемного устройства, однако следует иметь в виду, что при больших базах ($B \geq 10^3$) коррелятор предпочтительнее, так как согласованный фильтр становится до-

статочным сложным устройством [1]. С учетом этого все последующие выводы будут справедливы для обоих типов рассматриваемых устройств.

Исключительная роль приемников корреляционного и согласованного типа объясняется тем, что они максимизируют отношение сигнал/помеха на своем выходе. Это отношение при действии на входе приемника белого шума со спектральной плотностью \mathcal{N}_0 и сигнала с энергией E_s не зависит от формы сигнала и определяется как

$$\rho_0^2 = 2E_s/\mathcal{N}_0. \quad (4)$$

Принимая во внимание, что $\mathcal{N}_0 = P_n/F$, а $E_s = P_s \cdot T$, где F – полоса частот сигнала и T – длительность сигнала, выражение (4) запишем в виде

$$\rho_0^2 = 2FT \cdot P_s/P_n = 2B \cdot P_s/P_n \quad (5)$$

В выражении (5) величина $B = FT$ представляет базу сигнала, которая для простых сигналов $B \approx 1$, а для сложных – $B \gg 1$. Из анализа выражения (5) следует, что при использовании сложных сигналов может быть обеспечен выигрыш в B раз относительно простых сигналов (если сравнивать отношение сигнал/помеха на выходе линейной части приемника и это же отношение на его входе). Кроме того, в [3] показано, что выражения (4) и (5) справедливы как для узкополосных, так и для сосредоточенных (согласованных по полосе частот) помех, если не учитываются собственные шумы приемника. Применительно к действию импульсных помех приемники рассматриваемого типа обладают повышенной устойчивостью, характеризуемой выигрышем в B^2 раз. Именно вследствие данного свойства, позволяющего увеличивать помехоустойчивость при использовании сложных сигналов в условиях действия помех с конечной мощностью, согласованные и корреляционные приемные устройства нашли широкое применение.

Для создания эффективной техники РП рассматриваемые типы приемных устройств являются сложными для дезорганизации объектами, так как даже для рациональных помех, подстраивающихся под форму спектра сигнала, результат подавления характеризуется энергетическим проигрышем лишь немногим меньше базы $B = FT$ используемых в них сигналов, в частности, при оптимальной (с точки зрения минимизации отношения сигнал/шум) помехе, определяемой заданной спектральной плотностью

$$N(\omega) = 2/\sqrt{\delta} \cdot |g(\omega)|, \quad (6)$$

где спектр полезного сигнала $\sqrt{\delta} = 1/\pi P_n \cdot \int_0^\infty |g(\omega)| d\omega$, а $g(\omega) = \int_{-\infty}^\infty s(t) \cdot e^{-j\omega t} dt$.

Для данной оптимальной помехи отношение сигнал/шум на выходе линейной части приемника запишется в следующем виде:

$$\rho_0^2_{\min} = 1/P_n \left[\frac{1}{\pi} \int_0^\infty |g(\omega)| d\omega \right]^2. \quad (7)$$

Из выражения (7) в соответствии с [1] следует неравенство

$$\rho_0^2_{\min} \leq 2EF/P_n = 2FT \cdot P_s/P_n, \quad (8)$$

причем знак равенства в последнем выражении выполняется только при $|g(\omega)| = \text{const}$. В этом случае помеха также будет обладать равномерным распределенным спектром со спектральной мощностью $N(\omega) = \mathcal{N}_0 = P_n/F = \text{const}$. Однако необходимо отметить, что даже для оптимальной (с точки зрения минимизации отношения сигнал/шум) помехи, адаптирующейся под форму сигнала в соответствии с формулой (6), для сложных сигналов остается неустранимым проигрыш (8) по средней мощности в B раз. Объяснением данного факта может являться только одно обстоятельство – при создании оптимальной помехи в соответ-

ствии с правилом (6) с условием сохранения информации по форме амплитудного спектра теряется информация о форме фазового спектра подавляемого сигнала.

Так, полный комплексный спектр сигнала может быть представлен в следующем виде:

$$g(\omega) = |g(\omega)| \cdot e^{j\varphi(\omega)}, \quad (9)$$

где $\varphi(\omega)$ – фазовый спектр сигнала. Правило формирования оптимальной помехи в соответствии с выражением (6) информацию о фазовом спектре $\varphi(\omega)$ никак не использует.

В связи с указанным обстоятельством возникает закономерный вопрос: может ли быть найдено новое правило формирования оптимальной помехи для приемников согласованного или корреляционного типа, основанное на использовании полного или частичного знания о форме и параметрах фазового спектра полезного сигнала, которое бы обеспечило лучшее отношение сигнал/шум, чем правило (6).

Для случая полной информации о спектре полезного сигнала ответ на этот вопрос очевиден. Напряжение на выходе (отклик) фильтра с импульсной характеристикой $h(t)$ [коэффициентом передачи $k(\omega)$], когда на его входе действует аддитивная сумма сигнала $s(t)$ со спектром $g(\omega)$, помехи $N_n(t)$ со спектром $n_n(\omega)$ и шума $\xi(t)$ со спектральной плотностью мощности \mathcal{N}_0 , в соответствии с выражением (2),

$$v(T) = \int_0^T [s(\tau) + N_n(t) + \xi(t)] \cdot h(t - \tau) d\tau. \quad (10)$$

Принимая во внимание условие оптимальности согласованного приемника [1], обеспечивающего максимизацию отношения сигнал/шум на выходе в условиях действия помехи $N_n(t)$, имеем

$$h(t) = 1/2\pi \cdot \int_{-\infty}^{\infty} a \cdot g^*(\omega) / (b \cdot |n_n(\omega)|^2 + \mathcal{N}_0) \cdot e^{j\omega(t-T)} d\omega. \quad (11)$$

Здесь $g^*(\omega)$ – комплексно-сопряженный спектр сигнала $s(t)$, а a, b – некоторые константы. Обозначим через $H(\omega)$ спектр импульсной характеристики согласованного фильтра, тогда

$$H(\omega) = a \cdot g^*(\omega) / (b \cdot |n_n(\omega)|^2 + \mathcal{N}_0). \quad (12)$$

Обладая всей полной информацией о спектре сигнала, логично искать помеховое воздействие в виде инверсной копии сигнала, т.е.

$$N_n(t) = -s(t) \quad (13)$$

с комплексным спектром

$$n_n(\omega) = |n_n(\omega)| \cdot e^{j\varphi_n(\omega)}, \quad (14)$$

где $n_n(\omega) = g(\omega)$, а $\varphi_n(\omega) = \pi + \varphi(\omega)$.

Тогда спектр отклика фильтра $v(t)$ с учетом (10), (12) и (14) будет следующим:

$$S_v(\omega) = (g(\omega) + n_n(\omega) + S_{ш}(\omega)) \cdot H(\omega), \quad (15)$$

где в общем случае $S_{ш}(\omega)$ – случайный спектр шума $\xi(t)$ в полосе пропускания приемника F . Подставляя соответствующие функции спектров в выражение (15), получим

$$S_v(\omega) = \frac{a(|g(\omega)|^2 + |g(\omega)|^2 e^{j\pi} + S_{ш}(\omega) \cdot g^*(\omega))}{(b \cdot |g(\omega)|^2 + \mathcal{N}_0)} = \frac{aS_{ш}(\omega) \cdot g^*(\omega)}{(b \cdot |g(\omega)|^2 + \mathcal{N}_0)}. \quad (16)$$

На основе анализа (16) становится очевидным, что на выходе согласованного фильтра имеем реакцию приемника на воздействие шума $\xi(t)$, а принятый полезный сигнал отсутствует.

Имея в виду, что шум $\xi(t)$ характеризуется равномерной функцией спектральной плотности мощности, а также принимая во внимание выражение для определения мощности шума на выходе фильтра, получим следующую оценку мощности помехи на выходе приемника:

$$P_{\text{пвых}} = 1/2\pi \int_{-\infty}^{\infty} S_{ш}(\omega) |H(\omega)|^2 d\omega = \mathcal{N}_0 / 2\pi \int_{-\infty}^{\infty} |H(\omega)|^2 d\omega = \mathcal{N}_0 E / 2, \quad (17)$$

где

$$E = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |H(\omega)|^2 d\omega. \quad (18)$$

Понятно, что величина E есть некоторая константа для согласованного фильтра. Следовательно, для рассматриваемой идеальной ситуации полной компенсации полезного сигнала на выходе согласованного фильтра имеем лишь его реакцию на действие внешнего и внутреннего шумов. Вместе с тем известно, что на практике условия полного знания структуры подавляемого сигнала и его параметров невыполнимы. Потенциально возможно лишь частичное приближение к полному знанию структуры и параметров такого сигнала. Предположим, что с помощью некоторых устройств (например, ретранслятора радиосигналов) на входе подавляемого приемника может быть сформирована помеха сигналоподобного типа следующего вида:

$$N_{\Pi}(t) = s_r(t - \Delta, \omega + \Omega), \quad (19)$$

где

$$\lim_{\Delta \rightarrow 0, \Omega \rightarrow 0} s_r(t - \Delta, \omega + \Omega) = ks(t).$$

Здесь Δ – некоторая временная задержка помехи относительно времени прихода сигнала в приемник;

Ω – некоторое смещение несущей частоты помехи относительно несущей частоты сигнала на входе в приемник;

k – некоторая константа.

Известно [3], что произвольный сигнал можно задать в следующем виде:

$$s(t) = U(t) \cos[\omega_0 t + \theta(t)] \quad (20)$$

или в аналитическом представлении

$$\mathbf{s}(t) = \mathbf{U}(t) e^{i\omega_0 t}, \quad (21)$$

где $\mathbf{U}(t) = U(t) e^{i\theta(t)}$ – комплексная огибающая сигнала.

Принимая во внимание такое представление сигнала модель помехи будет выглядеть следующим образом:

$$N_{n\Delta, \Omega}(t) = kU(t - \Delta) \cos[(\omega_0 + \Omega)(t - \Delta) + \theta(t - \Delta)] \quad (22)$$

или в аналитическом представлении

$$\mathbf{N}_{n\Delta, \Omega}(t) = ks(t - \Delta) e^{i\Omega t} = k\mathbf{U}(t - \Delta) e^{i\omega_0 t} e^{i\Omega t}, \quad (23)$$

где

$$\mathbf{U}(t - \Delta) = U(t - \Delta) e^{i\theta(t - \Delta)} e^{-i\Omega \Delta}. \quad (24)$$

В силу малости величины $\Omega \Delta$ по сравнению с $\omega_0 t$ выражение (24) преобразуем к следующему виду:

$$\mathbf{U}(t - \Delta) \approx U(t - \Delta) e^{i\theta(t - \Delta)}. \quad (25)$$

Тогда, с учетом выражения (10), на выходе согласованного фильтра при действии помехи вида (23) будет такое значение:

$$v_T(t) = \int_0^T [s(\tau) + N_{n\Delta, \Omega}(t) + \xi(t)] \cdot h(t - \tau) d\tau. \quad (26)$$

Интеграл (26) можно представить в виде трех слагаемых, каждое из которых рассмотрим более подробно:

$$v_T(t) = v_{1T}(t) + v_{2T}(t) + v_{3T}(t), \quad (27)$$

где

$$\begin{aligned} v_{1T}(t) &= \int_0^T s(\tau) \cdot h(t - \tau) d\tau; \\ v_{2T}(t) &= \int_0^T N_{n\Delta, \Omega}(\tau) \cdot h(t - \tau) d\tau; \\ v_{3T}(t) &= \int_0^T \xi(\tau) \cdot h(t - \tau) d\tau. \end{aligned}$$

Наибольший интерес, с точки зрения помехового воздействия, вызывает величина $v_{2T}(t)$, которая по смыслу является реакцией согласованного фильтра на сигналоподобную помеху вида (23). Принимая во внимание (3) и (23) выражение для определения $v_{2T}(t)$ в аналитическом представлении запишем в следующем виде:

$$v_{2T}(t) = a \cdot \int_0^T s(\tau - \Delta) e^{i\Omega\tau} \cdot s(T - t + \tau) d\tau. \quad (28)$$

Для $t = T$

$$v_{2T}(T) = a \cdot \int_0^T s(\tau - \Delta) e^{i\Omega\tau} \cdot s(\tau) d\tau = 2aE \cdot r(\Delta, \Omega), \quad (29)$$

где $r(\Delta, \Omega)$ – автокорреляционная функция сигнала $s(t)$ в аналитическом представлении, при этом $r(\Delta, \Omega) = R(\Delta, \Omega) e^{i\omega_0 t}$. Очевидно, что для выделения информации на выходе коррелятора или согласованного фильтра должно находиться устройство выделения огибающей $R(\Delta, \Omega)$ быстро осциллирующего процесса (с частотой несущей ω_0).

Как следует из [3], нормированное значение комплексной огибающей автокорреляционной функции сигнала $s(t)$ может быть найдено с учётом (20) и (21) в следующем виде:

$$R(\Delta, \Omega) = \frac{1}{2E} \int_{-\infty}^{\infty} U(t) \cdot U^*(t - \Delta) e^{i\Omega t} dt \quad (30)$$

или для комплексных спектров огибающих

$$R(\Delta, \Omega) = \frac{1}{4\pi E} \int_{-\infty}^{\infty} G(\omega - \Omega) \cdot G^*(\omega) e^{i\omega\Delta} dt. \quad (31)$$

Для $R(\Delta, \Omega)$ характерны следующие свойства:

1. $R(\Delta, \Omega) \leq 1$.

2. $R(\Delta, \Omega) = 1$, только для случая $U(t) e^{i\Omega t} = aU(t - \Delta)$, когда фильтр согласован с сигналом на его входе по частоте Ω и запаздыванию Δ . Кроме того, это равенство верно для $\Omega = 0$ и $\Delta = 0$, т.е. $R(0, 0) = 1$.

3. $R(-\Delta, -\Omega) = R^*(\Delta, \Omega) \cdot e^{i\Omega\Delta}$, из чего следует $|R(-\Delta, -\Omega)| = |R^*(\Delta, \Omega)|$, т.е. изменение знаков аргументов такой функции не меняет величины ее модуля.

4. После симметризации выражений (30) и (31)

$$R_c(\Delta, \Omega) = \frac{1}{2E} \int_{-\infty}^{\infty} U(t + \Delta/2) \cdot U^*(t - \Delta/2) e^{i\Omega t} dt,$$

$$R_c(\Delta, \Omega) = \frac{1}{4\pi E} \int_{-\infty}^{\infty} G(\omega - \Omega/2) \cdot G^*(\omega + \Omega/2) e^{i\omega\Delta} dt.$$

Справедливы следующие соотношения:

$$R_c(-\Delta, -\Omega) = R_c^*(\Delta, \Omega);$$

$R_c(-\Delta, \Omega) = R_c(\Delta, \Omega)$ – при условии, что амплитудный спектр комплексной огибающей – четная функция, а ее фазовый спектр – нечетная;

$R_c(\Delta, -\Omega) = R_c(\Delta, \Omega)$ – при условии, что огибающая сигнала – четная функция, а его фаза – нечетная (данному свойству удовлетворяют сигналы с угловой модуляцией).

5. $\frac{1}{2\pi} \iint_{-\infty}^{\infty} |R_c(\Delta, \Omega)|^2 d\Delta d\Omega = 1$.

В качестве примера $R(\Delta, \Omega)$ приведем вид автокорреляционной функции сигнала с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) с шириной спектра F и длительностью T

$$R(\Delta, \Omega) = \left(1 - \frac{|\Delta|}{T}\right) \frac{\sin\left[\frac{D}{2}\left(\frac{\Delta}{T} + \frac{\Omega}{W}\right)\left(1 - \frac{|\Delta|}{T}\right)\right]}{\frac{D}{2}\left(\frac{\Delta}{T} + \frac{\Omega}{W}\right)\left(1 - \frac{|\Delta|}{T}\right)} e^{i\Omega\Delta},$$

где $D = W \cdot T = 2\pi FT = 2\pi B$.

Характер зависимости $R(\Delta, \Omega)$ для $F = 10$ Гц, $T = 1$ с, $W = 2\pi F = 62.832$, $D = 62.832$, $B = 10$ показан на рис. 1 и рис. 2.

Для других видов сложных сигналов указанные зависимости будут иметь схожий характер.

Определение величины $v_{1T}(t)$ в формуле (27) осуществляется подобным образом, что позволяет записать:

$$v_{1T}(T) = b \cdot \int_0^T s(\tau - \Delta_s) e^{i\Omega_s \tau} \cdot s(\tau) d\tau = 2bE \cdot r(\Delta_s, \Omega_s), \quad (32)$$

где $r(\Delta_s, \Omega_s) = R(\Delta_s, \Omega_s) e^{i\omega_0 t}$ – автокорреляционная функция сигнала $s(t)$ в аналитическом представлении.

При решении задачи синтеза эффективной сигналоподобной помехи, сформированной на основе ретрансляции для случая согласованного приема информации при использовании

сложного сигнала на выходе линейного детектора приемника $Ld\langle \dots \rangle$, запишем следующее условие оптимальности:

$$\min_{\Delta, \Omega} \{ |\lim_{\Delta_s, \Omega_s \rightarrow 0} Ld\langle v_{1T}(T, \Delta_s, \Omega_s) \rangle + Ld\langle v_{2T}(T, \Delta, \Omega) \rangle| \} \quad (33)$$

или с учетом операции детектирования, а также автоподстройки несущей частоты и времени запаздывания сигнала в приемнике, т.е. $\Delta_s, \Omega_s \rightarrow 0$,

$$\min_{\Delta, \Omega} \{ |Re[\mathbf{R}(0,0)] + k \cdot Re[\mathbf{R}(\Delta, \Omega)]| \} \quad (34)$$

при следующих ограничениях:

$$B \geq k \geq 1; \Delta \geq \Delta^* \text{ и } -\Omega^* \leq \Omega \leq \Omega^*. \quad (35)$$

В этом выражении используются следующие обозначения: k – отношение мощности сигналоподобной помехи к мощности полезного сигнала на входе приемника (очевидно, что k не должно превышать базу B сложного сигнала, так как при невыполнении этого требования целесообразно использовать для подавления шумовую помеху); Δ^* – минимальная физически реализуемая временная задержка помехи относительно подавляемого сигнала, а Ω^* – предельное значение частотной расстройки помехи и подавляемого сигнала, реализуемое ретранслятором. Учитывая второе свойство автокорреляционной функции и принимая во внимание, что $Re[\mathbf{R}(0,0)] = 1$, перепишем выражение (34) при тех же ограничениях (35) следующим образом:

$$\min_{\Delta, \Omega} \{ |1 + k \cdot Re[\mathbf{R}(\Delta, \Omega)]| \}. \quad (36)$$

Предположим, что найдется некоторая пара (Δ_o, Ω_o) оптимальных значений временной и частотной расстройки сигналоподобной помехи рассматриваемого типа, при которых выражение (36), с учетом ограничений (35) и $k \neq 0$, будет иметь место. Тогда несложно показать, что коэффициент k примет следующее значение:

$$k = 1 / |Re[\mathbf{R}(\Delta_o, \Omega_o)]|, \quad (37)$$

а следовательно, выражение (36) окончательно запишем в виде

$$\min_{\Delta, \Omega} \left\{ \left| 1 + \frac{Re[\mathbf{R}(\Delta, \Omega)]}{|Re[\mathbf{R}(\Delta_o, \Omega_o)]|} \right| \right\}. \quad (38)$$

Выражение (37) имеет важное практическое значение, так как, с одной стороны, определяет минимальный энергетический проигрыш эффективной сигналоподобной помехи, а с другой – показывает во сколько раз необходимо повысить мощность такой помехи по сравнению с мощностью подавляемого сигнала на входе приемника, чтобы обеспечить минимально возможный уровень отклика согласованного фильтра или коррелятора. По аналогии с понятием коэффициента подавления для традиционных шумовых помех определим величину k [выражение (37)] как *коэффициент помеховой компенсации*. Изучая характер зависимости автокорреляционной функции комплексной огибающей сигнала с ЛЧМ, приведенной на рис. 1, можно сделать вывод, что первой оптимальной парой параметров временной задержки и частотной расстройки будет $(\Delta_o = 0.23, \Omega_o = -48)_1$, которой соответствует значение $k_1 = 1/0.76 \approx 1.32$, второй парой параметров – $(\Delta_o = 0.39, \Omega_o = -84)_2$ со значением $k_2 = 1/0.6 \approx 1.67$, третьей парой – $(\Delta_o = 0.48, \Omega_o = -109)_3$ со значением $k_3 = 1/0.49 \approx 2.04$ и т.д., последняя значимая пара – $(\Delta_o = 0.88, \Omega_o = -197)_9$ со значением $k_9 = 1/0.12 \approx 8.33$. Следующей паре параметров соответствует значение $k_{10} = 11.2$, что превышает значение базы сигнала, и, следовательно, применение сигналоподобной помехи рассматриваемого типа становится нецелесообразным.

Исследования функций неопределенности для разного класса, широко используемых в радиотехнических системах сложных сигналов (Баркера, М-последовательностей, Голда, Якоби, Лежандра и др.), показали, что основной пик тела неопределенности окружен довольно большими боковыми пиками.

Учитывая, что статистическое среднее уровней боковых лепестков функций неопределенности сложного сигнала с базой $B \geq 50$ составляет величину $\sigma_{Rb} = 1/\sqrt{B}$ [1], уровень максимальных пиков может превышать это значение в $\beta_R = 5 \div 6$ раз. Принимая данный факт во внимание, можно вывести приближенную оценку коэффициента помеховой компенсации

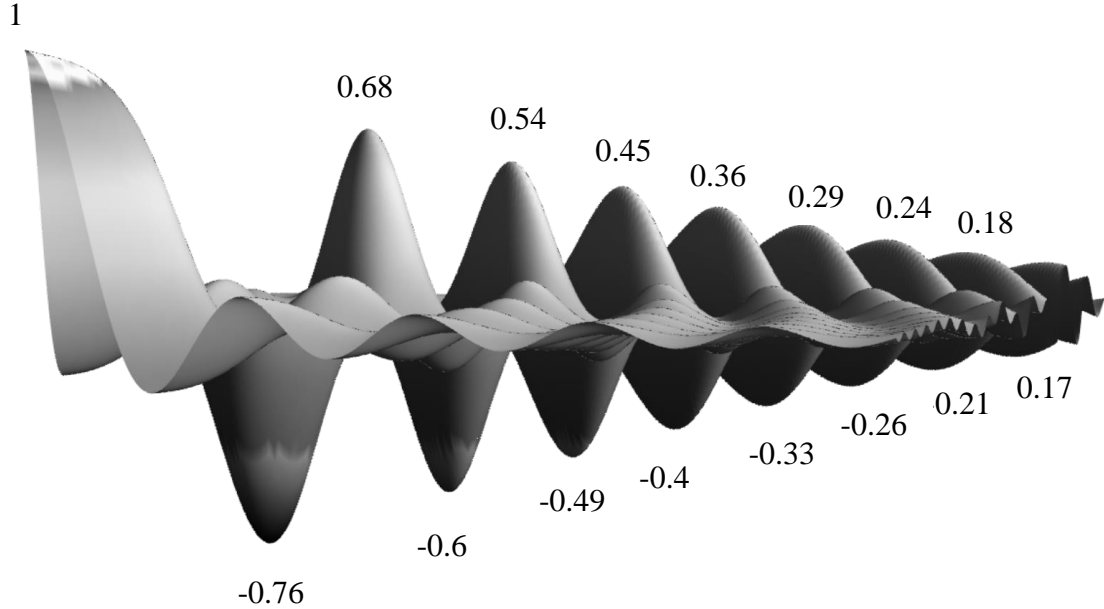


Рис. 1. Характер зависимости автокорреляционной функции комплексной огибающей сигнала

Ω , рад/с

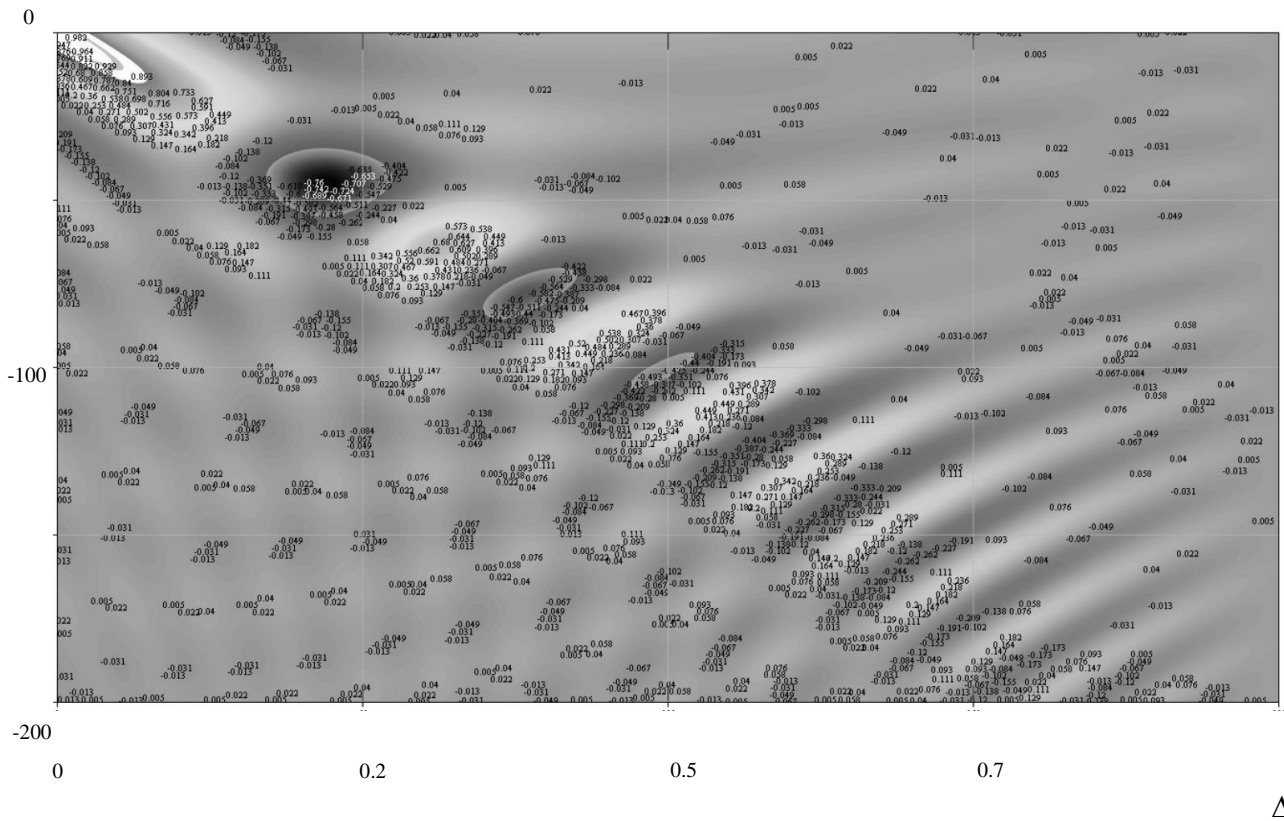


Рис. 2. Топографическая диаграмма зависимости автокорреляционной функции комплексной огибающей сигнала с ЛЧМ

$k_{\min} = 1/\beta_R \cdot \sigma_{Rb} = \sqrt{B}/5 \dots 6 \approx 0.2\sqrt{B}$ для $B \geq 50$ или более точное приближение

$$k_{\min} \approx (0.2 + 0.8 \cdot e^{-\sqrt{B/5}})\sqrt{B} \text{ для } B \geq 5.$$

Данные зависимости позволяют оценить потенциальный выигрыш ρ^* рассматриваемых помех по отношению к традиционным шумовым в виде отношения $\rho^* = K_{\Pi}/k_{\min}$, где K_{Π} – коэффициент подавления для шумовой помехи. Учитывая, что коэффициент подавления традиционной шумовой помехи применительно к сложному сигналу с базой B составит $K_{\Pi} = \gamma_{\text{ш}}B$, где $\gamma_{\text{ш}} > 1$, искомый выигрыш $\rho^* \approx 5\gamma_{\text{ш}}\sqrt{B}$ для $B \geq 50$.

Таким образом, энергетический выигрыш эффективной сигналоподобной помехи, сформированной на основе ретрансляции полезного сигнала, по сравнению с традиционной шумовой помехой для ($\Delta > 0, |\Omega| > 0$) потенциально может составить величину, пропорциональную корню квадратному из базы B подавляемого сигнала. Из этого следует, что данный выигрыш растет с увеличением базы подавляемого сигнала, и, следовательно, преимущественной областью применения рассматриваемой помехи является борьба с высокопомехозащищенными радиосистемами.

Список используемых источников

1. *Быков В.В.* Цифровое моделирование в статистической радиотехнике. – Советское радио, 1971. – 328 с.
2. *Варакин Л.Е.* Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.
3. *Варакин Л.Е.* Теория сложных сигналов. – М.: Советское радио, 1970. – 376 с.
4. *Паршуткин А.В.* Концептуальная модель взаимодействия конфликтующих информационных и телекоммуникационных систем // Вопросы кибербезопасности. – 2014. – № 5 (8). – С. 2–6.
5. *Паршуткин А.В.* Основы оптимизации стохастических воздействий на каналы утечки информации // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. – 1999. – № 2. – С. 17.
6. Радиоэлектронные информационные воздействия в конфликтах информационных и телекоммуникационных систем / А.В. Паршуткин, С.А. Святкин, Д.А. Бажин, А.М. Сазыкин // Вопросы оборонной техники. Сер. 16. Технические средства противодействия терроризму. – 2015. – № 5/6. – С. 13–17.
7. Принципы построения системы ретрансляции сигналов радиолокационных станций на базе низкоорбитальных сверхмалых космических аппаратов / В.Ф. Фатеев, А.В. Паршуткин, В.В. Вознюк, С.А. Святкин, С.А. Зайцев // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2007. – Т. 50, № 6. – С. 35–39.

В.В. Вознюк,
кандидат техн. наук, доцент;
П.А. Маслаков;
А.В. Фомин

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ АППАРАТУРЫ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ГЛОБАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ GPS НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОГРАММНОГО ПРИЕМА

В статье исследуется помехоустойчивость навигационного приемника глобальной навигационной спутниковой системы GPS на основе применения технологии Software – defined radio (SDR) – программно-определяемой радиосистемы. Приведен пример реализации SDR-приемника навигационных сигналов. Рассмотрен общий подход к численной оценке помехоустойчивости SDR-приемника.

Ключевые слова: программно-определяемая радиосистема, SDR-приемник, помехоустойчивость.

На современном этапе развития технологий создания радиоэлектронных средств всё большую популярность приобретает технология SDR (Software-defined radio) – программно-определяемая радиосистема. К SDR принято относить радиосистемы, в которых некоторые или все функции физического уровня (фильтрация, модуляция/демодуляция, преобразование спектра, усиление сигналов) реализуются программными средствами и могут быть программно изменены без непосредственного физического вмешательства в схему устройства.

Главным достоинством SDR технологии является возможность программного изменения настроек радиосистемы без изменения аппаратной части. Благодаря этому преимуществу SDR технология широко применяется в современных системах связи, когда одна и та же аппаратная платформа может работать с различными протоколами обмена информации и видами сигналов. Технология программного приема часто применяется и в радионавигации при построении современной навигационной аппаратуры потребителей (НАП). В этой области она дает широкие возможности по использованию новых перспективных алгоритмов обработки навигационных сигналов.

Целью настоящей статьи является исследование помехоустойчивости навигационного приемника глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) GPS на основе применения технологии SDR. Исследования в статье проводятся с помощью реализованного в среде Matlab программного приемника навигационных сигналов, описанного в [1].

Актуальность темы работы обусловлена тенденцией всё более широкого применения технологии SDR в современных радиоэлектронных системах различного назначения. Кроме того, программная реализация навигационного приемника позволяет использовать обширные возможности среды моделирования Matlab для исследования помехоустойчивости алгоритмов обработки сигналов и приемника в целом и избегать больших затрат времени и средств, свойственных натурным испытаниям.

Навигационная аппаратура потребителей ГНСС предназначена для определения пространственных координат и составляющих вектора скорости потребителя, текущего времени в результате приема и обработки радиосигналов, излучаемых навигационными космическими аппаратами (НКА).

На рис. 1 представлена обобщенная схема современной НАП, в состав которой входят антенна, радиочастотный блок (РЧБ), синтезатор частот, аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и цифровой вычислитель (ЦВ) [2].

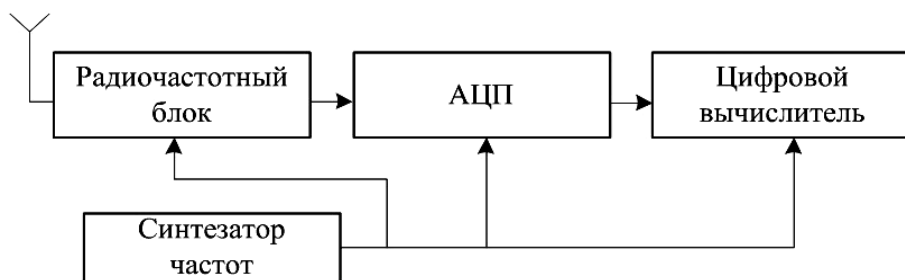


Рис.1. Обобщенная схема НАП

Традиционно на практике ЦВ включает в себя жесткую аппаратную часть (многоканальный коррелятор), реализующий первичную обработку сигналов, и программируемый вычислитель, решающий задачи вторичной обработки сигналов.

Рассматривая SDR технологию приема навигационных сигналов ГНСС, необходимо отметить, что в идеальном случае АЦП должен устанавливаться сразу за антенной и оцифровывать сигнал на частоте несущей (L1 1575,42 МГц, «идеальный» программный приемник). Сформированные таким образом цифровые отсчеты напрямую обрабатываются программой, заложенной в цифровом вычислителе. Однако на практике без радиочастотной части (используемой для понижения частоты) не обходятся, ввиду высокой стоимости быстродействующих АЦП, способных с требуемым качеством оцифровать навигационный сигнал на частоте L1. Технология SDR, в данном случае, реализуется полностью программным исполнением цифрового вычислителя (рис.2) [4].

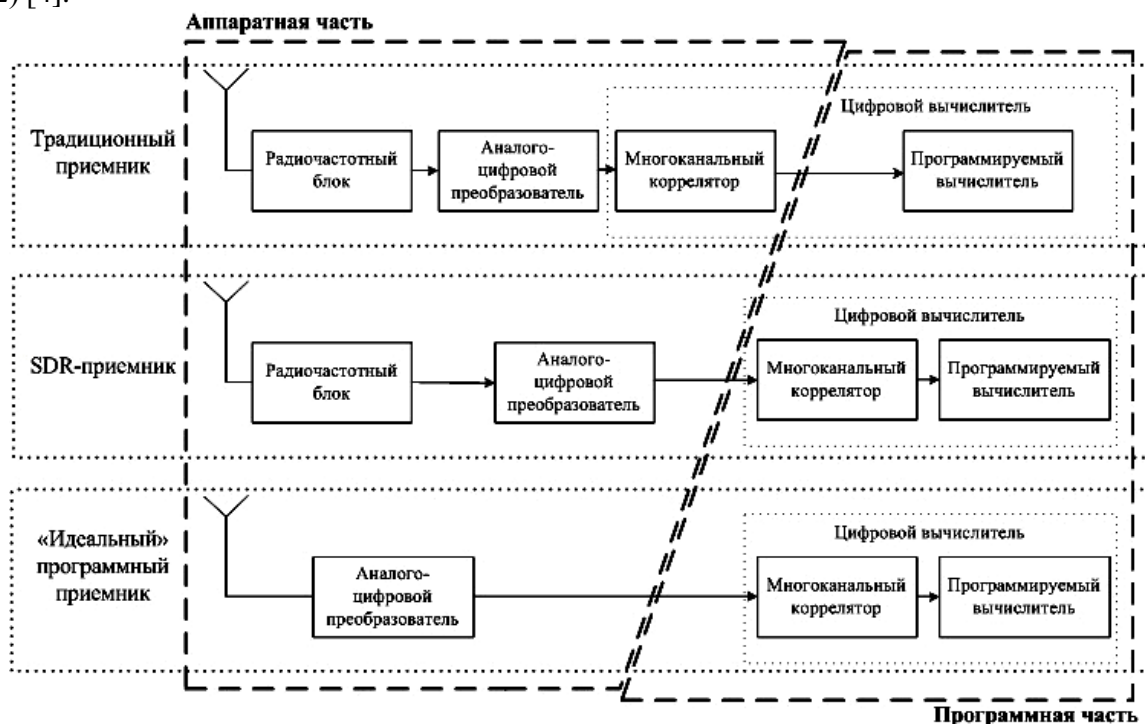


Рис.2. Схема традиционного и SDR-приемника навигационных сигналов

Если в качестве вычислителя использовать персональный компьютер, то для реализации SDR-приемника сигналов ГНСС GPS на нем должно функционировать программное обеспечение, реализующее функции поиска и обнаружения сигналов, слежения за задержкой кода и частотой сигнала, декодирования навигационной информации, решения навигационной задачи. Вариант такого решения можно представить в виде программы Matlab [1], исходными данными для которой будут цифровые отсчеты, поступающие с выхода АЦП. Обобщенная схема такого варианта SDR-приемника представлена на рис. 3 [4].

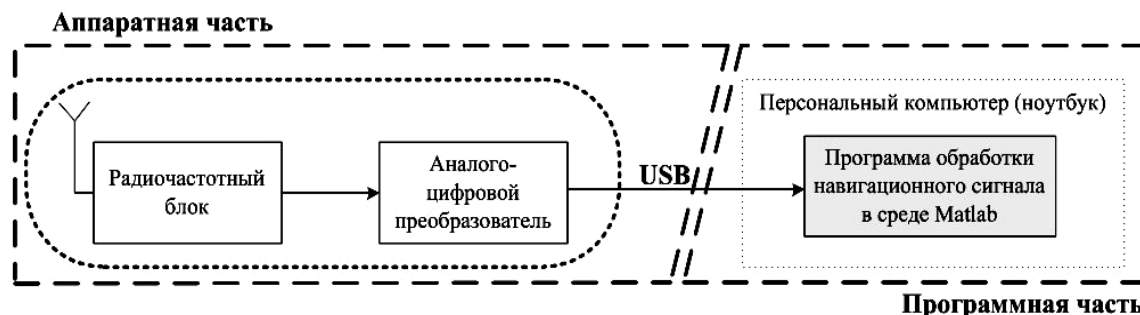


Рис.3. Обобщенная схема SDR-приемника (в качестве вычислителя используется ПЭВМ)

Цифровые отсчеты, формируемые аппаратной частью SDR-приемника, записываются в файл данных, который далее обрабатывается программой в среде Matlab. Сформированный файл данных содержит в своем составе сигналы всех НКА ГНСС GPS, доступных для наблюдения на заданной территории в текущий момент времени.

Программная часть SDR-приемника реализует обработку файла данных, состоящую в обнаружении сигналов НКА, выделении передаваемых навигационных сообщений и вычислении местоположения. Подробное описание процесса решения этих задач SDR-приемником приведено в работе [1].

Радиоприемная аппаратура спутниковой навигации, как и любая другая радиоаппаратура, подвержена воздействию радиопомех. Поэтому важной задачей является определение помехоустойчивости приемника навигационных сигналов.

В принятом понимании под помехоустойчивостью имеется в виду способность сохранять работоспособность при воздействии помех. В качестве характеристики помехоустойчивости используется показатель, называемый защитное отношение, определяемый как отношение мощности полезного сигнала к мощности помехового сигнала (в полосе частот сигнала), при котором система еще может решать целевую задачу (в радионавигации выполнять навигационно-временные определения) с заданными характеристиками. При рассмотрении вопросов радиоподавления используют показатель, называемый коэффициентом подавления, определяемый как отношение минимальной мощности помехового сигнала (в полосе частот сигнала) к мощности полезного сигнала, при котором система уже не может решать целевую задачу с заданными характеристиками. Несмотря на некоторую схожесть (как величины обратные), в них вкладывается несколько различный смысл. Так, при определении защитного отношения исходят из достижения решения целевой задачи с вероятностью 0,9 и более, а при определении коэффициента подавления исходят из достижения невозможности решения целевой задачи с вероятностью 0,9 и более. Далее будет использоваться этот показатель – коэффициент подавления [3]

$$K_{\Pi} = (P_{\Pi} / P_C)_{\text{вх min}}.$$

Как правило, коэффициент подавления определяется экспериментальным путем. Для его вычисления необходимо проведение натурных испытаний, которые зачастую оказываются дорогостоящими и требуют значительных временных затрат. Поэтому актуальным является поиск альтернативных способов определения коэффициента подавления. В качестве оригинального способа оценки помехоустойчивости предлагается использовать технологию SDR совместно с методом компьютерного моделирования, что позволит сократить временные и ресурсные затраты. Одним из примеров применения подобного подхода является оценка помехоустойчивости SDR-приемника, описанного выше. При этом широкие возможности среды моделирования Matlab позволят синтезировать помехи различного вида, а также, в случае необходимости, изменять алгоритмы обработки навигационного сигнала без изменения аппаратной части приемника.

Рассмотрим в качестве помехового воздействия несущую, модулированную по частоте полосовым шумом (ЧМШ) с различной девиацией частоты. Математическая модель такой помехи может быть представлена следующим выражением:

$$S_{\text{ЧМШ}}(t) = S_m \cos \left(2\pi f_0 t + \int_0^t \widehat{F}_{\text{ш}}(\tau) d\tau + \varphi_0 \right),$$

где S_m – амплитуда несущего колебания;
 f_0 – частота несущего колебания;
 φ_0 – фазовый сдвиг несущего колебания;
 $\widehat{F}_{\text{ш}}(\tau)$ – функция модулирующего шума.

При моделировании помехи необходимо учитывать особенности радиочастотного блока SDR-приемника, и прежде всего в части полосы пропускания приемника ($\Delta f \approx 2,2$ МГц). Кроме того, для правильного формирования помехи важными параметрами являются частота дискретизации АЦП ($f_d = 4130400$ Гц) и промежуточная частота, на которую переносится спектр входного сигнала ($f_{\text{ПР}} = 16367600$ Гц).

Для расчета значения коэффициента подавления SDR-приемника необходимо произвести оценку средней мощности сигнала и минимальной потребной мощности помехи, при которых происходит его подавление. Выражения для расчета средних мощностей имеют вид:

$$P_{\text{ср. сигнала}} = \frac{1}{T} \int_0^T S_{\text{сигн}}^2(t); \quad P_{\text{ср. помехи}} = \frac{1}{T} \int_0^T S_{\text{ЧМШ}}^2(t).$$

Рассчитывая коэффициент подавления для каждого независимого канала, можно оценить помехоустойчивость рассматриваемого SDR-приемника. Однако вычислять коэффициент подавления каждого из каналов нет необходимости ввиду идентичности обработки сигнала в канале, одной частоты принимаемого группового сигнала и одинаковой длины образующих навигационный сигнал кодовых последовательностей (база сигнала 1023). Поэтому для упрощения расчетов допустимо принять за показатель помехоустойчивости всего приемника рассчитанный коэффициент подавления для канала с наилучшим отношением сигнал/шум, который будет заведомо более высоким, чем для других каналов. При этом необходимо отдельно оценивать помехоустойчивость режима поиска и обнаружения и режима слежения [3].

Оценка помехоустойчивости приемника в режиме поиска и обнаружения осуществляется в соответствии со схемой, представленной на рис.4. На рис. 5 показана гистограмма обнаружения навигационных сигналов, позволяющая определить канал с наилучшим отношением сигнал/шум, который далее исследуется, для оценки помехоустойчивости режима обнаружения. На рис. 6 представлены графики иллюстрирующие влияние помехи на обнаружение сигнала в исследуемом канале.

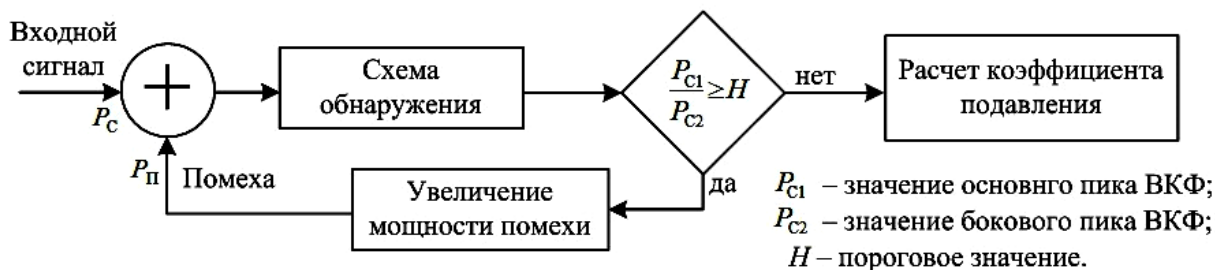


Рис.4. Схема оценки помехоустойчивости режима поиска и обнаружения сигналов

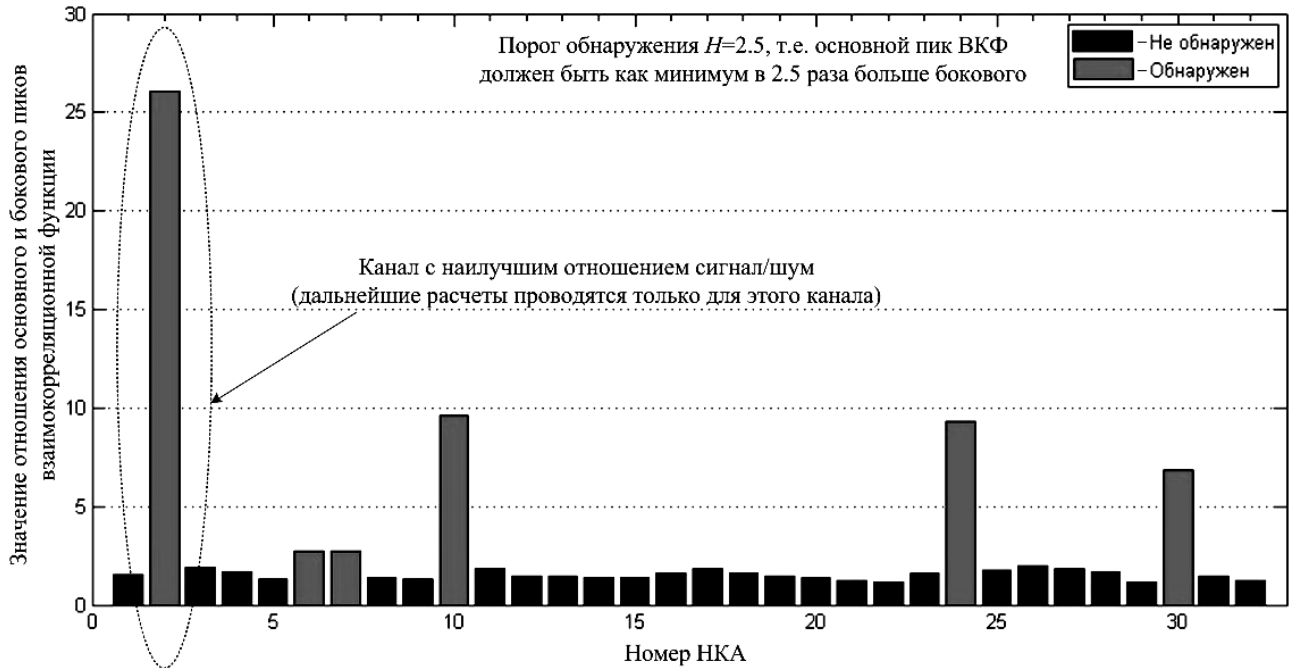


Рис.5. Результат обнаружения навигационных сигналов

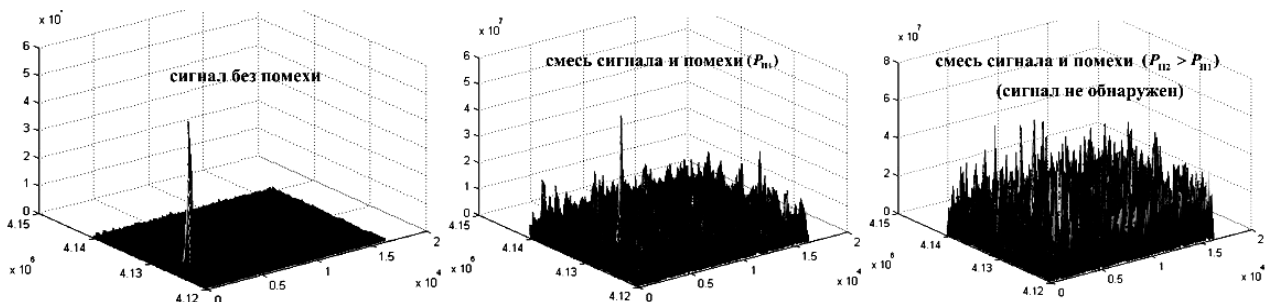


Рис.6. Влияние помехи на обнаружение навигационного сигнала

Здесь синтезированная помеха аддитивно складывается с оцифрованным сигналом и подается на вход схемы обнаружения. Показателем обнаружения сигнала от i -го НКА является значение отношения основного и бокового пиков взаимокорреляционной функции принятого и опорного сигналов, превысившее порог. Таким образом, коэффициент подавления может быть экспериментально вычислен путем увеличения мощности помехи до значения, при котором сигнал i -го НКА не обнаруживается (рассматривается вариант без накопления сигнала).

Аналогичным экспериментальным способом вычисляется коэффициент подавления режима слежения. За показатель качества слежения примем значение текущей ошибки слежения за параметром (задержкой, частотой). В этом случае необходимо увеличивать мощность помехи до тех пор, пока значение ошибки слежения на выходе следящих фильтров превысят заданное значение ($\varepsilon_{зад} = 20$). При этом необходимо добавлять помеху не сразу, а после установления устойчивого слежения (например, на 101 мс записи). При превышении текущей ошибки слежения значения $\varepsilon_{зад}$ считаем схему слежения подавленной и рассчитываем коэффициент подавления. На рис. 7 показана схема оценки помехоустойчивости режима слежения за сигналом. Рис. 8–11 иллюстрируют влияние помехи на слежение за навигационным сигналом. Все графики представлены для сигнала без помехи и смеси сигнала и помехи, в условиях подавления схемы слежения. На рис. 8–9 изображены графики зависимости выходных значений фильтров колец слежения за задержкой и частотой соответственно, отражающие значительное увеличение ошибки слежения за параметрами при воздействии поме-

хи. На рис. 10 показаны графики зависимости синфазной от квадратурной составляющей для «совпадающей» копии принятого сигнала. Рис.11 отражает зависимость синфазной составляющей для «совпадающей» копии сигнала от времени (по сути, выделение информационных битов). Из рис.10–11 видно, что после воздействия помехи выделение информационных битов навигационного сообщения становится невозможным.

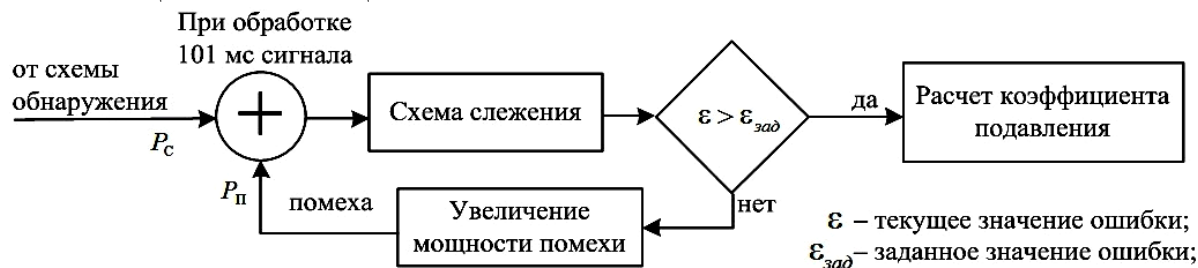


Рис.7.Схема оценки помехоустойчивости режима слежения за сигналом

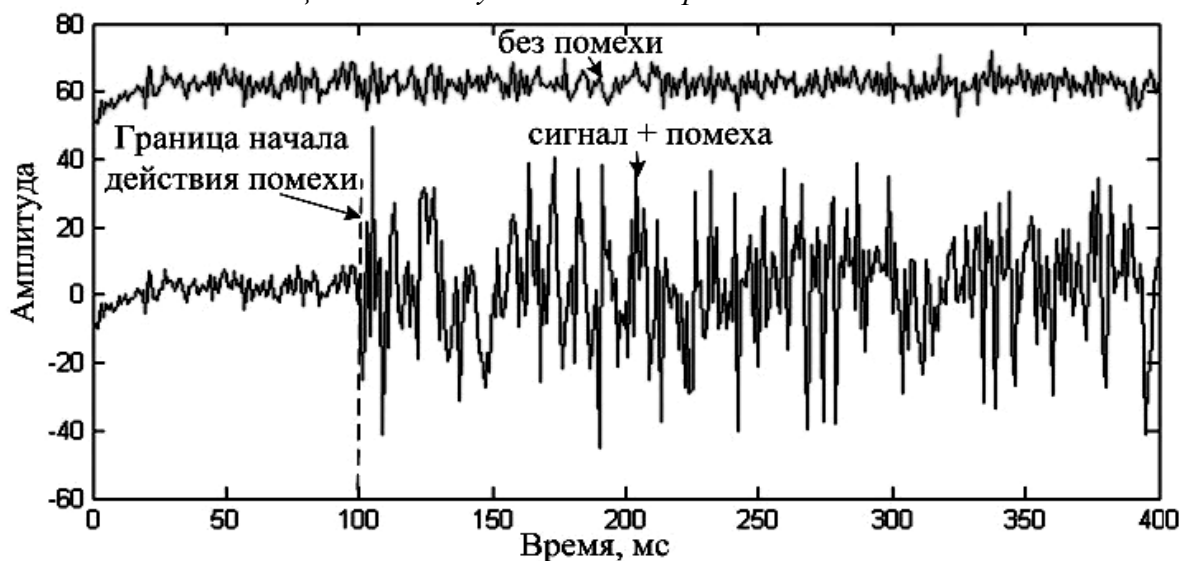


Рис.8. График зависимости выходных значений фильтра кольца слежения за задержкой от времени

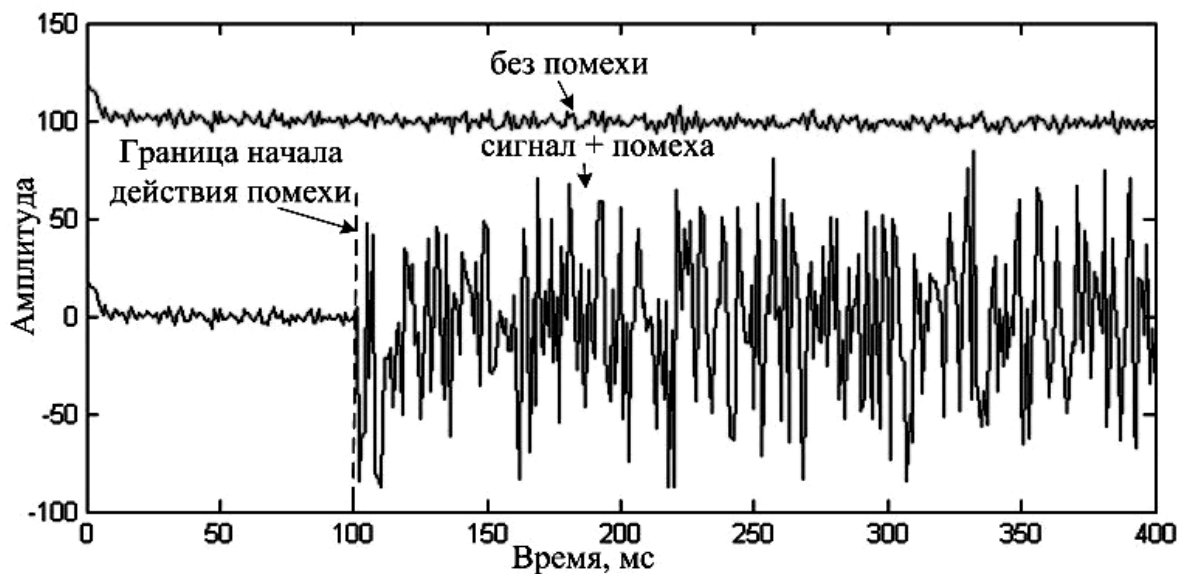


Рис.9. График зависимости выходных значений фильтра кольца слежения за частотой от времени

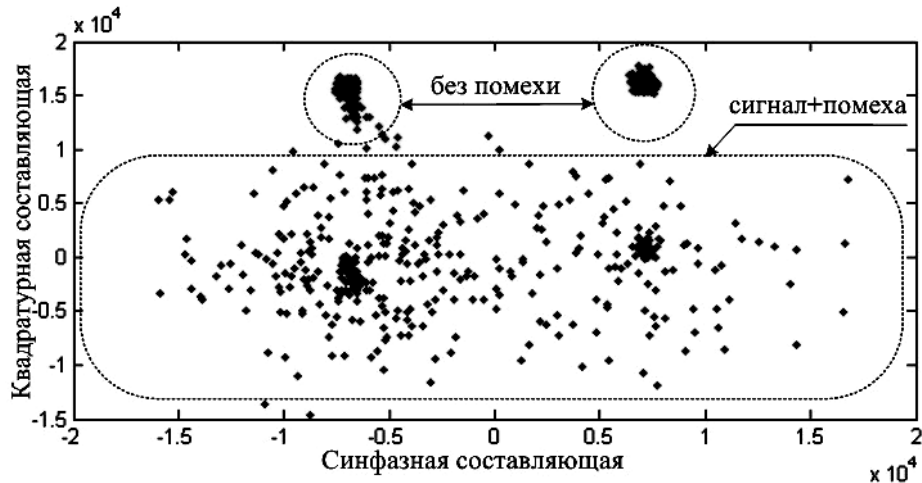


Рис.10. Значения квадратурных составляющих для «совпадающей» копии кода принятого сигнала



Рис.11. График зависимости синфазной составляющей принятого сигнала от времени для «совпадающей» копии кода

На рис. 10 представлен график зависимости коэффициента подавления от ширины полосы модулирующего шума (девиации частоты).

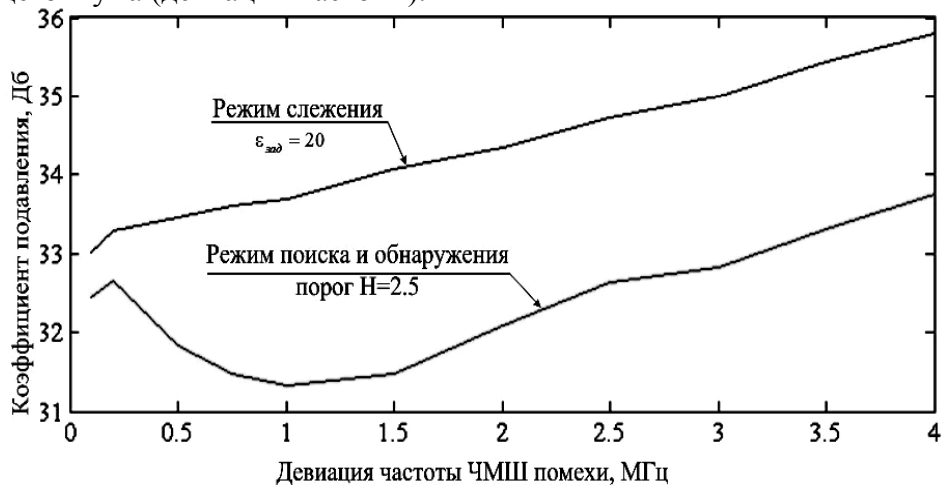


Рис. 12. График зависимости коэффициента подавления от ширины полосы модулирующего шума ЧМШ помехи для режимов обнаружения и слежения за сигналом в одном канале приема

На основе анализа представленных графиков можно сделать вывод, что помехоустойчивость режима слежения за сигналом значительно выше, чем помехоустойчивость режима поиска и обнаружения сигнала. Еще графики свидетельствуют, что наименьшее значение коэффициента подавления для режима обнаружения получается при воздействии помехи с полосой модулирующего шума 1 МГц (объясняется полосой пропускания приемника и формой спектра помехи). В режиме слежения за сигналом коэффициент подавления изменяется практически линейно, а минимальные значения получаются при малых девиациях частоты модулирующего шума помехи.

Таким образом, в данной статье показано, что SDR технология совместно с методом компьютерного моделирования может быть применена при исследовании помехоустойчивости. При этом основным достоинством подобного подхода является отсутствие необходимости проведения дорогостоящих натурных испытаний. Кроме того, важным преимуществом такого подхода является возможность изменять алгоритмы обработки навигационного сигнала, добавлять к обработке новые навигационные сигналы без изменения аппаратной части приемника, а также моделировать различные помеховые воздействия.

Список используемых источников

1. A software-defined GPS and Galileo receiver. A single-frequency approach/Kai Borre, Dennis M. Akos, Nicolaj Bertelsen, Peter Rinder, Soren Holdt Jensen. – Birkhäuser Boston, 2007. – 176 p.
2. *Перов А.И., Харисов В.Н.* ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования. – М.: Радиотехника, 2005. – 688 с.
3. *Посохин Н.И., Сонников В.Г., Максимов Ю.Н.* Радиоэлектронная борьба. – СПб: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2004. – 522 с.
4. URL:<http://gps.aau.dk/educate/receiverTechnologyPart3.htm/> (дата обращения: 20.08.2015).
5. *Мальцев Г.Н., Вознюк В.В., Туктамышев М.Р.* Моделирование конфликта сложных радиотехнических систем методом параллельных развивающихся стохастических процессов // Информационно-управляющие системы. – 2013. –5(66). – С.26–33.
6. *Вознюк В.В., Зайцев С.А., Фомин А.В.* Оценивание качества преднамеренных помех цифровым системам передачи информации методом компьютерного моделирования // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2015. – № 645. – С.79–87.
7. *Паришуткин А.В.* Основы оптимизации стохастических воздействий на каналы утечки информации // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. – 1999. – № 2. – С. 17.

И.Ю. Еремеев,
доктор техн. наук, профессор;
В.Н. Маковский,
кандидат техн. наук, доцент;
Ф.Н. Свистунов,

ЭНТРОПИЙНЫЙ МЕТОД РАСПОЗНАВАНИЯ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ СВЯЗИ С ДИНАМИЧЕСКОЙ ТОПОЛОГИЕЙ СЕТИ

Рассматриваются основные задачи, связанные с распознаванием состояния системы связи с динамической топологией. На основе теории информации разработан метод, позволяющий оценивать и распознавать структурные изменения сети связи.

Ключевые слова: система связи с динамической топологией, распознавание состояния, информация.

ВВЕДЕНИЕ

Класс сетей связи, в которых изменение топологии происходит из-за перемещения точек радиодоступа (ТРД) и мобильных абонентов, получил название систем связи с динамической топологией сети (ССДТС).

В настоящее время математический аппарат, описывающий функционирование наземных ССДТС, находится в стадии совершенствования. Актуальным остается вопрос оценивания текущего состояния ССДТС с целью своевременного выявления нестандартных или критических (аварийных) ситуаций, когда это невозможно сделать штатными средствами администрирования сети. В таких ситуациях отслеживание динамического характера поведения ТРД может осуществляться с привлечением средств космического радионаблюдения. В частности, анализ особенностей размещения и функционирования ССДТС позволяет судить не только о режимах данной сети, но и о состоянии объекта, который она обслуживает [1].

Классические методы распознавания состояния динамических объектов либо не дают удовлетворительных решений в принципе, либо поднимают трудноразрешимые теоретические проблемы. Даже их частичное решение требует существенных компромиссов в классах объектов, их динамике, степени автоматизации процессов, временном масштабе реализации, что в целом делает проблему распознавания состояния изменяющихся «портретов» ССДТС актуальной.

Цель работы заключается в сокращении области априорной неопределенности о состоянии динамического объекта путем учета его динамических свойств в результате разработки метода, позволяющего осуществлять распознавание состояний ССДТС в условиях априорной неопределенности о значениях параметров функционирования сети.

Формальная постановка задачи может быть сформулирована следующим образом. Есть набор наблюдений («портретов» ССДТС) за некоторое время T , состоящий из векторов, описывающих пространственное положение ТРД. По набору наблюдений необходимо осуществить распознавание состояния ССДТС в условиях априорной неопределенности о значениях параметров функционирования сети. Для решения этой задачи осуществим поиск закономерностей, на основе которых можно сделать выбор признаков классификации, устойчивых к изменениям динамического объекта, и решающего правила разделения образов.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

В традиционной теории информации, в основании которой лежат работы К. Шеннона [4] и Р. Хартли [7], информация рассматривается как нечто атрибутивно связанное с управлением (представляет собой снятую неопределенность выбора одной из множества возможностей). В статье под термином информация будем понимать сведения о конечном множестве как едином целом. Предметом изучения являются информационно-количественные аспекты отражения конечных множеств (дискретных систем) как целостных образований.

На первом этапе целью исследования является выявление закономерностей, на основе которых может быть получено новое знание, позволяющее распознавать состояния динамических объектов в условиях неопределенности о значениях параметров функционирования объектов.

Для осуществления такой цели определим количество информации I , получаемой познающим субъектом (аналитической системой), о системе. Процесс получения информации I_{AB} познающим субъектом рассмотрим на примере произвольной дискретной системы D и отличительных признаков P_A и P_B [5]. В этом случае задача исследования может быть сформулирована следующим образом.

- Дано: 1) система $D = \{d_1, d_2, \dots, d_{m(D)}\}$, состоящая из множества элементов d_i ;
 2) информативные признаки P_A и P_B принадлежности элементов d_i подмножествам A, B, K ;
 $A = \{a / P_A(a)\} = \{d / P_A(d)\}$, $B = \{b / P_B(b)\} = \{d / P_B(d)\}$ и $K = A \cap B$;
 3) количество элементов в составе каждого из множеств: $m(A)$, $m(B)$, $m(K)$;
 4) полагаем, что I_{AB} функционально зависит от $m(A)$, $m(B)$, $m(K)$: $I_{AB} = f[m(A), m(B), m(K)]$.

Найти: величину количества информации I_{AB} , которую отражают друг о друге, как едином целом, конечные множества A и B .

На первом этапе решения задачи система D рассматривается в плоскости $\Omega(P_A)$ признака P_A , и те элементы $d \in D$, у которых наблюдается признак P_A , выделяются в виде множества A .

На втором этапе идет рассмотрение системы в плоскости $\Omega(P_B)$ признака P_B и аналогично выделяется множество B .

Снятие неопределенности относительно существования непосредственной взаимосвязи между множествами A и B осуществляется на третьем этапе после рассмотрения выделенных множеств A и B в совмещенной плоскости $\Omega(P_A, P_B)$ признаков P_A и P_B . Если при этом выявляется третье (связующее) множество K , такое, что $K = A \cap B$, $K \neq \emptyset$, то снимается неопределенность относительно непосредственной взаимосвязи множеств A и B и получается информация I_{AB} , которую эти множества отражают друг о друге. В противном случае, когда $K = \emptyset$, отмеченная неопределенность также снимается, но при этом делается вывод, что между множествами A и B существует только косвенная взаимосвязь, заключающаяся в том, что как A , так и B принадлежат одной и той же системе D .

Из вышеизложенного следует, что конечные множества A и B могут отражать информацию I_{AB} друг о друге, как едином целом, в случае $K = A \cap B$, $K \neq \emptyset$.

Для описания информационно-количественных аспектов отражения конечных множеств (дискретных систем), как целостных образований, воспользуемся теорией информации.

При описании дискретных систем через совокупность их частей происходит разделение отражаемой информации (I_0) на *отраженную* и *неотраженную части*, равные соответственно аддитивной негэнтропии (I_Σ) и энтропии (S). Эти разновидности информации описываются следующими выражениями [6]:

$$I_0 = \log_2 M, \quad (1)$$

$$I_\Sigma = \sum_{i=1}^N \frac{m_i}{M} \log_2 m_i, \quad (2)$$

$$S = - \sum_{i=1}^N \frac{m_i}{M} \log_2 \frac{m_i}{M}, \quad (3)$$

где M – общее число элементов в составе системы;

N – число частей системы;

m – количество элементов в i -части.

Аддитивная негэнтропия (2) и энтропия отражения (3) соотносятся между собой следующим образом: чем более хаотичной является структура системы, т. е. чем больше частей выделяется в ее составе и чем меньше эти части отличаются друг от друга по числу элементов, тем больше энтропия отражения и меньше аддитивная негэнтропия. И наоборот – чем больше порядка в структуре системы, т.е. чем меньше частей в ее составе и чем более доминирует какая-либо часть по числу элементов, тем больше аддитивная негэнтропия и меньше энтропия отражения.

По определению аддитивная негэнтропия и энтропия отражения, как отраженная информация и неотраженная, в своей сумме равны информации (1), которую отражает система о самой себе как едином целом;

$$I_\Sigma + S = I_0. \quad (4)$$

Выражение (4) является инвариантным относительно любых структурных преобразований системы и в излагаемом контексте интерпретируется как закон сохранения суммы хаоса и порядка. Другими словами, что бы мы не делали с системой без изменения общего количества элементов, на сколько бы частей не разбивали ее по значениям какого-либо признака и в каком бы соотношении по числу элементов не находились между собой части, сумма хаоса и порядка в структуре системы всегда будет оставаться неизменной.

Хаотичность и упорядоченность в своей совокупности определяют в целом структурную организованность системы, и соответственно для ее количественной характеристики может использоваться функция, аргументами которой являются меры хаоса и порядка. Таким образом, структурная организованность системы может быть описана как R -функция, представляющая собой отношение аддитивной негэнтропии к энтропии отражения:

$$R = \frac{S}{I_\Sigma + S}. \quad (5)$$

ной негэнтропии (порядка) и энтропии отражения (хаоса). При этом значение N , соответствующее точке b , является детерминированным и равным \sqrt{M} с округлением до ближнего большего целого, а значение N , соответствующее точке f , не имеет аналитического выражения. Для членов последовательности $N=1, 2, \dots, M$ определяются S^{\min} и I_{Σ}^{\max} , и в качестве значения N , соответствующего точке f , принимается то значение, после которого $S^{\min} > I_{\Sigma}^{\max}$.

В левом интервале ($1 \leq N < \sqrt{M}$) при любом соотношении частей системы по числу элементов справедливо неравенство $I_{\Sigma} > S$, и соответственно структурная упорядоченность системы всегда больше ее хаотичности и $R > 0,5$. В правом интервале ($M/2 - \Delta M < N \leq M$) наблюдается совершенно противоположная картина, когда при любых структурных преобразованиях $S > I_{\Sigma}$, что соответствует преобладанию хаоса над порядком и значениям $R < 0,5$. В центральном интервале ($\sqrt{M} \leq N \leq M/2 - \Delta M$) между I_{Σ} и S могут быть различные взаимоотношения, и проявляется тенденция к взаимному уравниванию в структуре системы хаоса и порядка. R -функция при этом может быть как больше, так и меньше единицы, а в ряде случаев (по линии bf) имеет место и равенство $R = 0,5$.

Использование описанного решающего правила отнесения к одному из трех типичных состояний системы означает фактический переход от признакового пространства в пространство оценок структурной организованности R , по величине которой представляется возможным разделять множество состояний объектов на классы.

Таким образом, получено знание о взаимосвязи поведения элементов динамического объекта и информации о его структурной организованности, позволяющее все состояния дискретных динамических систем, в зависимости от общего количества их элементов и числа частей (подмножеств, сформированных по одному из признаков), классифицировать на три типа:

- *организованные* (упорядоченные) – левый интервал;
- *частично организованные* (синергетичные) – центральный интервал;
- *хаотичные* – правый интервал.

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАСПОЗНАВАНИЯ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ СВЯЗИ С ДИНАМИЧЕСКОЙ ТОПОЛОГИЕЙ СЕТИ

Для решения задачи распознавания состояния ССДТС по результатам наблюдений на интервале времени T необходимо осуществить целевую классификацию множества элементов (ТРД) ССДТС по набору информативных признаков, характеризующих поведение объекта в целом. Для этого расширим признаковое пространство с учетом специфики ССДТС и применим описанный выше подход для распознавания состояния изменяющихся «портретов» ССДТС по результатам наблюдений на интервале времени T .

Применение классических информативных признаков источников радиоизлучений, а именно параметрических (частота сигнала, мощность принимаемого сигнала, вид модуляции и т.д.) и пространственных (местоположение передатчика), не дает нужных результатов [1, 3]. Поэтому, наряду со структурными, предлагается использовать новые – поведенческие признаки, учитывающие специфику функционирования ССДТС (направление движения ТРД, дистанцию между ТРД, повторяемость частот каналов управления ТРД, расстояние между текущими и предшествующими координатами ТРД и др.). Указанное обстоятельство

обуславливает необходимость использования двух типов признаков. К первому типу относятся признаки, полученные в результате непосредственного измерения параметров радиоизлучения, а ко второму – их приращения между двумя соседствующими наблюдениями.

Каждый из этих признаков в момент времени t_k опишем через R -функцию (5). В результате получим множество оценок структурной организованности системы по каждому признаку $\{R_i(t_k)\}$, где t_k – k момент времени наблюдения ($1 \leq i \leq q$, где q – число информативных признаков) в информационном поле отражения (рис.1). Далее произведем распознавание состояния ССДТС на момент времени t_k по каждому из информационных признаков путем отнесения оценок $R_i(t_k)$ к одному из интервалов информационного поля отражения (рис.1).

В результате по набору наблюдений было осуществлено распознавание состояния ССДТС в условиях априорной неопределенности о значениях параметров функционирования сети. Для различения состояний объекта в момент времени t_k будем использовать комплексный показатель структурной организованности системы. В общем он может быть записан в виде вектора $R_{<q>}(t_k) = \langle R_{<1>}(t_k), R_{<2>}(t_k), \dots, R_{<q>}(t_k) \rangle$.

Таким образом, идея, положенная в основу предлагаемого метода, заключается в переходе от признакового пространства в пространство оценок структурной организованности (на основе теории информации) с последующей классификацией мгновенных «портретов» динамического объекта с помощью предложенного комплексного признака.

Рассмотрим пример, где в качестве информативного признака взяты направления движения шестнадцати ТРД ССДТС. В качестве единицы угла направления элементарного вектора α возьмем угол, равный 15° , тогда каждому из шестнадцати векторов V_i можно поставить в соответствие некоторое число $u_i = (12\alpha/\pi)$. Отнесение направления движения к одному из векторов V_i должно удовлетворять следующему условию: $u_i = u_{i \min} = \min (12\alpha/\pi)$.

На рис. 2 показаны пять вариантов состояний динамической системы, которым соответствует последовательное ее деление на 1, 2, 4, 8, 16 равновеликих частей, отличающихся друг от друга направлением (отмечены стрелками) движения ТРД.

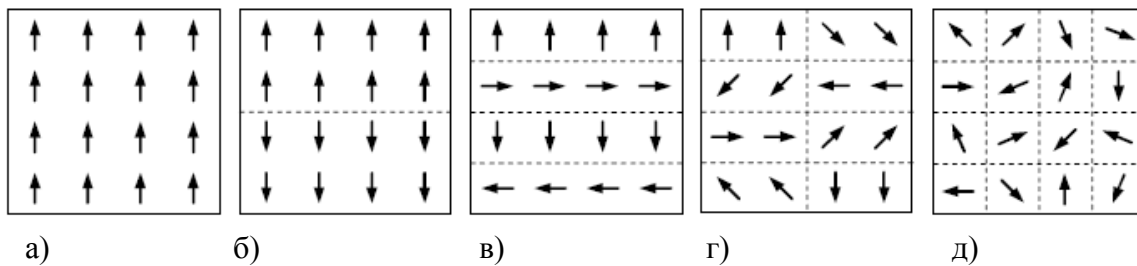


Рис. 2. Варианты направлений движения шестнадцати ТРД

В состоянии, представленном на рис. 2,а, все элементы движутся в одном направлении, и в структуре системы наблюдается идеальный порядок. В соответствии с формулами (2) и (3) для состояния, показанного на рис. 2,а, имеем $I_\Sigma=4$; $S=0$. На рис. 2,д имеем полярную противоположность, т.е. каждый элемент системы обладает строго индивидуальным направлением движения, и структура системы является максимально хаотичной ($I_\Sigma=0$; $S=4$). Состояния системы на рис. 2,б–г занимают промежуточное положение по отношению к состояниям на рис. 2,а и д и характеризуются тем, что в их структуре присутствует как хаотичность, так и упорядоченность. Для состояния 1б имеем $I_\Sigma=3$; $S=1$; для 1в – $I_\Sigma=2$; $S=2$; для 1г – $I_\Sigma=1$; $S=3$. Показатель структурной организованности R соответственно будет принимать значения: 0;

0,25; 0,5; 0,75; 1. В соответствии с выбранным решающим правилом, состояние на рис. 2,а отнесем к организованной системе, на рис. 2,б–г – к частично упорядоченной, состояние на рис. 2,д – к хаотичной.

Данный пример показывает практическую реализуемость предлагаемого метода распознавания состояния ССДТС с конечным множеством элементов.

Следует отметить, что структурная организованность системы позволяет учитывать не только хаотичность и упорядоченность системы, но и объективно сопоставлять между собой системы с различным количеством элементов. Так, приращение значений структурной организованности

$$\Delta R_i(t_{k+1}) = R_i(t_{k+1}) - R_i(t_k)$$

может использоваться в качестве обобщенной количественной характеристики изменения свойств системы при их последовательном рассмотрении, что важно в случае изменения числа элементов ССДТС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный в статье метод позволяет по набору наблюдений осуществлять распознавание состояния ССДТС в условиях априорной неопределенности о значениях параметров функционирования сети. Преимущество данного метода по сравнению с существующими заключается в возможности его использования в условиях малого числа интервалов наблюдения объекта (не менее двух), что важно при решении задач наблюдения за динамическим объектом (состоящим из конечного числа элементов) в условиях априорной неопределенности о параметрах его функционирования.

Предложенный показатель структурной организованности учитывает не только хаотичность и упорядоченность ССДТС с постоянным количеством элементов, но и позволяет через приращение значений структурной организованности объективно сопоставлять между собой системы с различным количеством элементов.

Предложенный в статье подход может быть использован для исследования совместного действия многих подсистем с целью выявления на макроскопическом уровне организационных структур.

Список используемых источников

1. Радзиевский В.Г., Сирота А.А. Теоретические основы радиоэлектронной разведки. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Радиотехника, 2004. – 432 с.
2. Методы оценивания пространственных характеристик мобильных абонентов / В.Н. Маковский, И.В. Чеботарь, В.В. Кузьмин и др. // Антенны. – 2014. – Т. 10, №11. – С.38–42.
3. Маковский В.Н., Зайцев И.Е., Сайбель А.Г. Координатометрия мобильных абонентов: проблемы, методы и решения // Информация и космос: науч.-технич. журн. – СПб.: Санкт-Петербургская научно-техническая общественная организация «Институт телекоммуникаций», 2005. – №2. – С.30–36.
4. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1963. – 830 с.
5. Вяткин В.Б. Синергетический подход к определению количества информации // Информационные технологии. – 2009. – № 12. – С. 68–73.
6. Вяткин В.Б. Хаос и порядок дискретных систем в свете синергетической теории информации // Научный журнал КубГАУ. – Краснодар: КубГАУ, 2009. – №47(3). – С.74–82.
7. Хартли Р.В.Л. Передача информации // Теория информации и ее приложения: сб. – М.: Физматгиз, 1959. – С. 5–35.

И.Е. Калмычков,
кандидат техн. наук;
М.М. Тюстин;

ОСОБЕННОСТИ КОСМИЧЕСКОГО РАДИОМОНИТОРИНГА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СПАСАТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ

Рассматриваются основные проблемы, связанные с реализацией системы космического радиомониторинга на низких круговых орбитах в интересах решения поисково-спасательных задач.

Ключевые слова: спасательные операции, радиомониторинг, радиоэлектронная обстановка, обнаружение.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время при решении поисково-спасательных задач в случае авиакатастроф, морских происшествий, горноспасательных работ широко применяются авиационные средства со специально установленной на них радиоэлектронной аппаратурой (аппаратурой радиомониторинга). Анализ практики применения таких средств позволил выделить ряд недостатков, устранение которых возможно на основе использования космических аппаратов в качестве средств размещения аппаратуры радиомониторинга.

Основной недостаток воздушного радиомониторинга в условиях решения поисково-спасательных задач состоит в снижении оперативности обнаружения источников радиоизлучений (ИРИ) в следующих ситуациях.

1. При проведении спасательных операций на значительных по своей площади участках местности, например, при проведении морских спасательных операций. В данном случае снижение оперативности обусловлено временными затратами, необходимыми для покрытия (облета) всего района проведения спасательной операции при ограниченном размере зоны радиовидимости.

2. При проведении спасательных операций в условиях сильнопересеченной местности, например, в условиях горной местности или плотной городской застройки. В данном случае снижение оперативности обусловлено временными затратами, необходимыми для обеспечения радиовидимости между аппаратурой радиомониторинга и источником радиоизлучения, затененным местными предметами или рельефом местности.

В качестве основной предпосылки к формированию концепции ведения космического радиомониторинга при проведении спасательных операций следует рассматривать возможность реализации в разрабатываемой аппаратуре современных методов обработки сигналов, таких, как методы спектрального анализа, адаптивной фильтрации, а также других методов аналоговой и цифровой обработки сигналов, хорошо зарекомендовавших себя в современных радиотехнических системах [1].

Применение перечисленных методов позволит принимать сигналы от ИРИ не только при отсутствии мешающих излучений, но и в условиях современной радиоэлектронной обстановки (РЭО), для которой характерны высокая динамика и нагрузка отдельных частотных диапазонов. При этом выбор и обоснование возможности использования существующих методов обработки сигналов в аппаратуре радиомониторинга требуют предварительного разрешения ряда проблем, обусловленных, с одной стороны, целевым предназначением аппаратуры, а с другой стороны, возможностью реализации этапов обработки сигналов на основе существующих технологий.

Проведенный анализ этих проблем позволил выявить среди них наиболее актуальные в настоящее время, их суть состоит в следующих противоречиях:

– во-первых, противоречие между большим объемом информации, накапливаемым за время радиомониторинга, и отсутствием модели первичной обработки полученной информации, обеспечивающей функционирование системы радиомониторинга в условиях большого числа мешающих излучений – в данном случае поставщиков избыточной информации;

– во-вторых, противоречие между ограниченной пропускной способностью канала связи «бортовая специальная аппаратура (БСА) – наземный специальный комплекс (НСК)» и большим объемом данных, накапливаемых БСА в ходе радиоконтакта с ИРИ.

ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К РАЗРЕШЕНИЮ СФОРМУЛИРОВАННЫХ ПРОТИВОРЕЧИЙ

Для решения проблемы, обусловленной первым противоречием, проведено исследование, в результате которого обоснована необходимость совершенствования существующего подхода к первичной обработке информации, полученной в ходе радиомониторинга. Суть усовершенствования заключается в дополнении существующей модели [2] новыми элементами, предназначенными для выделения из совокупности всех измеренных параметров РЭО набора векторов, соответствующих измеренным параметрам сигнала ИРИ, обслуживающего объект поиска, далее – контролируемого источника, (рис. 1).

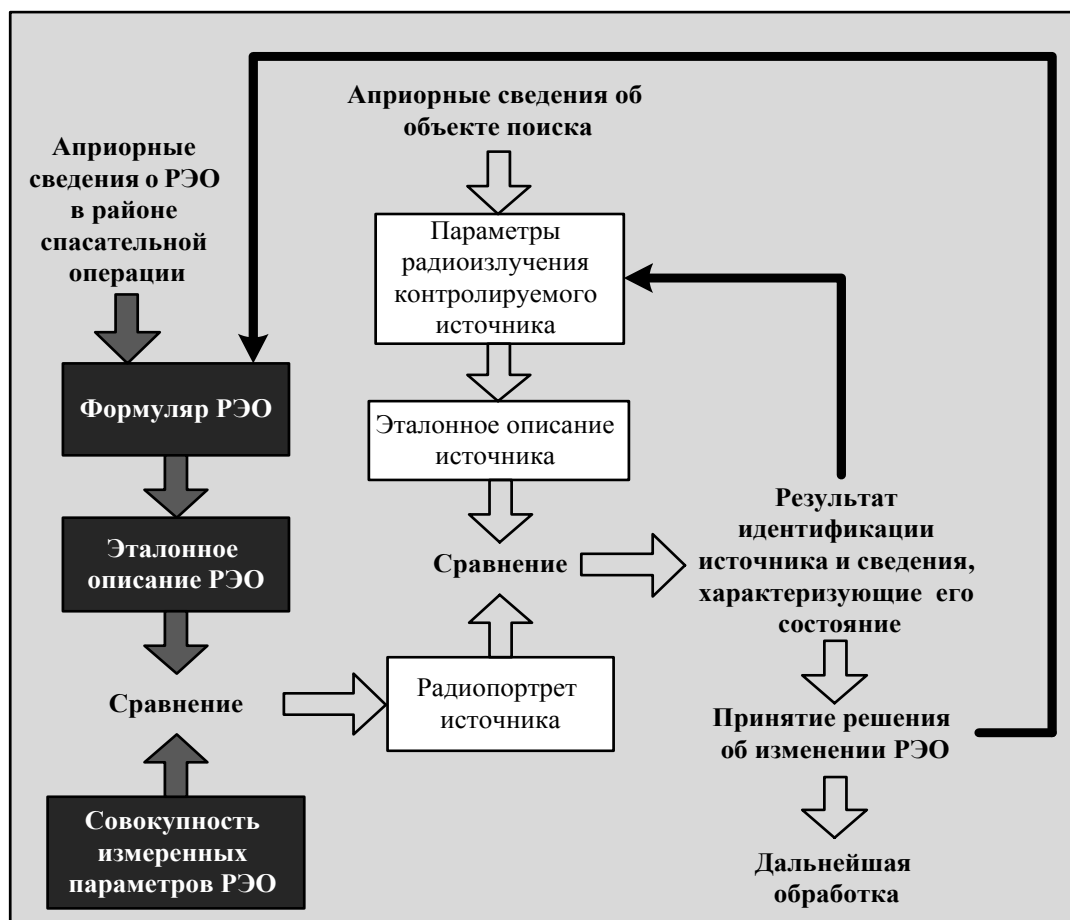


Рис. 1. Усовершенствованная модель первичной обработки информации, разработанная для условий ведения космического радиомониторинга в интересах спасательной операции

Новыми элементами усовершенствованной модели являются:

– *формуляр РЭО* – база данных включающая значения (диапазоны значений) параметров радиозлучений, постоянно или периодически присутствующих в контролируемой полосе частот в районе проведения спасательной операции;

– *эталонное описание РЭО* – часть формуляра РЭО, соответствующая определенному режиму функционирования контролируемого источника на фоне мешающих излучений (фактически представляет собой отчет на соответствующий запрос к общей базе данных).

Кроме того, к новым элементам усовершенствованной модели (см. рис. 1) следует отнести:

– процедуру выделения из формуляра РЭО эталонного описания;

– процедуру сравнения эталонного описания с совокупностью измеренных параметров РЭО;

– специальные процедуры, направленные на получение и корректировку априорной информации о РЭО в районе спасательной операции, а именно составление и корректировка формуляра РЭО, составление эталонных описаний РЭО для определенных временных интервалов наблюдения, зон радиовидимости ИРИ и режимов их функционирования.

В том случае, когда требуется проводить поиск нескольких объектов, необходимо на этапе сравнения эталонного описания РЭО и совокупности измеренных параметров осуществить поочередное различение объектов поиска. Для этого схему, представленную на рис. 1, следует рассматривать в качестве итерационной. При каждой итерации осуществляется корректировка формуляра и эталонного описания с учетом сведений, полученных на предыдущем этапе.

В качестве признаков различения объектов поиска возможно использование пространственных характеристик объекта, а также априорных сведений о технических характеристиках контролируемых источников.

Для решения проблемы, обусловленной вторым противоречием, проведено исследование, на первом этапе которого выполнен расчет объема необработанных данных, накапливаемых БСА в ходе пролета над типовой зоной проведения спасательной операции. На втором этапе исследования выполнен анализ параметров существующих и перспективных каналов связи, а также оценены их возможности по передаче накопленного объема данных. На третьем этапе исследования обоснована модель системы обработки радиосигналов, применение которой позволит уменьшить объем данных, передаваемых по каналу связи «БСА – НСК».

Проведенные расчеты показали, что при реализации в БСА современных методов обработки сигналов, за время радиоконтакта может накапливаться от 200 Гбайт до 1,7 Тбайт необработанных данных (это значение зависит от ширины полосы пропускания радиоприемного устройства). Для передачи такого объема данных по спутниковому каналу связи, построенному на основе современных технологий и обеспечивающему скорость передачи данных от 70 до 150 Мбит/с, потребуется несколько часов. Однако специфика ведения спасательных операций не позволяет осуществлять радиоконтакты такой длительности даже при использовании спутника-ретранслятора.

Основное направление разрешения существующего противоречия состоит в снижении объема данных за счет частичной обработки средствами БСА случайного процесса, поступающего с выхода радиоприемного устройства. При этом целесообразно предусмотреть различные режимы обработки и возможность их выбора в зависимости от задач, поставленных перед радиомониторингом.

На основе анализа возможностей существующих методов обработки сигналов была сформирована модель системы обработки радиосигналов, позволяющая разрешить существующее противоречие. Схема модели показана на рис. 2, на котором использованы следующие условные обозначения:

$A_{(n)}$ – n -мерный вектор-столбец оценок амплитуд спектральных составляющих, превысивших порог обнаружения, $A_{(n)} = [\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, \dots, \tilde{a}_n]$, где n – число спектральных составляющих, превысивших порог обнаружения;

$F_{C(n)}$ – n -мерный вектор-столбец рассчитанных значений частот спектральных составляющих, превысивших порог обнаружения, $F_{C(n)} = [\tilde{f}_{C1}, \tilde{f}_{C2}, \dots, \tilde{f}_{Cn}]$;

$\Delta F_{(l)}$ – l -мерный вектор-столбец оценок полос частот обнаруженных сигналов, $\Delta F_{(l)} = [\Delta \tilde{f}_1, \Delta \tilde{f}_2, \dots, \Delta \tilde{f}_l]$, где l – число обнаруженных сигналов;

$F_{HEC(l)}$ – l -мерный вектор-столбец оценок несущих частот обнаруженных сигналов, $F_{HEC(l)} = [\tilde{f}_{HEC1}, \tilde{f}_{HEC2}, \dots, \tilde{f}_{HEC1}]$;

$s_0(t) - s_{x-1}(t)$ – сигналы, представляющие интерес с точки зрения радиомониторинга и отсе- лектированные по заданным признакам для дальнейшей обработки, где x – число отсе- лектированных сигналов;

$M_{(y)}$ – y -мерный вектор-столбец признаков модуляции обрабатываемых сигналов, $M_{(y)} = [m_1, m_2, \dots, m_y]$, где y – число сигналов с распознанным видом модуляции;

$F_{HEC(y)}$ – y -мерный вектор-столбец оценок несущих частот сигналов с распознанным видом мо- дуляции, $F_{HEC(y)} = [\tilde{f}_{HEC1}, \tilde{f}_{HEC2}, \dots, \tilde{f}_{HECy}]$;

$\Omega_0(t) - \Omega_{y-1}(t)$ – демодулированные сигналы;

$K_{(z)}$ – z -мерный вектор-столбец признаков помехоустойчивого кода, $K_{(z)} = [k_1, k_2, \dots, k_z]$, где z – число сигналов с распознанным помехоустойчивым кодом;

$\Omega'_0(t) - \Omega'_{z-1}(t)$ – демодулированные сигналы после устранения избыточности, характерной для помехоустойчивого кодирования.

Отличиями разработанной модели (рис. 2) от моделей, используемых в других радиотехниче- ских системах, являются:

- отсутствие процедуры оценивания кодера источника, что обусловлено увеличением объема данных в случае ее использования за счет избыточности, характерной для некодированных сооб- щений;

- применение процедуры селекции полезных радиосигналов и понижения частоты их дискре- тизации для уменьшения объема данных, при этом следует отметить, что наличие такой процеду- ры, как селекция полезных радиосигналов обуславливает необходимость реализации системы первичной обработки, представленной на рис. 1, не только в НСК, но и непосредственно в БСА;

- хранение результатов обработки в запоминающем устройстве БСА в течение заданного вре- мени, что, с одной стороны, позволяет использовать ресурс канала связи для передачи данных, наиболее ценных в текущий момент времени, а с другой стороны, – сохранить данные, интерес к которым может возникнуть в процессе обработки информации в НСК. Очевидно, что временной интервал, в течение которого целесообразно хранить данные, зависит от условий ведения спаса- тельной операции.

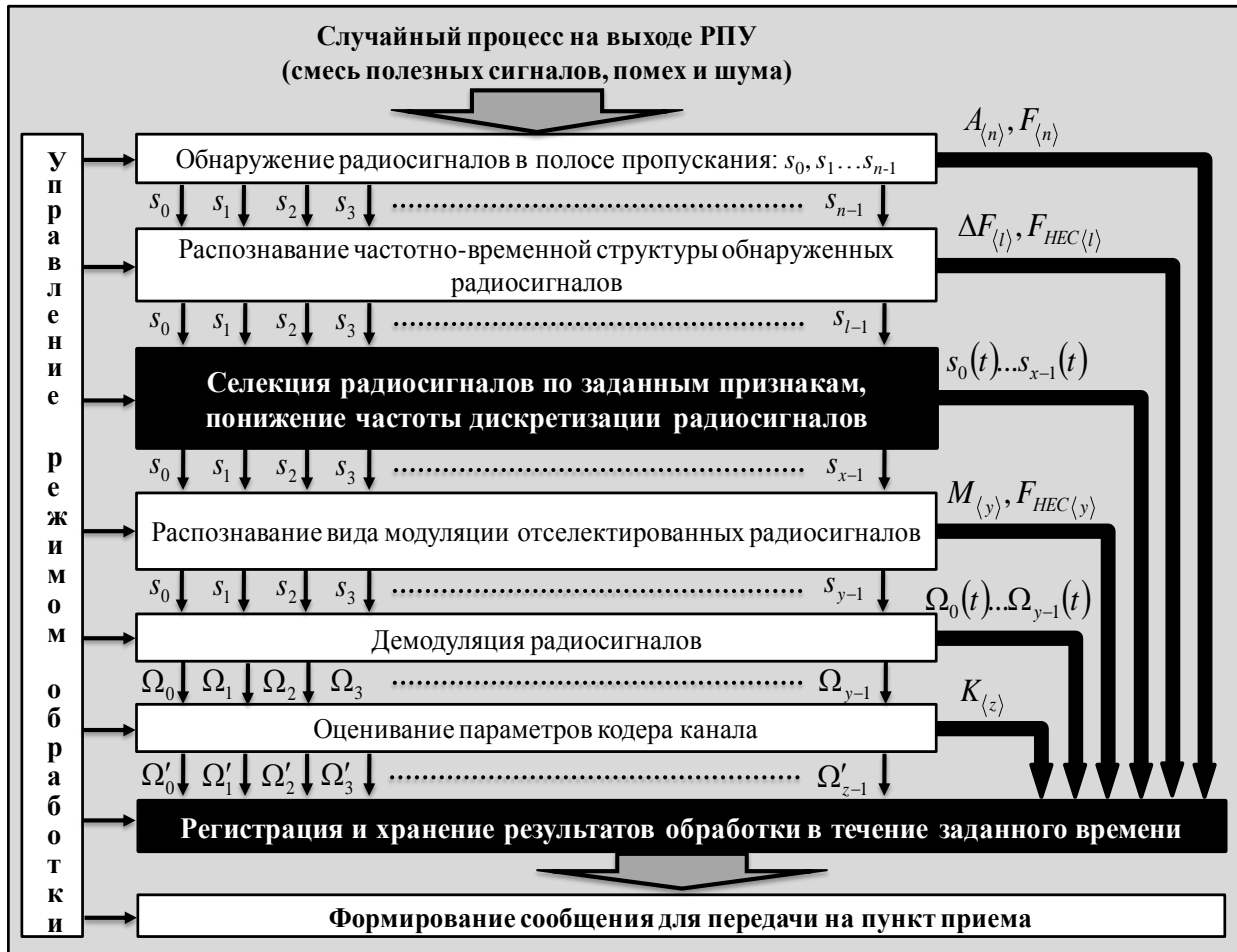


Рис. 2. Модель системы обработки радиосигналов, целесообразная для космического радиомониторинга при проведении спасательной операции

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная в статье концепция представляет собой упорядоченную систему взглядов на процессы добывания и первичной обработки информации при использовании космического радиомониторинга в интересах проведения поисково-спасательных операций. Концепция раскрывает важные особенности применения космических средств для повышения оперативности обнаружения ИРИ, обслуживающих терпящие бедствие объекты. Ключевыми элементами концепции являются сформулированные и обоснованные в ходе проведенного исследования следующие научные положения, представляющие собой основные направления решения проблем, рассмотренных в рамках статьи.

1. Реализация системы первичной обработки информации на основе модели, отличающейся использованием формуляра и эталонного описания РЭО, а также процедур их формирования и корректировки обеспечит возможность получения информации об объекте поиска в условиях сложной сигнально-помеховой обстановки.

2. Реализация системы обработки радиосигналов на основе модели, отличающейся отсутствием процедуры оценивания кодера канала, применением процедур селекции полезных радиосигналов и понижения частоты их дискретизации, а также процедуры хранения результатов обработки в течение заданного времени, позволит в условиях радиомониторинга снизить объем необработанных данных, передаваемых по каналу связи «БСА – НСК».

Список используемых источников

1. *Рембовский А. М.* Радиомониторинг: задачи, методы, средства / под ред. А. М. Рембовского, А. В. Ашихмина, В. А. Козьмина. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 492 с.

2. *Радзиевский В. Г., Сирота А.А.* Теоретические основы радиоэлектронной разведки. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Радиотехника, 2004. – 432 с.

М.А. Ковалев,
кандидат техн. наук, доцент;
А.А. Макаров,
кандидат техн. наук, доцент;
В.Ф. Павский,
кандидат техн. наук, доцент;
Ю.В. Петелин,
кандидат техн. наук, доцент

О СУЩЕСТВОВАНИИ ТРОИЧНЫХ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ, ПОДОБНЫХ ДВОИЧНЫМ КОДАМ БАРКЕРА

Целью исследований является разработка новых типов сигналов для использования в космических радиопередачах в части обеспечения повышенной помехоустойчивости и скрытности.

Показано существование троичных кодов с апериодической автокорреляционной функцией, подобной апериодической автокорреляционной функции двоичных кодов Баркера.

Ключевые слова: сигналы, двоичные коды, помехоустойчивость.

К современным радиоэлектронным системам управления и информационного обмена с КА предъявляются требования по повышенной помехозащищенности, высокой достоверности передачи информации, высокой энергетической и структурной скрытности излучений, высокой скорости передачи информации и возможности построения многоадресных систем.

Одним из основных направлений развития радиоэлектронных систем управления и информационного обмена с КА, в целях удовлетворения данных требований, следует считать применение сигналов сложной структуры и специальных методов кодирования.

В настоящей статье рассмотрен способ обеспечения повышенной помехоустойчивости и скрытности радиоэлектронных систем управления и информационного обмена с КА, основанный на переходе от двоичных модулирующих псевдослучайных последовательностей (ПСП) к последовательностям с большими основаниями [1, 2].

Преимущества сложных сигналов реализуются только в том случае, когда ПСП, на основе которых они формируются, имеют оптимальные автокорреляционные функции. Единственным классом двоичных ПСП, обладающих оптимальными свойствами апериодической автокорреляционной функции (ААКФ), являются двоичные коды Баркера (ДКБ). Оптимальность заключается в том, что боковые пики ААКФ по абсолютной величине не превышают $1/N$, где N – число символов в последовательности. Известно, что энергетический выигрыш от использования сложного сигнала напрямую связан с величиной его базы, а скрытность функционирования радиопередачи наряду с другими факторами зависит от количества сигналов в системе. Известно также, что путем подбора двоичных кодов были найдены ДКБ, для длин последовательности $N = 2, 3, 4, 5, 7, 11, 13$. Многочисленные попытки обнаружить существование ДКБ большей длины не увенчались успехом. Поэтому, несмотря на уникальные корреляционные свойства кодов Баркера, при их использовании не приходится говорить о серьезном повышении помехоустойчивости и скрытности радиопередачи, так как число кодов ничтожно, а их базы не превышают 13.

Одним из возможных путей решения задачи формирования большого числа ПСП с большими базами и оптимальными ААКФ следует считать использование недвоичных последовательностей. С учетом требования простоты реализации устройств генерирования и обработки целесообразно ограничиться анализом ПСП с основанием 3.

Предполагается, что формирование сигналов из последовательностей троичных символов происходит *по правилу (1)* (фазоманипулированный сигнал $0 - \pi$ с псевдослучайными паузами):

$$S_i = \begin{cases} U \cos \omega t, & \text{если } a_i = 1; \\ -U \cos \omega t, & \text{если } a_i = -1; \\ 0, & \text{если } a_i = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Кроме *правила (1)* возможны и другие алгоритмы формирования радиосигнала на основе троичной последовательности. Например, для сигнала с фазовой манипуляцией $0 - \pi/2 - \pi$

$$S_i = \begin{cases} U \cos \omega t, & \text{если } a_i = 1; \\ -U \cos \omega t, & \text{если } a_i = -1; \\ U \sin \omega t, & \text{если } a_i = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Цель исследований – выявление троичных кодов, значения боковых пиков ААКФ которых не превышают $1/(N-m)$, где m – количество нулевых символов последовательности, соответствующих пассивной паузе в радиосигнале, если радиосигнал формируется по *правилу (1)*, и не превышают $1/N$, если радиосигнал формируется по *правилу (2)*.

Суть методики исследований состоит в том, что производится формирование N -разрядных кодов с основанием $n = 3$, вычисляются ААКФ каждой кодовой комбинации и из полного множества N -разрядных кодов выбираются такие, которые имеют оптимальные ААКФ. Исследования осуществляются с помощью специально разработанной программы. Найденные таким способом последовательности назовем троичными кодами Баркера (ТКБ). Некоторые выявленные ТКБ приведены в табл. 1. В табл. 2 приведено количество ТКБ для некоторых значений N и m .

Таблица 1

Примеры ТКБ

N, m	Кодовые последовательности			
$N=5$ $m=0$	-11-1-1-1	-1-1-11-1	111-11	1-1111
$m=1$	-11-1-10	-1-10-11	010-1-1	0-1001
	-11-100	-101-1-1	0100-1	001-10
$N=6$ $m=1$	-11-1-1-10	-1-10-11-1	-10-1-110	00-1-11-1
	-1-1-101-1	-100010	0-1-1010	000-101
$N=7$ $m=0$	-1-1-100-10	-10-1-1000	0-100-1-1-1	000-1-10-1
	$m=1$	-110-1000	-1-1-10-110	01-1-1-10-1	0-10001-1
-1-1100-10		-10-11000	0-110-1-1-1	0-1001-1-1
$N=8$ $m=1$	-11-1-1-100-1	-1-10010-10	01-1-1-1-10-1	0-100001-1
	-1-1-11-100-1	-10-1-11000	0-10100-1-1	0-1001-1-1-1

Таблица 2

Число оптимальных последовательностей с основанием 3

m	N												
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	2	8	4	0	4	0	0	0	4	0	4	0	0
1	4	20	24	36	20	36	0	0	0	4	0	4	0
2	8	12	40	72	100	124	84	112	36	32	12	40	16

В результате цифрового моделирования устройств формирования и корреляционной обработки показано существование большого количества ТКБ. Так, для последовательностей с

основанием $n = 3$ длиной $N = 7$, например, при наличии одного нулевого символа имеется 20 таких сигналов, а при двух нулевых символах число сигналов увеличивается до 100.

Следует отметить, что в случае формирования сигналов по правилу (1) с увеличением числа нулевых символов в последовательности растет пик-фактор радиосигнала (нарушается равномерное распределение его энергии во времени), тогда как при формировании сигнала по правилу (2) этого не происходит.

Найдены отдельные ТКБ длиной $N = 16$ и длиной $N = 17$. Например, один из 16-символьных ТКБ имеет следующую структуру: 0100-1-1-1-11-11-1-111-1.

Графики ААКФ данной последовательности для правил формирования (1) и (2) представлены на рис. 1, а и б.

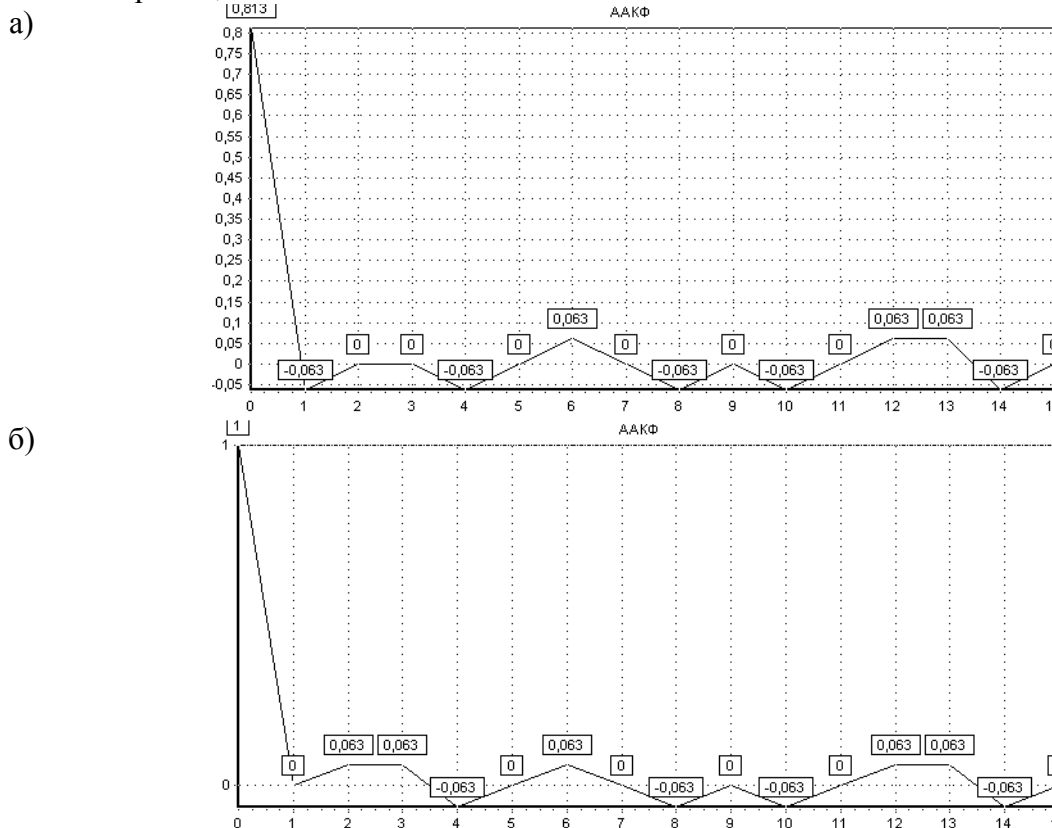


Рис. 1. ААКФ сигналов, сформированных на основе ТКБ

Есть основания полагать, что существуют и более длинные ТКБ, но для их поиска требуется более производительный компьютер.

Таким образом, применение рассмотренных сигналов в радиоэлектронных системах управления и информационного обмена с КА позволит повысить их скрытность и помехоустойчивость. Это обусловлено увеличением ансамбля и базы сигналов, имеющих корреляционные свойства, подобные корреляционным свойствам двоичных кодов Баркера.

Список используемых источников

1. Макаров А.А. Помехоустойчивые коды на основе недвоичных псевдослучайных последовательностей // Материалы XI Всероссийской конференции по проблемам науки и высшей школы. – 2007. – С. 186.

2. Петелин Ю.В., Ковалев М.А., Макаров А.А. Применение в спутниковых каналах связи троичных М-последовательностей // Материалы 61-й научно-технической конференции. – СПб.: Санкт-петербургское научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова, 2006. – С. 40–41.

А.М. Андреев,
кандидат техн. наук, доцент;
В.О. Хацаюк

АЛГОРИТМ ОЦЕНИВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ДОСТУПНОСТИ РАДИОИЗЛУЧЕНИЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ КОМАНДНО-РЕТРАНСЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Рассматривается имитационная модель космической командно-ретрансляционной системы для оценивания пространственной доступности радиоизлучений с позиции наземной станции радиомониторинга.

Ключевые слова: командно-ретрансляционная система, радиомониторинг, зона обслуживания

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В настоящее время для организации информационного обмена с низкоорбитальными космическими аппаратами (НКА) все более активно применяются космические командно-ретрансляционные системы (ККРС) [1]. В таких системах с помощью специализированных космических аппаратов-ретрансляторов (КАР) организуются радиолинии передачи командно-программной, телеметрической и целевой информации в направлении «наземный комплекс управления – КАР – НКА» и обратно. При организации и ведении радиомониторинга (РМ) прямой радиолинии (в направлении от КАР на НКА) необходимо решать задачу оценивания пространственной доступности радиоизлучений КАР с позиции наземной станции контроля. Полученная оценка может использоваться при прогнозировании времени наблюдения радиоизлучений КАР, в том числе при принятии решения о целесообразности размещения станции контроля в определенном месте. Оценивая пространственную доступность радиоизлучений на заданном интервале наблюдения, необходимо учитывать изменение пространственного положения КАР и обслуживаемого НКА, а также основные характеристики функционирования контролируемой ККРС. Учет указанных факторов в аналитической модели осуществлять достаточно сложно, поэтому для решения задачи предлагается применить метод имитационного моделирования.

Задача оценивания пространственной доступности может быть сформулирована следующим образом. При прохождении обслуживаемым НКА участка орбиты, видимого из точки, в которой находится КАР, между ними осуществляется информационный обмен. На протяжении сеанса обслуживания узконаправленная антенна КАР ориентируется в направлении на НКА и сопровождает его, при этом на определенных участках орбитального полета НКА область радиообзора КАР пересекает земную поверхность, что позволяет принимать ретранслируемые сигналы наземной станцией РМ. Условие пространственной доступности ретранслируемых радиоизлучений будет выполняться в моменты времени, когда станция РМ попадает в область радиообзора КАР. Таким образом, на основе анализа пространственных характеристик ККРС требуется определить временные интервалы, в течение которых возможен прием сигналов КАР в заданной точке размещения станции РМ.

Пусть орбиты космических аппаратов на момент времени начала наблюдения t_n заданы соответствующим набором кеплеровских элементов $K = \{\Omega, i, a, e, \omega, \tau\}$, где введены обозначения:

- Ω – долгота восходящего узла;
- i – наклонение;
- a – большая полуось;
- e – эксцентриситет;

ω – аргумент широты перигея;
 τ – время прохождения перигея.

Схема взаимного расположения КАР и НКА в произвольный момент времени представлена на рис. 1. На схеме введены следующие обозначения: T – точка размещения КАР на орбите; S – точка размещения обслуживаемого НКА; R – точка размещения станции РМ на поверхности Земли; α – угол раскрытия конической поверхности, заключающий в себе область радиобзора КАР.

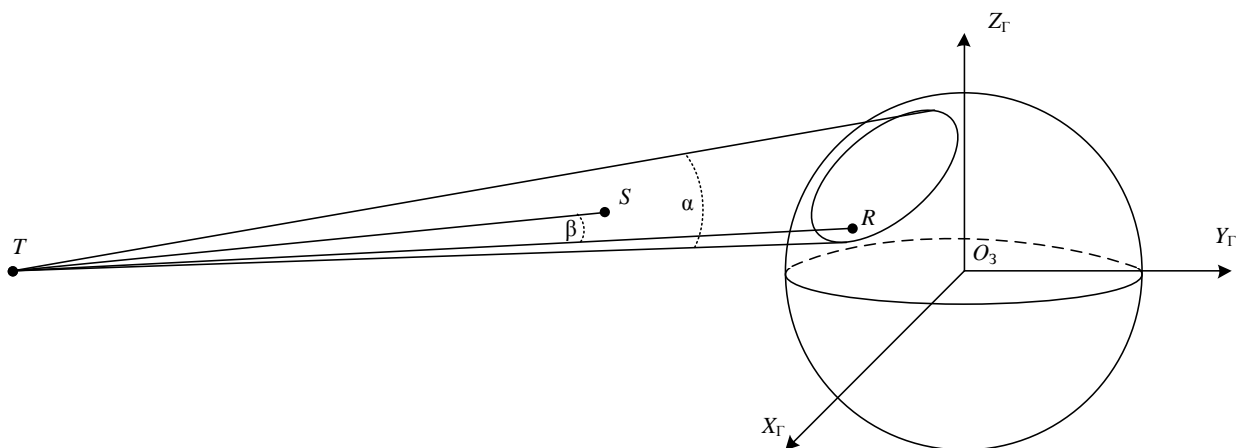


Рис. 1. Схема взаимного расположения КАР и НКА

Учитывая заданные кеплеровские элементы орбит, необходимо симитировать орбитальное движение КАР и НКА в гринвичской относительной геоцентрической системе координат с заданным интервалом времени Δt . Величина интервала Δt выбирается исходя из требуемой детализации оценки пространственной доступности на заданном периоде наблюдения. Как правило, пространственная доступность оценивается на периоде наблюдения в несколько суток, при этом величина Δt выбирается в пределах 1–5 мин. В каждый момент времени имитации движения необходимо построить линию визирования TS и при наличии прямой видимости двух ИСЗ следует построить область радиобзора КАР, границы которой описываются конической поверхностью с углом раствора α и вершиной в точке T , ось которой совпадает с линией визирования. Величина угла α определяется шириной главного лепестка диаграммы направленности передающей антенны КАР. При пересечении областью радиобзора земной сферы образуется зона покрытия. Требуется на каждом шаге имитации определить факт попадания точки R в зону покрытия КАР.

При разработке имитационной модели были приняты следующие допущения:

- форма Земли принимается как эллипсоидальная (большая полуось $a_3 = 6378137,0$ м, малая полуось $b_3 = 6356752,3141$ м);
- значение гравитационного параметра Земли $\mu = 398600,4415 \text{ м}^3/\text{с}^2$.

АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Алгоритм, реализующий имитационную модель, описывается следующей последовательностью действий:

1. Ввод исходных данных:

- наборы K_T и K_S кеплеровских элементов орбит КАР и обслуживаемого КА соответственно;
- геодезические координаты точки размещения станции радиомониторинга: широта B , долгота L , высота H ;
- время начала имитации $t_{\text{н}}$;

- время окончания имитации t_k ;
- шаг дискретизации временной шкалы Δt ;
- ширина главного лепестка антенной системы КАР α (в градусах);
- минимально допустимое значение угла места приемной антенны станции контроля γ_{\min} .

2. Расчет количества шагов имитации –

$$N = (t_k - t_n) / \Delta t.$$

Инициализация переменной цикла $j = 0, 1, \dots, n-1$ и n -элементного массива флагов пространственной доступности F . Вычисление периода обращения КАР и НКА по формуле

$$T = 2\pi \frac{a^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{\mu}}.$$

3. Определение координат точек T и S в относительной гринвичской системе координат на момент времени $t = t_0 + j\Delta t$.

Для осуществления указанного действия необходимо, используя элементы соответствующих наборов K_T и K_S , выполнить следующие операции.

Решив уравнение

$$t - T = \frac{T}{2\pi} (E - e \sin E),$$

найти эксцентрическую аномалию E , соответствующую заданному значению времени t .

Найти истинную аномалию θ по формуле

$$\cos \theta = \frac{\cos E - e}{1 - e \cos E}.$$

Определить величину радиус-вектора

$$r = a(1 - e \cos E)$$

и аргумент широты

$$u = \omega + \theta.$$

Тогда координаты точек в абсолютной геоцентрической системе будут следующие:

$$x_\gamma = r(\cos \Omega \cos u - \sin \Omega \sin u \sin i),$$

$$y_\gamma = r(\sin \Omega \cos u - \sin u \cos \Omega \cos i),$$

$$z_\gamma = r \sin u \sin i.$$

Они пересчитываются в относительную гринвичскую систему координат по формулам:

$$x_\Gamma = x_\gamma \cos S_3 + y_\gamma \sin S_3,$$

$$y_\Gamma = y_\gamma \cos S_3 - x_\gamma \sin S_3,$$

$$z_\Gamma = z_\gamma,$$

где S_3 – звездное время на меридиане Гринвича.

4. Проверка выполнения условия прямой видимости точек T и S с учетом возможного экранирования Землей. Прямая видимость определяется исходя из условия отсутствия точек пересечения прямой TS с поверхностью земного эллипсоида. Проверка этого условия выполняется путем решения системы уравнений прямой и эллипсоида:

$$\begin{cases} \frac{x - x_T}{x_S - x_T} = \frac{y - y_T}{y_S - y_T} = \frac{z - z_T}{z_S - z_T}, \\ \frac{x^2}{a_3^2} + \frac{y^2}{a_3^2} + \frac{z^2}{b_3^2} = 1 \end{cases},$$

где x_T, y_T, z_T – координаты КАР в Гринвичской системе координат;

x_S, y_S, z_S – координаты НКА в Гринвичской системе координат;

a_3, b_3 – большая и малая полуоси земного эллипсоида.

В случае, когда система уравнений не имеет решений, прямая TS не пересекает земной эллипсоид, и прямая видимость есть. В противном случае наличие или отсутствие прямой видимости определяется сравнением расстояния между НКА и КАР – D_{TS} и высотой стояния КАР – r_T , т.е.

$$D_{TS} = \sqrt{(x_T - x_S)^2 + (y_T - y_S)^2 + (z_T - z_S)^2},$$

$$r_T = \sqrt{x_T^2 + y_T^2 + z_T^2}.$$

При условии $D_{TS} < r_T$ прямая видимость есть, а в случае $D_{TS} \geq r_T$ линия визирования перекрывается земным эллипсоидом. При отсутствии взаимной видимости НКА и КАР полагается, что связь между ними не устанавливается, при этом флагу пространственной доступности текущего элемента массива F присваивается «0» и выполняется переход к шагу 7, в противном случае осуществляется переход к следующему шагу.

5. Проверка условия радиовидимости КАР из точки размещения приемного комплекса R , для чего вычисляется значение угла места КАР:

$$\gamma = \arctg \frac{z_{\Pi}}{\sqrt{x_{\Pi}^2 + y_{\Pi}^2}},$$

где x_{Π} , y_{Π} , z_{Π} – координаты КАР в топоцентрической пунктовой прямоугольной системе координат.

Полученное значение сравнивается с минимально допустимым значением γ_{\min} . Если $\gamma \leq \gamma_{\min}$, то полагается, что прием сигналов КАР из точки размещения ЗС невозможен, при этом флагу пространственной доступности текущего элемента массива F присваивается «0», и выполняется переход к шагу 7, в противном случае осуществляется переход к следующему шагу.

6. Проверка принадлежности точки R зоне покрытия КАР. Для этого определяется угол между прямыми TS и TR :

$$\cos \beta = \frac{D_{TS}^2 + D_{TR}^2 - D_{SR}^2}{2D_{TS}D_{TR}}.$$

При условии $\beta < \alpha/2$ станция РМ находится в зоне покрытия КАР, и флагу электромагнитной доступности текущего элемента массива временных интервалов присваивается «1», в противном случае – «0».

7. Проверка завершения цикла. Если $j=n-1$, то осуществляется вывод результатов, в противном случае выполняется приращение переменной цикла и переход к шагу 3.

8. Вывод результатов. Отображение значений элементов массива F на временной оси. Промежутки времени, в течение которых наблюдаются излучения КАР, определяются границами временных интервалов, для которых флаг пространственной доступности установлен в единицу.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

На рис. 2 в качестве примера представлены результаты оценивания пространственной доступности КАР, размещенного в точке геостационарной орбиты 88° в.д. из точки наблюдения с координатами 133° в.д. и 44° с.ш, при обслуживании им КА дистанционного зондирования Земли Alos-2. Моделирование производилось на суточном интервале наблюдения с шагом в одну минуту. Значение ширины главного лепестка диаграммы направленности передающей антенны КАР полагается равным 10° . За указанный период наблюдения радиоизлучения КАР будут доступны с позиции станции радиомониторинга в течение тринадцати интервалов со средней длительностью 19,2 мин. Максимальная длительность такого интервала $\tau_{\max}=26$ мин.

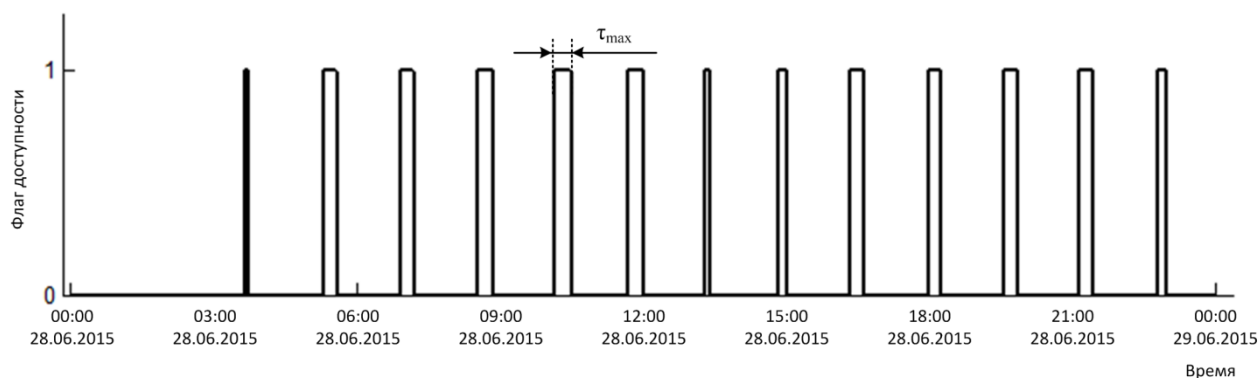


Рис. 2. Отображение результатов моделирования

ВЫВОДЫ

Разработанный моделирующий алгоритм реализован программно с применением пакета прикладных программ Matlab и может быть использован при решении задач планирования радиомониторинга прямой радиолинии ККРС. При наличии исходных данных о диаграмме направленности передающей антенной системы предлагаемая имитационная модель может быть адаптирована для оценивания энергетических характеристик сигналов в точке приема.

Список используемых источников

1. European data relay system: the spacedatahighway. – URL: [http:// esamultimedia.esa.int/docs/telecom/EDRS_factsheet_EN.pdf](http://esamultimedia.esa.int/docs/telecom/EDRS_factsheet_EN.pdf) (дата обращения: 01.07.2015).
2. Рекомендация МСЭ-R SA.1414-1. Характеристики спутниковых систем ретрансляции данных. Серия SA: Космические применения и метеорология. – URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/sa/R-REC-SA.1414-1-201312-I!!PDF-R.pdf (дата обращения: 01.07.2015).
3. Власов С.А., Мамон П.А. Теория полета космических аппаратов. – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2007. – 435 с.
4. Спутниковая связь и вещание: справочник / под ред. Л.Я. Кантора. – М.: Радио и связь, 1997. – 528 с.

И.Ю. Еремеев,
доктор техн. наук, профессор;
К.Б. Махров;
А.И. Мухин

МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ ЗОНДИРУЮЩИХ СИГНАЛОВ РАДИОЛОКАТОРА КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ПРИ НИЗКИХ ОТНОШЕНИЯХ СИГНАЛ/ШУМ

В статье рассматривается метод обнаружения зондирующих сигналов при низких отношениях сигнал/шум с учетом внутриимпульсной избыточности сигналов, однотипности смежных импульсов, ширины спектра, базы, периода следования импульсов. Предложена схема взаимной свертки спектра двух однотипных сигналов. Выявлены признаки, возникающие при обработке зондирующих сигналов.

Ключевые слова: зондирующие сигналы, космические аппараты, цифровые отсчеты, взаимная свертка спектра, низкое отношение сигнал/шум.

В радиолокаторах космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли используются сложные однотипные зондирующие сигналы с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) или с двоичной фазовой манипуляцией (ФМн-2) [1].

Как правило, мониторинг излучений бортовых радиолокаторов КА осуществляется в условиях неопределенности и при низких отношениях сигнал/шум в силу возможной удаленности приемной наземной антенны от центра пятна облучения. В таких случаях обнаружение зондирующих сигналов становится маловероятным.

Известные методы не обеспечивают требуемую вероятность обнаружения однотипных зондирующих сигналов. К таким методам можно отнести следующие: методы, основанные на анализе динамики изменения мгновенной частоты сигнала; методы, основанные на эффекте свертки спектра сигналов с внутриимпульсной модуляцией; акустооптические методы; методы черезпериодного обнаружения и т.п. [2–4].

С целью повышения вероятности обнаружения сигналов в условиях неопределенности и при низких отношениях сигнал/шум разработан метод обнаружения однотипных зондирующих сигналов радиолокаторов КА дистанционного зондирования Земли в последовательности цифровых отсчетов зарегистрированной смеси сигнала и шума.

К особенностям зондирующих сигналов можно отнести следующие: однотипность смежных импульсов, ширина спектра $10 \text{ МГц} \leq \Delta f \leq 600 \text{ МГц}$, база сигналов $B > 100$, период следования импульсов $1 \text{ кГц} \leq T \leq 6 \text{ кГц}$ [5].

Анализ принятых зондирующих сигналов с помощью наземной станции радиомониторинга (с учетом компенсации доплеровского сдвига частот) показывает, что зарегистрированные сигналы отличаются друг от друга только по амплитуде. Максимальный уровень амплитуды сигналов имеет место на линии траверза, минимальный – в начале и в конце облучения.

На рис. 1 представлены зондирующие импульсы космических аппаратов на интервале наблюдения.

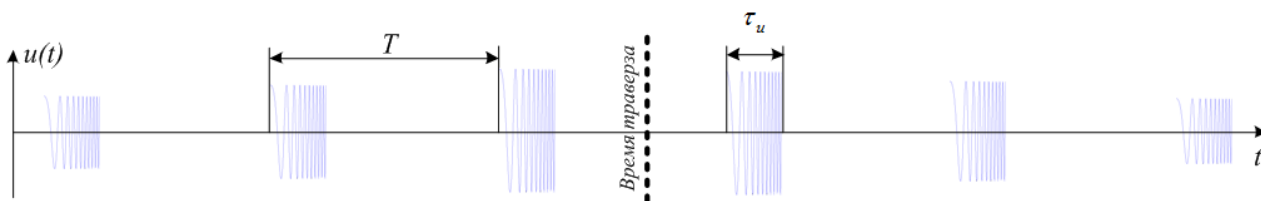


Рис. 1. Зондирующие импульсы космических аппаратов на интервале наблюдения

Аналитическое выражение для ЛЧМ сигнала с постоянной амплитудой U_c можно записать в виде

$$u_c(t) = U_c \cos[\omega_c t + \pi \gamma t^2 + \varphi_0] = U_c \cos\left[\omega_c t + \frac{\Delta\omega_{\text{и}}}{2\tau_{\text{и}}} t^2 + \varphi_0\right], \quad -\frac{\tau_{\text{и}}}{2} < t < \frac{\tau_{\text{и}}}{2},$$

- где U_c – амплитуда сигнала;
 $\omega_0 t$ – линейная фазовая составляющая;
 γ – скорость изменения частоты;
 φ_0 – начальная фаза сигнала;
 $\Delta\omega_c$ – девиация частоты импульса, $\Delta\omega_{\text{и}} = 2\pi\Delta f$;
 $\tau_{\text{и}}$ – длительность импульса.

Комплексная огибающая сигнала имеет вид

$$\dot{U}_{\text{и}}(t) = U_{\text{и}} \exp\left(j \frac{\Delta\omega_{\text{и}}}{2\tau_{\text{и}}} t^2\right) = U_c \exp\left(j\pi B \frac{t^2}{\tau_{\text{и}}^2}\right), \quad \text{при } -\frac{\tau_{\text{и}}}{2} < t < \frac{\tau_{\text{и}}}{2}.$$

Спектр комплексной огибающей ЛЧМ сигнала может быть представлен следующим образом:

$$\dot{S}(j\omega) = \int_{-\tau_{\text{и}}/2}^{\tau_{\text{и}}/2} \dot{U}_{\text{и}}(t) \exp(-j\omega t) dt = U_c \int_{-\tau_{\text{и}}/2}^{\tau_{\text{и}}/2} \exp\left[j\left(\frac{\Delta\omega_{\text{и}}}{2\tau_{\text{и}}} t^2 - \omega t\right)\right] dt.$$

В общем виде ФМн сигнал определяется выражением

$$u_c(t) = \sum_{i=1}^N U_i U_o(t-t_i) \cos[\omega_o(t-t_i) + \varphi_i], \quad (i-1)\tau_{\text{э}} \leq t \leq i\tau_{\text{э}},$$

- где U_i – амплитуда элементарного импульса;
 $U_o(t-t_i)$ – единичная функция, описывающая прямоугольную форму импульсов;
 $\tau_{\text{э}}$ – длительность элементарного импульса (общее число элементарных импульсов в сигнале – N)
 φ_i – фаза на i -м тактовом интервале;
 i – номер тактового интервала.

Спектр комплексной огибающей ФМн сигнала можно представить следующим образом:

$$\dot{S}(j\omega) = \dot{S}_{\text{ед}}(j\omega) \dot{S}_{\text{код}}(j\omega),$$

где $\dot{S}_{\text{ед}}(\omega)$ – спектр единичного импульса с амплитудой U_c ;

$\dot{S}_{\text{код}}(\omega)$ – спектр кодовой последовательности.

В рамках предлагаемого метода обнаружение зондирующих сигналов радиолокатора космических аппаратов дистанционного зондирования Земли осуществляется в исходной последовательности цифровых отсчетов $\left\langle \dot{x}_i \right\rangle_N$ (ПЦО). Поиск сигналов в ПЦО проводится с помощью опорного сегмента (ОС) и текущего сегмента (ТС).

Опорный сегмент может быть представлен в виде

$$\left\langle \begin{matrix} \bullet(i_o) \\ x_l \end{matrix} \right\rangle_L = \left\langle \begin{matrix} \bullet \\ x_{i_o+l}, \dots, x_{i_o+L} \end{matrix} \right\rangle,$$

где l – текущий номер внутри фрагмента [$l=I(I)L$];

i_o – начальный номер элемента фрагмента в исходной ПЦО, $i_o \in \{0, 1, 2, \dots, l-1\}$.

L – начальный размер сегмента, $L = \tau_{\text{и}} \cdot F_{\text{д}}$.

Текущий сегмент может быть представлен в виде

$$\left\langle \begin{matrix} \bullet(i_o+\Delta i) \\ x_l \end{matrix} \right\rangle_L = \left\langle \begin{matrix} \bullet \\ x_{i_o+\Delta i+l}, \dots, x_{i_o+\Delta i+L} \end{matrix} \right\rangle,$$

где Δi – величина смещения элементов ТС относительно элементов ОС.

В том случае, когда ОС и ТС сформированы, происходит перемножение их цифровых отсчетов:

$$y_l = x_l \cdot x_l^{*(i_o+\Delta i)}, \quad l = 0(I)L-1.$$

Далее рассчитывается спектр результатов перемножения:

$$\left\langle \begin{matrix} \bullet(i_o, i_o+\Delta i) \\ s_l \end{matrix} \right\rangle_L = \text{fft} \left(\left\langle \begin{matrix} \bullet(i_o, i_o+\Delta i) \\ y_l \end{matrix} \right\rangle_L \right).$$

Сформированные спектральные составляющие сравниваются с порогом обнаружения, и формируются значения индикаторной функции вида

$$\rho(i_o, i_o + \Delta i, l) = \begin{cases} 1, & \text{при } \left| \begin{matrix} \bullet(i_o, i_o+\Delta i) \\ s_l \end{matrix} \right| \geq \lambda; \\ 0, & \text{при } \left| \begin{matrix} \bullet(i_o, i_o+\Delta i) \\ s_l \end{matrix} \right| < \lambda. \end{cases}$$

Если $\left| \begin{matrix} \bullet(i_o, i_o+\Delta i) \\ s_l \end{matrix} \right| \geq \lambda$, то принимается решение о наличии сигнальных составляющих в ОС и ТС.

В том случае, когда $\left| \begin{matrix} \bullet(i_o, i_o+\Delta i) \\ s_l \end{matrix} \right| < \lambda$, принимается решение об отсутствии сигнальных составляющих в ОС и ТС.

При полном или частичном взаимодействии ОС и ТС могут формироваться отклики или дискретные спектральные составляющие (ДСС) $\left| \begin{matrix} \bullet(i_o, i_o+\Delta i) \\ s_l \end{matrix} \right| \geq \lambda$ в следующих частотных областях:

- в области отрицательных частот;
- в области положительных частот;
- на нулевой частоте.

Указанные ДСС являются признаком наличия сигналов в ОС и ТС.

Возможные варианты взаимодействия элементов ОС и ТС, а также возникающие в результате преобразований характерные признаки наличия в ОС и ТС импульсов с различными видами модуляции представлены на рис. 2.

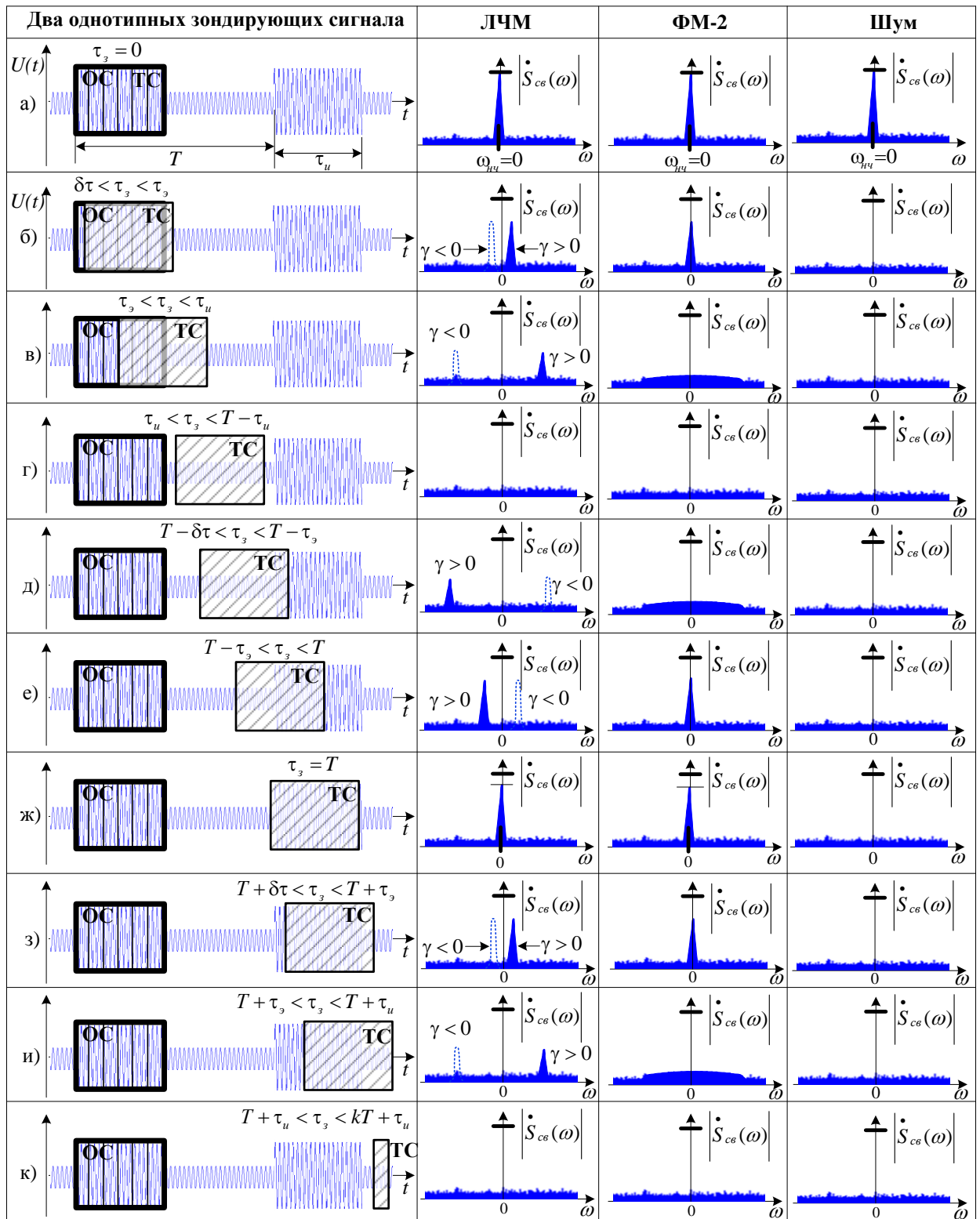


Рис. 2. Возможные варианты взаимодействия элементов ОС и ТС

Преобразование, происходящее между отсчетами ОС и ТС, осуществляется по разработанной схеме взаимной свертки спектра двух однотипных сигналов. На рис. 3 представлена схема взаимной свертки спектра двух однотипных сигналов (П – перемножитель, ПФ – полосовой фильтр).

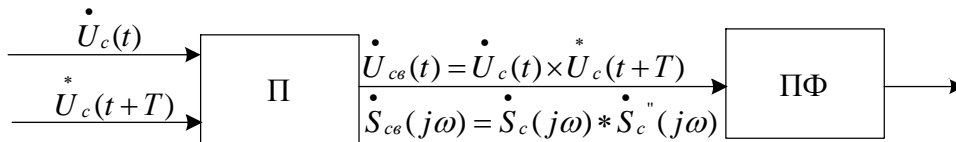


Рис. 3. Схема взаимной свертки спектра двух однопериодных сигналов

При когерентном накоплении n однопериодных импульсов, мощность результирующего сигнала растет пропорционально n , а мощность результирующей помехи за счет отсутствия корреляции – пропорционально \sqrt{n} . Поэтому результирующее отношение сигнала к шуму увеличивается в \sqrt{n} раз [4].

В силу того что зондирующие сигналы однопериодны и обладают количественной избыточностью, а смежные импульсы обладают практически одинаковыми параметрами, n пар зондирующих импульсов (сигналы с ФМн-2) с последующим накоплением результатов преобразования примет вид

$$q_{\text{вых}} = \sqrt{n} \cdot \left(\frac{B \cdot q_{\text{вх}}^2}{1 + 2 \cdot q_{\text{вх}}} \right).$$

Зависимости $q_{\text{вых}}$ от $q_{\text{вх}}$ при обработке двух однопериодных зондирующих сигналов ($n = 1$) на основе взаимной свертки спектра представлены на рис. 4.

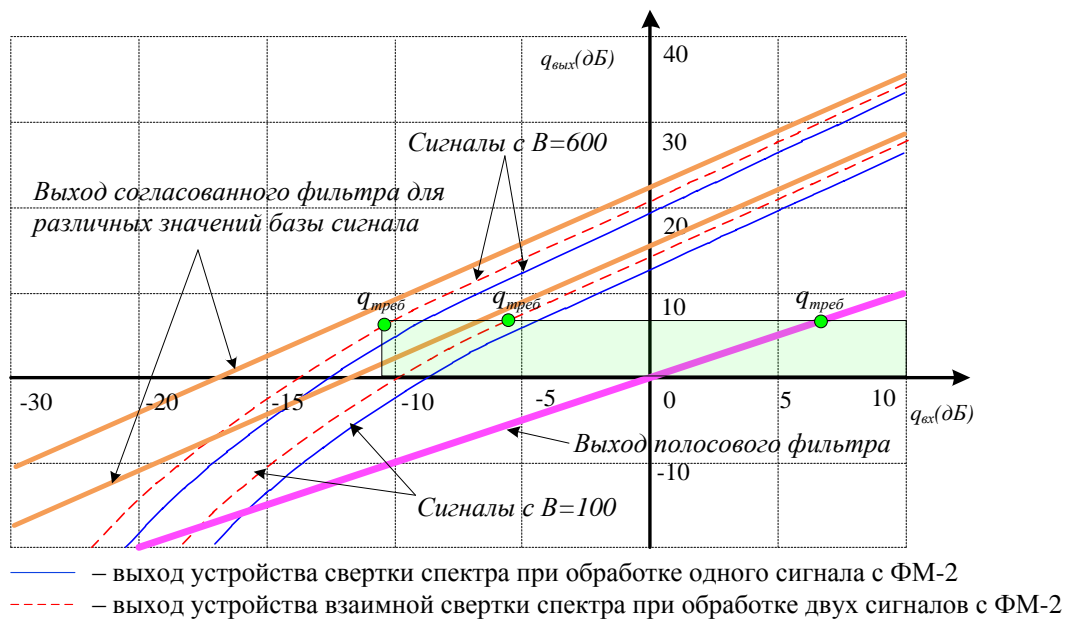


Рис. 4. Зависимости $q_{\text{вых}}$ от $q_{\text{вх}}$ при обработке одного и двух однопериодных зондирующих сигналов

Полученный выигрыш в отношении сигнал/шум по сравнению с выигрышем, обеспечиваемым схемой свертки спектра одиночного импульса с ФМ-2, составляет до 3 дБ. Это связано с тем, что при обработке двух однопериодных сигналов с периодом следования T корреляция шумов отсутствует.

ВЫВОДЫ

Предложен метод обнаружения однотипных зондирующих сигналов радиолокаторов космических аппаратов дистанционного зондирования Земли в последовательности цифровых отсчетов при низких отношениях сигнал/шум. В методе при обработке зондирующих сигналов учитываются следующие особенности: внутриимпульсная избыточность, однотипность смежных импульсов, ширина спектра, база сигналов, период следования импульсов. Предложена схема взаимной свертки спектра двух однотипных сигналов.

Выявлены признаки, возникающие при взаимной свертке спектра периодических зондирующих сигналов. Определены зависимости $q_{\text{вых}}$ от $q_{\text{вх}}$ при обработке одного и двух однотипных зондирующих сигналов. Оценен выигрыш в отношении сигнал/шум на выходе устройства взаимной свертки спектра при обработке двух однотипных сигналов с ФМ-2 по сравнению с отношением сигнал/шум на выходе устройства свертки спектра при обработке одного сигнала с ФМ-2. Выигрыш составил 3 дБ, что связано с отсутствием корреляции шумов при обработке двух однотипных сигналов.

Список используемых источников

1. *Гарбук С.В., Гершензон В.Е.* Космические системы дистанционного зондирования Земли. – М.: Издательство А и Б, 1997. – 297 с.
2. *Замарин А.И., Рахматулин А.М.* Цифровая свертка спектра дискретных частотных сигналов на базе систолических архитектур // Известия вузов. Приборостроение. – 1998. – №8. – С. 32–38.
3. *Еремеев И.Ю., Теремов М.П.* Метод обнаружения сигналов с ЛЧМ и ФМн на основе вычисления локальной свертки спектра // Материалы XVII межвузовской ВНК. – Череповец: ЧВИИРЭ, 2006. – С. 78–80.
4. *Тяпкин В.Н.* Основы построения радиолокационных станций радиотехнических войск. – Красноярск, 2011. – С. 273–276.
5. *Верба В.С., Неронский Л.Б.* Радиолокационные системы землеобзора космического базирования. – М.: Радиотехника, 2010. – 680 с.

К.О. Фролов

АНАЛИЗ АТМОСФЕРНЫХ УСЛОВИЙ В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПРОБЛЕМЕ СОЗДАНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ ТУМАНОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ

В статье на основе обработки материалов, содержащихся в справочниках по климату и аэроклиматических справочниках атмосферы, приводятся результаты анализа атмосферных условий вблизи космодрома Плесецк применительно к проблеме создания искусственных туманов в интересах решения широкого круга прикладных задач.

Ключевые слова: туман, искусственный туман, температура воздуха, относительная влажность воздуха, ветер, слои инверсии.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из наиболее серьезных экологических проблем, связанных с ракетно-космической деятельностью, является загрязнение атмосферного воздуха токсичными веществами, образующимися при старте ракеты-носителя (РН) в результате сгорания компонентов ракетного топлива. Особенно актуальной эта проблема становится в случае аварии или катастрофы ракеты-носителя на стартовом комплексе. Это обстоятельство определяет необходимость поиска эффективных методов и средств снижения уровня загрязнения атмосферного воздуха в районе старта РН.

В последние годы в ряде работ [1, 2] предложены геофизические методы снижения уровня концентрации загрязняющих веществ в воздухе после старта РН, т.е. методы, основанные на использовании определенных средств модифицирования атмосферных условий. Анализ этих методов показывает, что одним из наиболее перспективных является метод, основанный на локализации газоаэрозольного выброса путем создания искусственного тумана (ИТУМ) [2].

Целью настоящей работы являются, в отличие от работы [3], анализ и обобщение данных об атмосферных условиях в районе космодрома Плесецк, расположенного в Архангельской области, для выявления возможностей создания искусственных туманов в холодное полугодие.

ВЫБОР ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА И МЕТОДИКА ЕГО ОБРАБОТКИ

Для решения задачи создания искусственных туманов необходимо иметь информацию о комплексе метеорологических характеристик, включающих термический режим, влажность воздуха, скорость ветра в пограничном слое, а также повторяемость естественных туманов. Особую значимость для оценивания условий создания искусственных туманов имеют сведения о характере инверсионных слоев – их мощности, интенсивности и длительности существования.

Для выполнения указанной задачи в работе использовалась имеющаяся климатологическая информация, полученная на близлежащих к Плесецку станциях: Конево, Каргополь, Няндомы, а также с пункта радиозондирования – Архангельск.

Основным исходным материалом для выполнения настоящей работы явились данные, содержащиеся в справочниках по климату СССР, «Научно-прикладном справочнике по климату СССР», а также в «Новом аэроклиматическом справочнике особых слоев атмосферы над СССР» и в «Новом аэроклиматическом справочнике пограничного слоя атмосферы над СССР» [4–11].

В работе исследование атмосферных условий в Архангельской области проведено для месяцев холодного полугодия (октябрь–март).

ХАРАКТЕРИСТИКА АТМОСФЕРНЫХ УСЛОВИЙ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ И В НИЖНЕЙ ТРОПОСФЕРЕ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПРОБЛЕМЕ СОЗДАНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ ТУМАНОВ

Необходимость и целесообразность проведения работ по созданию искусственных туманов в конкретном физико-географическом районе (ФГР) неразрывно связаны с получением данных о повторяемости туманов естественного происхождения. Результаты исследования по этому вопросу приведем ниже.

Среднее число дней с туманом для рассматриваемых районов изменяется в течение холодного полугодия от 1 до 6 дней. Так, например, над районами Конеево наибольшее число дней с туманом (4 дня) наблюдается в феврале и марте, наименьшее число (по одному дню в месяц) – в ноябре и декабре. Для районов Каргополя наличие туманов отмечается чаще. При этом больше всего их бывает в октябре (6 дней в месяце – с туманами) и ноябре (5 дней). В декабре, феврале и марте число дней с туманами составляет четыре. Однако даже величина дней с туманом (равна 6) составляет для октября в районе Каргополя всего 19,4% от общего числа дней в этот месяц. При этом средняя продолжительность туманов в этом месяце для района Каргополя составляет порядка 25 часов, или 3,4% от общего числа часов в октябре (744 часа). Следовательно, в течение холодного полугодия указанные районы будут свободными от туманов на протяжении большого промежутка времени.

Успешность осуществления мероприятий по созданию искусственных туманов (ИТУМ) во многом определяется ветровым и температурно-влажностным режимами, а также наличием слоев инверсий над рассматриваемыми районами.

Исследование ветрового режима показало, что над выбранными для исследований районами преобладают ветра *южного* и *юго-западного* направлений. Для районов Конеево, например, на повторяемость ветра этих направлений приходится, в зависимости от месяца холодного полугодия, от 19 до 30% и от 17 до 23% соответственно, а для районов Каргополя приходится от 21 до 34% и от 15 до 21%.

Приведенные выше данные о повторяемости ветра определенного направления для рассматриваемых районов в холодное полугодие могут быть использованы при планировании, подготовке и проведении работ по созданию ИТУМ. Актуальность этих данных возрастает при применении их в сочетании со сведениями о средней скорости ветра. Исследования в этом направлении показали, что ветровой режим для создания ИТУМ является благоприятным, поскольку значения скорости ветра характеризуются величинами в диапазоне 3,6–4,9 м/с (в зависимости от месяца холодного полугодия и района). Неблагоприятные для создания ИТУМ условия (скорость ветра более 6 м/с) над рассматриваемыми районами практически не наблюдаются.

Опыт проведения экспериментальных работ по созданию ИТУМ убедительно показал, что получение положительного результата зависит от значений ряда метеорологических величин, среди которых особенно важно определить температуру и влажность воздуха. При этом нужно иметь сведения о значениях этих величин не только у поверхности земли, но и на высотах.

Из анализа данных о распределении температуры воздуха у поверхности земли следует, что во все месяцы холодного полугодия (за исключением октября) над рассматриваемыми районами наблюдаются отрицательные значения температуры воздуха. При этом самые низкие их значения фиксируются в зимние месяцы (декабрь и февраль) и составляют порядка от минус 10°С до минус 19°С (в зависимости от района). Следовательно, можно сделать вывод о том, что над рассматриваемыми районами у поверхности земли в период с ноября по март (и особенно зимой) наблюдается благоприятный для создания искусственных

кристаллических туманов температурный режим, а в октябре возможно создание теплых туманов.

Возможность создания ИТУМ, наряду с температурным режимом, будет в большей мере определяться значениями влажности воздуха. Исследования этого вопроса показало, что для рассматриваемых районов влажностный режим для создания ИТУМ является благоприятным, поскольку его значения характеризуются величинами в диапазоне 78–91% (в зависимости от месяца полугодия и рассматриваемого района).

Поскольку толщина слоя искусственных туманов может составлять несколько десятков (а в ряде случаев и сотен) метров, при планировании, подготовке и проведении работ по созданию ИТУМ необходимы также данные о температурно-влажностном режиме на различных высотах в конкретном ФГР. Значимость этих сведений еще более повышается, поскольку распределение метеорологических величин, определяющих температурно-влажностный режим по высотам, в частности температуры воздуха, позволяет выделить в атмосфере слои инверсии. Данные о характеристиках слоев инверсии (интенсивность, мощность, длительность существования) позволяют в значительной мере сделать правильный вывод о возможности достижения положительного результата при выполнении работ по созданию ИТУМ.

С учетом вышеизложенного в качестве примера на рис. 1 и 2 для станции Архангельск представлены графики распределения с высотой H указанных выше метеорологических величин для ночи, утра, дня и вечера в январе.

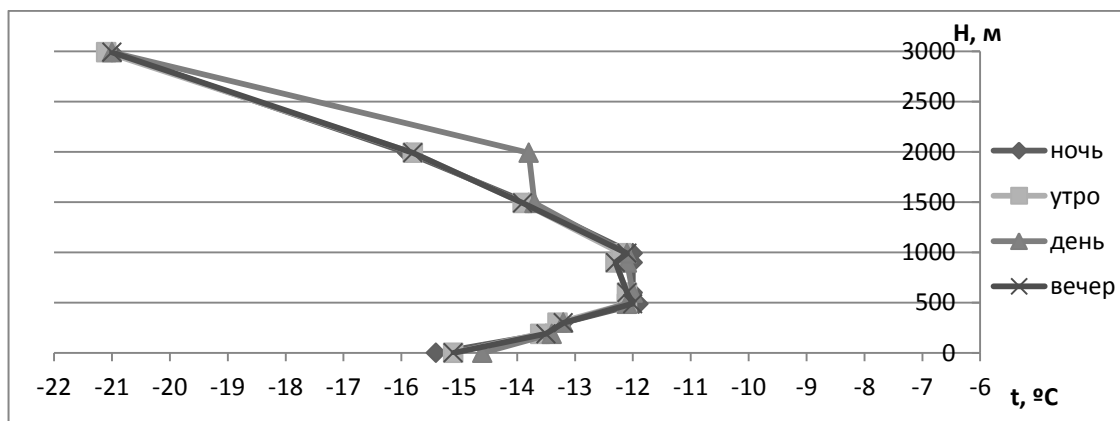


Рис. 1. Распределение средней месячной температуры воздуха (t) в атмосфере для станции Архангельск в течение суток (январь)

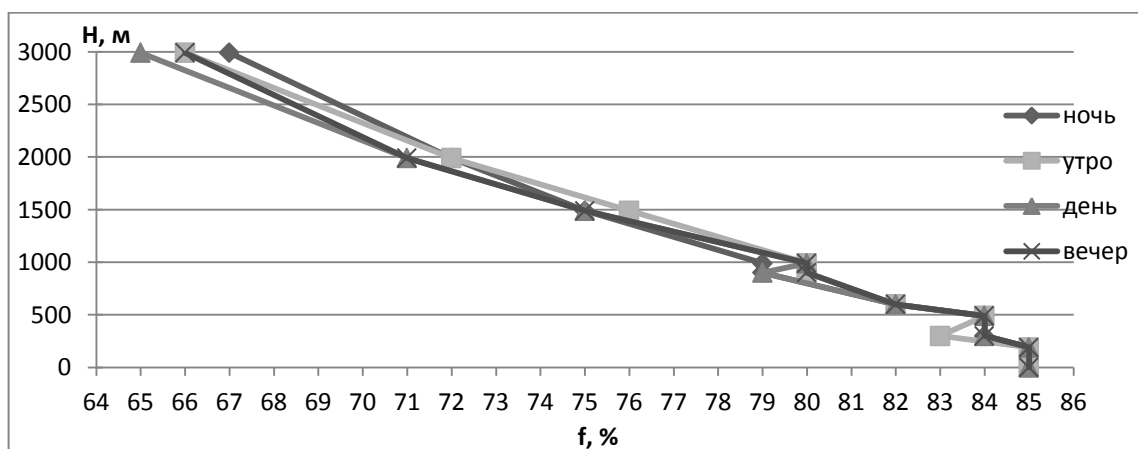


Рис. 2. Распределение средней месячной относительной влажности (f) воздуха в атмосфере для станции Архангельск в течение суток (январь)

Из анализа данных о распределении средней месячной температуры воздуха в течение суток, представленных на рис. 1, следует, что от поверхности земли и до высот порядка 500 м наблюдается наличие слоев инверсии, характеризующихся ростом значений температуры воздуха от минус 15,5°C до минус 12°C. Известно, что слои инверсии являются задерживающими слоями, под которыми, как правило, наблюдаются повышенные значения концентрации ядер конденсации и относительной влажности воздуха. В силу этого можно предположить, что слой с наличием ИТУМ будет располагаться до высот 300–500 м.

Данные о распределении средней месячной относительной влажности воздуха в атмосфере до высот порядка 500 м для станции Архангельск в течение суток для января, приведенные на рис. 2, позволяют сделать следующие выводы. В течение суток до высоты порядка 300 м наблюдается понижение значений относительной влажности воздуха, в основном от 85 до 83%. В ряде случаев может наблюдаться рост влажности до более высоких значений в слое от 300 до 500 м. Следовательно, влажностный режим зимой над районами Архангельска будет благоприятным для создания ИТУМ.

Следует отметить, что наибольшая повторяемость длительности существования слоев инверсии приходится, независимо от месяца холодного полугодия и от высоты слоя наблюдения (0–100 м, 0–500 м), на градацию 0–6 часов. При этом чаще всего наблюдаются слои инверсии со средними значениями их мощности в пределах 300–600 м (77%). Средние значения интенсивности слоев инверсии по градациям их мощности указывают на то, что они в большинстве случаев лежат в пределах от 1 до 3°C. Следовательно, полученные в работе данные позволяют сделать вывод о том, что наличие слоев инверсии в приземном и пограничном слоях атмосферы является благоприятным фактором для создания искусственных туманов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные в настоящей работе результаты исследований и сделанные на основе их анализа выводы могут быть использованы при планировании, подготовке и проведении работ по модифицированию атмосферных условий в приземном и пограничном слоях атмосферы с целью создания искусственных теплых и кристаллических туманов для решения конкретных экологических и хозяйственных задач (снижение уровня загрязнения в районе старта РН, очищение угольных и песчаных карьеров от взвесей, снижение заметности режимных объектов и др.)

Список используемых источников

1. Авдюков В.М., Арзаманов Д.Н., Доронин А.П. Перспективные методы снижения уровня загрязнения атмосферного воздуха в районе старта ракеты-носителя и за его пределами путем модифицирования атмосферных условий // Инновационная деятельность в Вооруженных Силах Российской Федерации: труды Всеармейской научно-практической конференции 17-18 ноября 2005 г., г. Санкт-Петербург. – СПб., 2005. – С. 23–25.

2. Арзаманов Д.Н., Доронин А.П., Лямин К.А. Локализация газоаэрозольного выброса путем создания искусственного тумана // Инновационная деятельность в Вооруженных Силах Российской Федерации: труды Всеармейской научно-практической конференции 23-24 ноября 2006 г., г. Санкт-Петербург. – СПб., 2006. – С. 94–95.

3. Физико-статистический анализ пригодности атмосферных условий в Архангельской области для решения задач планирования и организации работ по созданию искусственных туманов / Ю.В. Кулешов, А.П. Доронин, К.О. Фролов, К.Ш. Хайруллин // Ученые записки РГГМУ. – 2016. – №42.

4. Справочник по климату СССР (1968). Вып. 1. Архангельская и Вологодская области, Коми АССР. – Л.: Гидрометиздат, 1968. – Ч. V: Облачность и атмосферные явления. – 371 с.

5. Научно-прикладной справочник по климату СССР. (1989). Сер. 3. Многолетние данные Части 1-6. Вып. 1. Архангельская и Вологодская области, Коми АССР. – Л.: Гидрометеоздат. – Кн.2. – 343 с.
6. Новый аэроклиматический справочник пограничного слоя атмосферы над СССР (1985). – М., Московское отделение гидрометеоздата. – Т. I: Статистические характеристики температуры, давления плотности, влажности, кн.1. – 146 с.
7. Новый аэроклиматический справочник особых слоев атмосферы над СССР (1984). – М., Московское отделение гидрометеоздата. – Т. I: Инверсии температуры воздуха. Кн. 2: Непрерывная продолжительность. – 106 с.
8. Новый аэроклиматический справочник особых слоев атмосферы над СССР (1984). – М., Московское отделение гидрометеоздата. – Т. I: Инверсии температуры воздуха. Кн. 4: Комплексы мощности и интенсивности инверсии, ч. I. – 210 с.
9. Справочник по климату СССР (1967). Вып. 1: Архангельская и Вологодская области. – Л., Гидрометеоздат. – Ч. III: Ветер. – 305 с.
10. Справочник по климату СССР (1965). Вып. 1: Архангельская и Вологодская области, Карельская и Коми АССР. – Л., Гидрометеоздат. – Ч. II: Температура воздуха и почвы. – 359 с.
11. Справочник по климату СССР (1968). Вып. 1. Архангельская и Вологодская области и Коми АССР. – Л., Гидрометеоздат. – Ч. IV: Влажность воздуха, осадки и снежный покров. – 318 с.

Д.В. Андрушкевич

МОДЕЛЬ И МЕТОД СИТУАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ НА ОСНОВЕ СЛУЧАЙНОЙ РЕГИСТРАЦИИ СОБЫТИЙ-ИНЦИДЕНТОВ БЕЗОПАСНОСТИ И МОНИТОРИНГА ИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ОПАСНОСТИ

В данной работе рассмотрен подход к построению систем регистрации для контроля безопасности информации. Предложена модель наблюдения нарушений безопасности информации, основанная на случайной регистрации нарушений. Рассмотрено построение систем управления событиями безопасности, которые позволяют автоматизировать процесс сбора и анализа информации, поступающей от различных средств контроля, и повысить эффективность принятия решения по реагированию на события, связанные с нарушением. На основе предложенной модели разработан метод ситуационного управления безопасностью в вычислительной среде.

Ключевые слова: нарушения безопасности информации, процесс сбора и анализа информации, система регистрации, системы управления событиями безопасности информации.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день администраторы безопасности автоматизированных систем (АС) все чаще сталкиваются с необходимостью обработки регистрационных журналов средств безопасности с целью выявления возможных нарушений и постоянного контроля событий безопасности и их параметров в вычислительной среде. Средства безопасности являются источниками, обеспечивающими поступление актуальной информации о текущем состоянии безопасности информации. Количество источников, которые генерируют огромный массив событий безопасности, растет. Это, в свою очередь, приводит к увеличению времени, которое должен тратить администратор для анализа всей информации, поступающей от различных средств безопасности для принятия адекватных решений по реагированию на выявленные инциденты безопасности [1]. С увеличением объема информации администратору все сложнее отслеживать «общую картину» происходящего в АС.

Одной из отличительных черт средств безопасности является их гетерогенность (неоднородность). Разнообразие средств безопасности приводит к неоправданному нагромождению технических и программных средств организации обработки информации на объектах АС и порождает множество проблем, связанных с управлением такой гетерогенной вычислительной средой.

Таким образом, увеличение количества источников информации о событиях и процессах, происходящих в АС, накопление большого объема регистрационных данных, отсутствие систематизации при записи информации, большой объем потребляемых при этом ресурсов значительно затрудняют использование регистрационных журналов при организации эффективного контроля реального состояния АС. В связи с этим в настоящее время весьма актуальной является необходимость разработки более эффективных систем контроля безопасности информации в гетерогенной вычислительной среде.

МОДЕЛЬ НАБЛЮДЕНИЯ НАРУШЕНИЙ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ В ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМАХ

Для понимания нижеизложенного материала приведем ряд терминов. Согласно [2] *событие информационной безопасности* (далее – событие безопасности) представляет собой идентифицированное появление определенного состояния системы, сервиса или сети, указы-

вающего на возможное нарушение политики информационной безопасности (ИБ) или отказ защитных мер либо возникновение неизвестной ранее ситуации, которая может иметь отношение к безопасности. Появление одного или нескольких нежелательных или неожиданных событий безопасности, с которыми связана значительная вероятность компрометации выполняемых операций при функционировании АС и создания угрозы ИБ согласно стандарту [2] есть *инцидент информационной безопасности* (далее – инцидент).

Информация о событиях, происходящих в АС, собирается системой регистрации и заносится в хранилище событий для хранения и обеспечения доступа к ней администратора [3]. Общая схема системы регистрации событий и процессов, происходящих в АС, представлена на рис. 1.

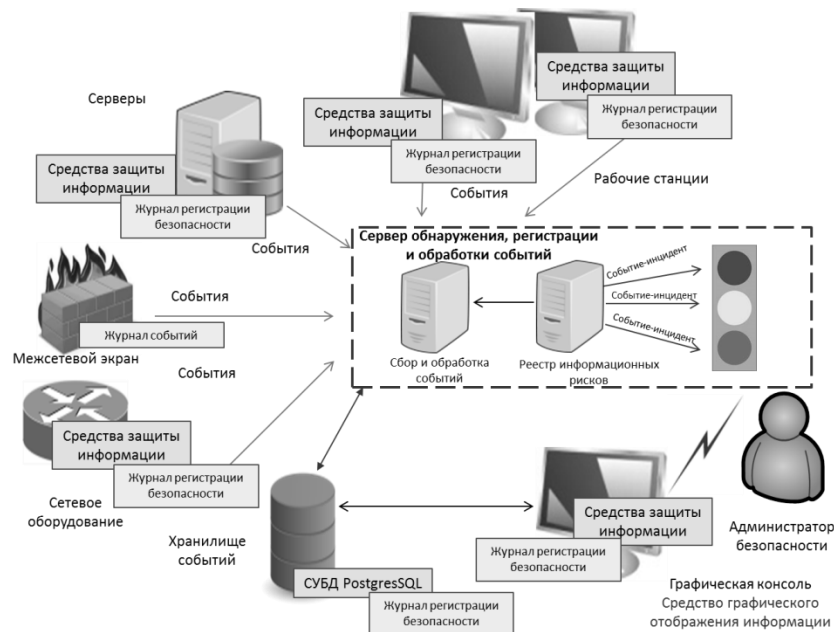


Рис 1. Общая схема системы регистрации событий и процессов, происходящих в АС

Существуют две системы регистрации для контроля ИБ: детерминированная и случайная [4]. Для эффективного контроля ИБ предлагается применять случайную систему обработки журналов регистрации безопасности, так как она имеет ряд преимуществ, к которым относятся: меньшие затраты на проведение регистрации при ограничениях на ресурсы и сложность определения потенциальным нарушителем возможных моментов включения в работу системы регистрации.

Кроме того, требуется решить задачу выбора оптимальной стратегии работы системы регистрации, под которой понимается выбор оптимальных моментов регистрации и объемов регистрируемых данных при условии выполнения ограничений на используемые ресурсы и на качество идентификации ситуаций в системе [5]. Для решения этой задачи разработана модель наблюдения нарушений безопасности. Математическую основу модели составляют статистические выборочные методы. На основе данных, хранящихся в статистическом массиве, монитор статистической обработки определяет характеристики закона распределения нарушений, и генерирует параметры настройки функционирования системы случайной регистрации. Событием в данной системе считается момент времени появления инцидента при функционировании АС. При этом началом отсчета является начало смены, суток или другого отчетного периода. Используем следующие величины: $p(t)$ – плотность распределения вероятностей нарушений, α и β – начало и окончание периода работы системы случайной регистрации; (a, b) – временной интервал работы АС, контролируемый системой регистрации. При формировании соотношений для выбора оптимальных моментов регистрации принимаются следующие ограничения:

1. На суммарные затраты, связанные с регистрацией:

$$\sum_{\alpha, \beta \in (a, b)} C_{об} \int_{\alpha}^{\beta} f(t) dt \leq \bar{C}_p,$$

где $C_{об}$ – удельная стоимость регистрации инцидента безопасности;
 $f(t)$ – функция интенсивности потока инцидентов безопасности;
 \bar{C}_p – допустимые затраты на регистрацию.

2. На пропорциональность распределения точек включения системы случайной регистрации в работу по квантилю закона распределения нарушений:

$$\frac{\sum_{\alpha, \beta \in (a, z)} \int_{\alpha}^{\beta} f(t) dt}{\sum_{\alpha, \beta \in (a, b)} \int_{\alpha}^{\beta} f(t) dt} = q_z,$$

где z – квантиль порядка q распределения $p(t)$, т.е. $p(z) = q$

3. На минимальную длину промежутка времени работы системы регистрации:

$$(\beta - \alpha) \geq \Delta t_{\min},$$

где Δt_{\min} – минимальный промежуток времени работы системы регистрации (квант регистрации).

Для выбора оптимальной стратегии разобьем интервал времени работы АС $(a; b)$ на k частей длиной Δt_{\min} (т.е. $k = \left\lceil \frac{a-b}{\Delta t_{\min}} \right\rceil$). Квант регистрации выбирается на основании технических характеристик системы регистрации и интенсивности потока сообщений. Он не должен быть слишком малым, так как включение системы регистрации на малый промежуток нецелесообразно из-за невозможности обработать все события безопасности за этот интервал времени.

Обозначим за t_i начало i -го кванта. На отрезке $\Delta t_{\min} = [t_{i-1}, t_i]$ заменим $p(t)$ и $f(t)$ линейными функциями.

При ведении сплошной регистрации на всем интервале $(a; b)$ критерий эффективности принимает вид

$$F = \int_a^b p(t) dt \rightarrow \max.$$

Реальные функции плотности распределения вероятностей в общем виде не интегрируемы, что существенно усложняет получение аналитического решения поставленной задачи. Поэтому будем использовать метод кусочно-линейной аппроксимации сложной функции.

Разбив интервал $(a; b)$ на k частей, функцию F можно записать в виде

$$F = \sum_{i=1}^k \int_{t_{i-1}}^{t_i} p(t) dt.$$

Интеграл $\int_{t_{i-1}}^{t_i} p(t) dt$ заменим площадью ограниченной им трапеции, тогда

$$\int_{t_{i-1}}^{t_i} p(t) dt \cong \frac{p(t_{i-1}) + p(t_i)}{2} \Delta t.$$

Обозначим $p(t_i) = p_i$, а $p(t_{i-1}) = p_{i-1}$. Тогда значение функции F запишем в виде

$$F = \sum_{i=1}^k \frac{p_{i-1} + p_i}{2} \Delta t.$$

Аналогично сумму интегралов функции интенсивности потока сообщений $f(t)$ заменим суммой площадей криволинейных трапеций.

Введем переменную

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{если } t_i - \text{ый момент времени является} \\ & \text{моментом работы системы регистрации} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Тогда задача выбора оптимальной стратегии запишем в виде

$$F = \sum_{i=1}^k \frac{p_{i-1} + p_i}{2} \Delta t x_i \rightarrow \max \quad (1)$$

при ограничениях:

$$\sum_{i=1}^k C_{об} \frac{f_{i-1} + f_i}{2} \Delta t x_i \leq \bar{C}_p, \quad (2)$$

$$\frac{\sum_{i=1}^m \frac{f_{i-1} + f_i}{2} \Delta t x_i}{\sum_{i=1}^k \frac{f_{i-1} + f_i}{2} \Delta t x_i} = q_m, \quad m = \overline{1, k}. \quad (3)$$

Умножим и разделим числитель и знаменатель левой части уравнения ограничения (3) на $C_{об}$.

Значит, учитывая, что

$$\sum_{i=1}^k C_{об} \frac{f_{i-1} + f_i}{2} \Delta t x_i \leq \bar{C}_p,$$

ограничение (3) примет вид

$$\sum_{i=1}^m C_{об} \frac{f_{i-1} + f_i}{2} \Delta t x_i \leq q_m \bar{C}_p, \quad m = \overline{1, k}.$$

Представим поставленную задачу как совокупность n локальных задач оптимизации. Для этого разобьем интервал функционирования системы $(a; b)$ на $(n = 2, 3 \dots)$ частей пропорционально квантилям степени $(\frac{1}{n}; \frac{2}{n}; \dots; \frac{n}{n})$. Определим моменты t_i , в которых квантиль имеет порядок $\frac{j}{n}$ ($j = 1, 2, \dots, n$).

Для указанного выше действия n раз решим уравнение вида $p_i t_j = \frac{1}{n}$. Получим n значений моментов времени t_j ($j = 1, 2, \dots, n$).

Далее будем решать поставленную задачу оптимизации на каждом промежутке (t_{j-1}, t_j) . Допустимые затраты на регистрацию на каждом промежутке равны $\frac{\bar{C}_p}{n}$. Тогда локальные задачи оптимизации примут вид

$$F_j = \sum_{i=1}^m \frac{p_{i-1} + p_i}{2} \Delta t x_i \rightarrow \max, \quad j = \overline{1, n}$$

при ограничении

$$\sum_{i=1}^m C_{\text{об}} \frac{f_{i-1} + f_i}{2} \Delta t x_i \leq \frac{1}{n} \bar{C}_p,$$

где

$$m = \left[\frac{t_j - t_{j-1}}{\Delta t} \right].$$

Решим данную задачу для случая, когда периоды (кванты) времени функционирования системы регистрации заданы ($\Delta t = \text{const}$) и затраты на регистрацию не зависят от интенсивности потока заявок. В этом случае из известных допустимых затрат на регистрацию в течение интервала времени Δt можно определить количество точек включения системы случайной регистрации в работу. Задача выбора оптимальной стратегии, по существу, сводится к задаче распределения известного числа квантов регистрации по интервалу времени работы АС пропорционально квантилю закона распределения нарушений.

На основе метода порядковых статистик были получены аналитические выражения для определения характеристик закона распределения нарушений.

1. Последовательность событий, упорядоченных по времени появления (вариационный ряд),

$$t_1^{(\tau)} \leq t_2^{(\tau)} \leq \dots \leq t_\tau^{(\tau)} \quad t_l^{(\tau)} \quad (l = 1, 2, \dots, \tau).$$

2. Статистика $V_\tau(t)$, равная числу значений выборки, меньших t (эмпирическая частота)

$$\{V_\tau(t) = l\} = \{t_l^{(\tau)} \leq t \leq t_{l+1}^{(\tau)}\}, \quad l = 0, 1, \dots, \tau.$$

3. Биномиальное распределение эмпирической частоты

$$p = P\{\xi < t\} = p(t): p\{V_\tau(t) = l\} = c_\tau^l p^l(t) (1 - p(t))^{2-l}, \quad l = 0, 1, \dots, \tau.$$

4. Распределение членов вариационного ряда по распределению эмпирической частоты

$$p\{t_l^{(\tau)} < t\} = p\{V_\tau(t) \geq l\} = \sum_{k=l}^{\tau} c_\tau^k p^k(t) (1 - p(t))^{\tau-k}.$$

5. Асимптотическое преобразование членов вариационного ряда

$$z_l^{(\tau)} = \tau p(t_l^{(\tau)}).$$

6. Плотность распределения случайной величины вариационного ряда

$$q_l^{(\tau)}(z) = c_{\tau-1}^{l-1} \left(\frac{z}{\tau}\right)^{l-1} \left(1 - \frac{z}{\tau}\right)^{\tau-l}.$$

7. Преобразование членов вариационного ряда с конечным рангом

$$z_q^{(\tau)} = p(t_{[l]}^\tau), \quad \text{где } l = [\tau q], \quad 0 < \frac{l}{\tau} \leq q < \frac{l+1}{\tau} \leq 1.$$

8. Плотность распределения случайной величины вариационного ряда

$$p_q(z) = c_{\tau-1}^{l-1} z^{l-1} (1 - z)^{\tau-l}.$$

Получение данных выражений подробно рассмотрено в [6].

Для получения параметров настройки функционирования системы случайной регистрации плотность распределения аппроксимируется плотностью нормального распределения с параметрами $(q, \sqrt{\frac{q(1-q)}{\tau}})$, где q — среднее значение; $\sqrt{\frac{q(1-q)}{\tau}}$ — среднеквадратичное отклонение. Это позволяет случайную величину z асимптотически представить в виде

$z_q^{(\tau)} = q + u \sqrt{\frac{q(1-q)}{\tau}}$, при $z \rightarrow \infty$, где u имеет нормальное распределение с параметрами $(0, 1)$.

При этом средние члены вариационного ряда $t_{[\tau q]}^\tau$ асимптотически представляются в виде

$$t_{[\tau q]}^{(\tau)} = x_q + \frac{u}{p(x_q)} \sqrt{\frac{q(1-q)}{\tau}}.$$

где x_q – квантиль порядка q распределения $p(t)$, т. е. $P(x_q) = q$, где $P(x_q)$ – плотность исходного распределения, что и является моментами времени включения системы регистрации в работу;

$t_{[\tau q]}^{(\tau)}$ – и есть искомая величина – момент времени включения системы регистрации в работу.

Таким образом, разработанная модель, используя накопленные статистические данные о нарушениях, имеющих место в АС, позволяет определить начальную точку включения в работу системы регистрации безопасности.

МЕТОД СИТУАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ НА ОСНОВЕ СЛУЧАЙНОЙ РЕГИСТРАЦИИ СОБЫТИЙ-ИНЦИДЕНТОВ БЕЗОПАСНОСТИ И МОНИТОРИНГА ИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ОПАСНОСТИ

В настоящее время для автоматизации процесса сбора и анализа информации о событиях безопасности, как правило, используются системы управления событиями безопасности информации – Security Information and Event Management (SIEM-системы) [7]. Названные системы позволяют повысить эффективность принятия решения по реагированию на события безопасности.

К основным функциям SIEM-систем относятся (рис. 2):

- сбор и анализ сообщений, поступающих от различных источников – систем обнаружения вторжений, межсетевых экранов, операционных систем, различных приложений, баз данных, антивирусных систем и т.д.;
- ранжирование информации о событиях ИБ, что позволяет рассматривать в первую очередь наиболее критичные для функционирования АС инциденты;
- корреляционный анализ полученных данных на предмет определения комплексных сетевых атак, а также атак, распределенных по времени;
- автоматическое выявление, определение причин и реагирование на проблемы, связанные с нарушением безопасности;
- визуализация полученных данных в реальном времени и оповещение администраторов безопасности об инцидентах и об элементах сети, вовлеченных в атаку.

При решении задачи сбора и хранения регистрационных данных происходит обнаружение подозрительной активности или других действий, заслуживающих внимания с точки зрения обеспечения безопасности информации, и после этого событие регистрируется.

Обеспечение безопасности информации АС – это непрерывный процесс, основное содержание которого составляет управление рисками, ресурсами, средствами безопасности и т.п. [8]. Всякое управление – это взаимодействие, предполагающее прямое воздействие на объект управления (прямая связь) и обратное действие на субъект управления (обратная связь), которому придается смысл информирования – передачи сведений о соответствии поведения управляемых объектов поставленной задаче (рис.3). В АС через контроль снизу реализуется фундаментальный принцип всякого управления – *принцип обратной связи*.

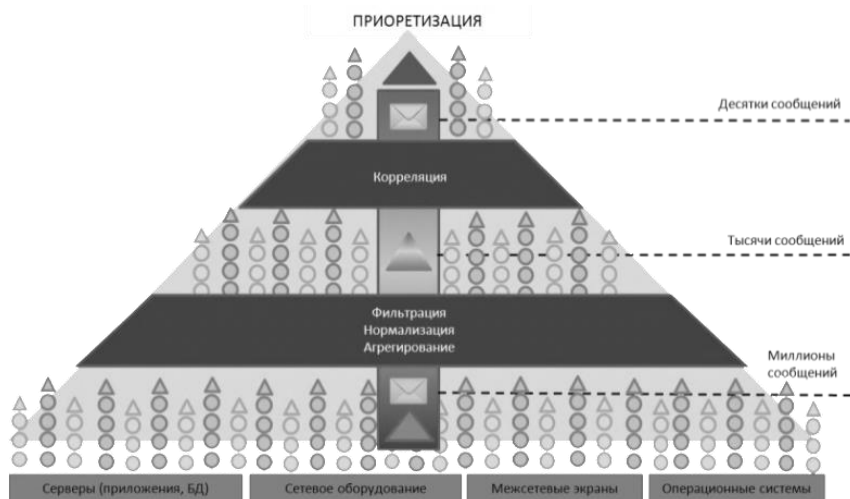


Рис. 2. Типовая схема функций SIEM-систем



Рис. 3. Взаимосвязь контроля и управления

Одним из перспективных методов, позволяющим для широкого класса систем решать задачу поиска алгоритмов работы системы управления, является метод ситуационного управления [9].

Возьмем понятие ситуации как базовое при формировании ситуационного подхода к построению системы контроля безопасности информации. Тогда возможно следующее утверждение: каждый инцидент безопасности создает ситуацию, при которой возможно нанесение вреда или ущерба объекту безопасности.

Основным инструментом реализации ситуационного подхода является ситуационный анализ. По своей направленности ситуационный анализ является частью ситуационного управления [10]. Этапы проведения ситуационного анализа в рамках ситуационного управления достаточно проработаны в методическом плане [11]. Однако в нашем случае ситуационный анализ направлен не на непосредственное осуществление управления безопасностью, а на принятие решений по совокупности инцидентов безопасности информации и формирование их характеристик.

В основе ситуационного управления лежит гипотеза о том, что вся необходимая информация об управлении объектом может быть получена исходя из непосредственного наблюдения за его работой или из его вербального описания.

Для определения принципов ситуационного управления введем понятие полной ситуации как совокупности, состоящей из текущей ситуации, знаний о состоянии системы управления в данный момент и знаний о технологии управления (текущая ситуация – совокупность всех

сведений о структуре объекта управления и его функционировании в данный момент времени) [9].

Затем предлагается текущую ситуацию характеризовать регистрационными данными, сформированными в процессе сбора информации о событиях, полученной от средств безопасности. При этом предлагается применять случайную регистрацию инцидентов безопасности, так как она имеет ряд преимуществ, перечисленных выше.

Изложенное выше позволяет использовать ситуационный подход для разработки метода ситуационного управления безопасностью информации в гетерогенных системах, в основе которого лежит предложенная модель наблюдения нарушений безопасности информации.

Целью разработки метода явилось повышение результативности контроля состояния безопасности информации. В качестве показателя результативности контроля состояния предлагается использовать коэффициент опасности системы безопасности.

При разработке метода ситуационного управления решалась задача актуализации зарегистрированных инцидентов безопасности. Результаты решения этой задачи стали основой для поиска правил, позволяющих оценить общее состояние системы информационной безопасности и вклад инцидента в это состояние и тем самым осуществлять контроль безопасности информации АС.

При регистрации инцидента безопасности предлагается проводить классификацию инцидентов безопасности информации по трем уровням (табл. 1).

Таблица 1

Уровни нарушения безопасности

Уровни нарушения безопасности	Решающие правила
3 уровень (КРАСНЫЙ)	$K_{рез} > K_2$
2 уровень (ЖЕЛТЫЙ)	$K_1 \leq K_{рез} \leq K_2$
1 уровень (ЗЕЛЕНый)	$K_{рез} < K_1$

Вклад инцидента в общее состояние системы безопасности определяет очередность обработки инцидента безопасности и меры по устранению данного инцидента.

Рассмотрим предлагаемый метод в рамках классической теории ситуационного управления [9]. Параметры текущей ситуации, сложившейся на объекте управления, подаются на вход анализатора (рис. 4).

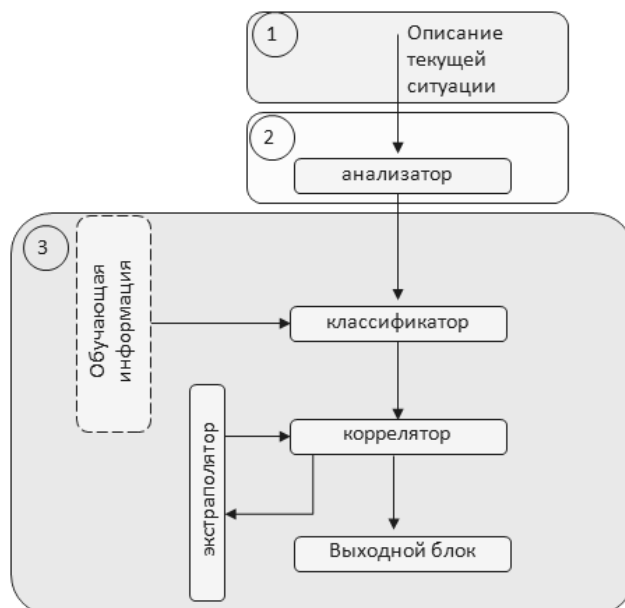


Рис. 4. Схема реализации ситуационного подхода в системе оперативного контроля

Задача состоит в оценке сообщения – в описании текущей ситуации и определении необходимости вмешательства системы управления в процесс, протекающий в объекте управления (актуализация инцидента безопасности). Если текущая ситуация не требует такого вмешательства, то анализатор не передает ее на дальнейшую обработку. В противном случае сообщение поступает в классификатор (базу инцидентов безопасности). Построение классификатора осуществляется на основе обучения. В начальный период, когда система управления только создается, происходит накопление инцидентов безопасности со своими коэффициентами опасности в базе инцидентов.

Далее система начинает функционировать. В процессе функционирования происходит оценивание состояния системы безопасности по вкладу каждого инцидента в общее состояние системы. Осуществляется формирование значений текущего уровня нарушения безопасности. На следующем этапе классификатор относит текущую ситуацию (текущее состояние системы безопасности) к определенному уровню нарушения безопасности, производится ранжирование инцидентов.

Затем администратор безопасности по вкладу инцидента в состояние безопасности системы принимает решение об обработке инцидента с высшим уровнем нарушения и удалении его из базы инцидентов безопасности. Вновь происходит оценивание общего состояния системы, и принимается решение по реагированию на выявленные инциденты. Таким образом осуществляется ситуационное управление безопасностью информации в АС.

Итак, метод ситуационного управления безопасностью в вычислительной среде включает три этапа (рис. 5–8).

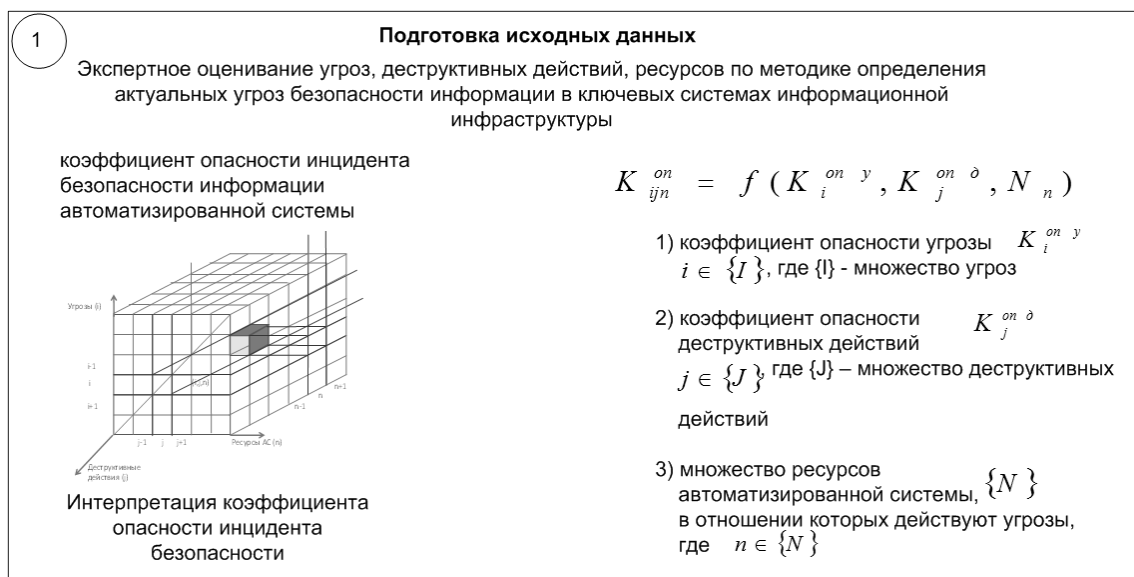
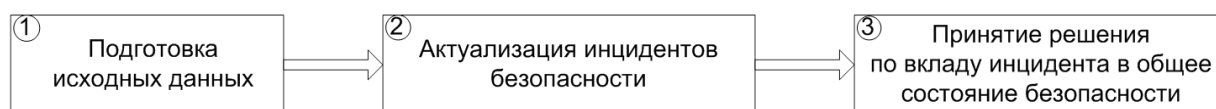


Рис.5. Метод ситуационного управления безопасностью в вычислительной среде (1 этап)

В ходе подготовки исходных данных применяется методика определения актуальных угроз безопасности информации в ключевых системах информационной инфраструктуры [12]. При этом коэффициент опасности инцидента безопасности информации автоматизированной системы описывается в виде тройки параметров: множества коэффициентов опасности угроз, множества коэффициентов опасности деструктивных действий и множества ресурсов АС, в отношении которых действуют угрозы

$$K_{ijn}^{on} = f(K_i^{on y}, K_j^{on d}, N_n).$$

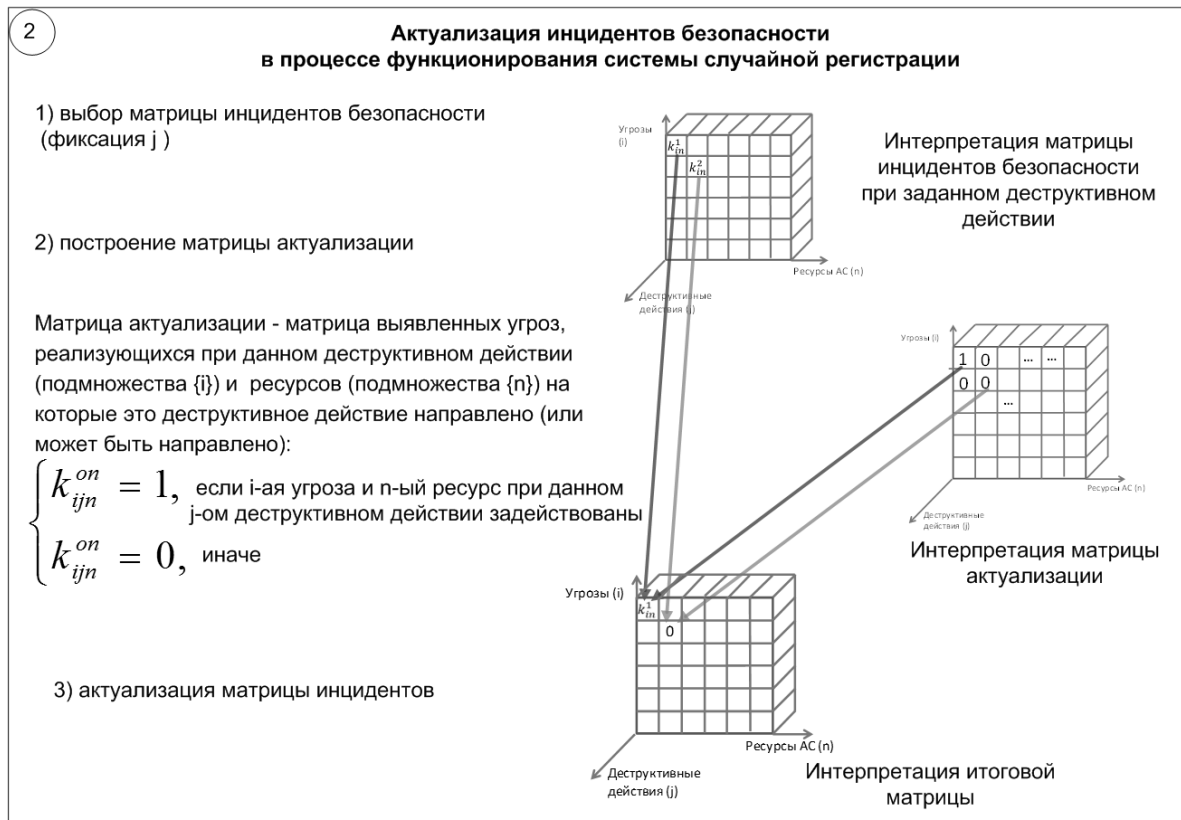


Рис.6. Метод ситуационного управления безопасностью в вычислительной среде (2 этап)

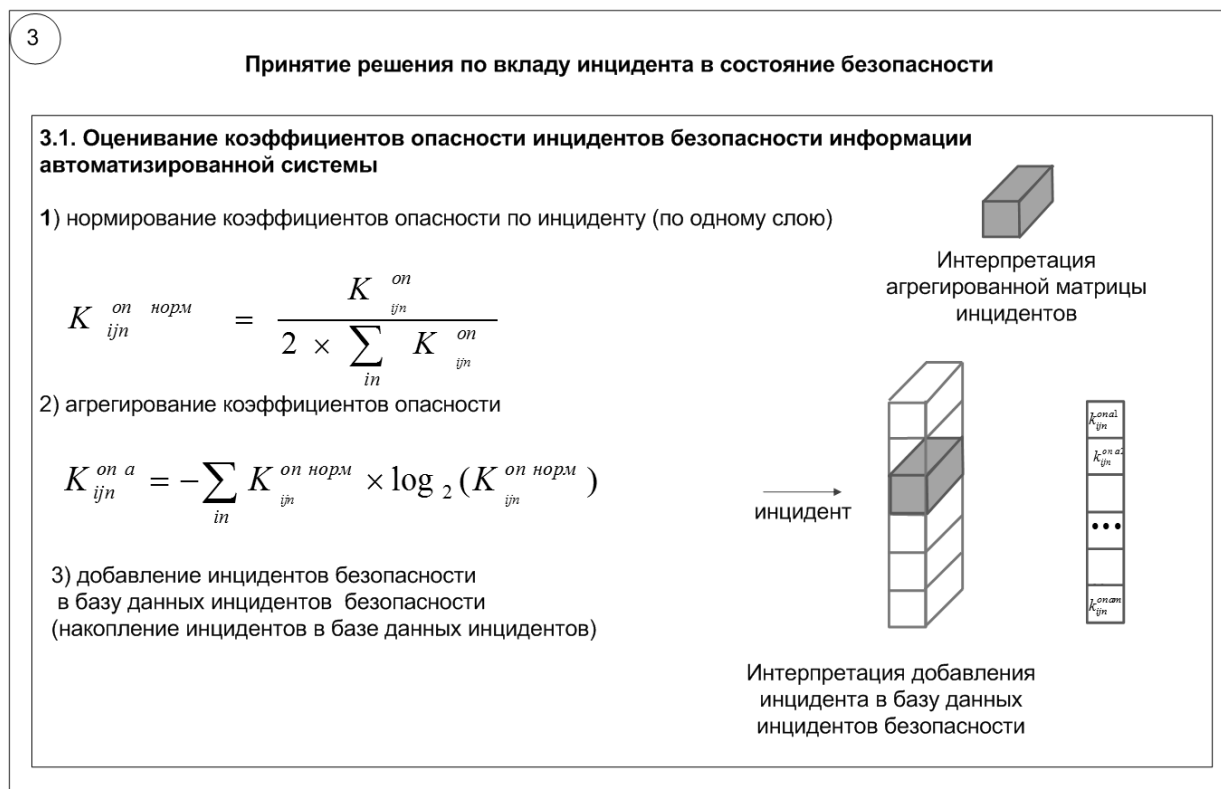


Рис.7. Метод ситуационного управления безопасностью в вычислительной среде (этап 3.1)

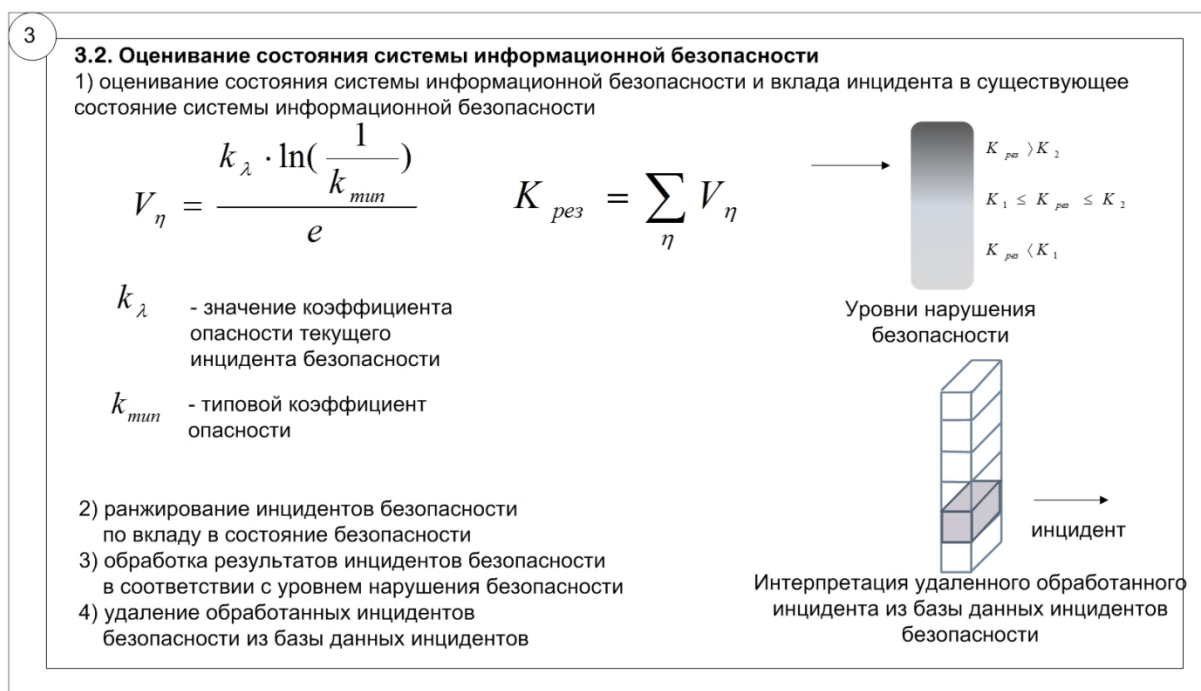


Рис.8. Метод ситуационного управления безопасностью в вычислительной среде (этап 3.2)

Задача актуализации зарегистрированных инцидентов безопасности решается в процессе функционирования системы случайной регистрации.

Решением данной задачи является матрица инцидентов безопасности при фиксированном деструктивном действии, матрица актуализации и итоговая матрица инцидентов, полученная перемножением элементов матрицы инцидентов и матрицы актуализации.

Матрицей актуализации называется матрица выявленных угроз, реализующихся при данном деструктивном действии (подмножества $\{i\}$) и ресурсов (подмножества $\{n\}$) на которые это деструктивное действие направлено (или может быть направлено).

$$\begin{cases} k_{ijn}^{оп} = 1, \text{ если } i - \text{я угроза и } n - \text{й ресурс при данном} \\ \quad j - \text{м деструктивном действии задействованы;} \\ k_{ijn}^{оп} = 0, \text{ иначе.} \end{cases}$$

Следующий этап метода заключается в **принятии решения по вкладу** инцидента в состояние безопасности системы, который, в свою очередь, состоит из двух подэтапов.

1. Оценивание коэффициентов опасности инцидента безопасности информации АС.
2. Оценивание общего состояния системы информационной безопасности.

Для оценивания коэффициентов опасности необходимо произвести процедуру агрегирования на основе полученных на предыдущем этапе зарегистрированных инцидентов. Параметром агрегирования, который сигнализирует о нарушениях безопасности информации, будем считать коэффициент опасности инцидента безопасности. Первоначально для агрегирования полученных коэффициентов опасности, в силу несоизмеримости (неаддитивности) составляющих его параметров, коэффициент опасности приводится к нормальному виду, а затем выполняется свертка (агрегирование) полученных коэффициентов на основе функции, удовлетворяющей аксиомам Хинчина – Фаддеева, т.е.

$$K_{ijn}^{оп\ норм} = \frac{K_{ijn}^{оп}}{2 \times \sum_{in} K_{ijn}^{оп}}, \quad (4)$$

$$K_{ijn}^{оп\ а} = - \sum_{in} K_{ijn}^{оп\ норм} \times \log_2(K_{ijn}^{оп\ норм}). \quad (5)$$

С учетом рассчитанных коэффициентов опасности добавляем инцидент в базу инцидентов. В результате происходит накопление инцидентов с различными коэффициентами опасности в базе инцидентов и осуществляется мониторинг коэффициентов опасности инцидентов за счет вычисления вклада инцидента в общее состояние безопасности.

Исследования показали, что для расчета вклада каждого инцидента безопасности в общее состояние безопасности системы необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$V_{\eta} = \frac{k_{\lambda} \times \ln\left(\frac{1}{k_{\text{тип}}}\right)}{e}. \quad (6)$$

В последнем выражении k_{λ} – значение коэффициента опасности текущего инцидента безопасности; $k_{\text{тип}}$ – типовой коэффициент опасности. За типовой коэффициент опасности $k_{\text{тип}}$ принят коэффициент опасности инцидента с наименьшим возможным значением.

Оценив общее состояние системы, на основе результирующих коэффициентов опасности нарушений безопасности (7) производится ранжирование инцидентов безопасности по вкладу в состояние безопасности. Инцидент с высшим уровнем нарушения безопасности обрабатывается и удаляется из базы. Затем вновь оценивается общее состояние системы:

$$K_{\text{рез}} = \sum_{\eta} V_{\eta}. \quad (7)$$

Таким образом, администратор, оценивая информацию о событиях безопасности информации, выявляет наиболее критичный инцидент безопасности (инцидент с наибольшим вкладом в состояние системы безопасности) и принимает решение об его обработке и удалении из базы. Тем самым он, контролируя общее состояние системы, достигает требуемого уровня безопасности информации АС.

Используя разработанную выше классификацию инцидентов безопасности информации по трем уровням нарушения безопасности, предлагается текущие ситуации классифицировать в соответствии с тремя состояниями системы безопасности (табл. 2).

Таблица 2

Классификация ситуаций

Классы ситуаций	Решающие правила
Q_i (КРАСНЫЙ)	$K_{\text{рез}} > K_2$
Q_j (ЖЕЛТЫЙ)	$K_1 \leq K_{\text{рез}} \leq K_2$
Q_k (ЗЕЛЕНый)	$K_{\text{рез}} < K_1$

Таким образом, оценивание общего состояния безопасности информации можно представить в виде графа (рис. 9).

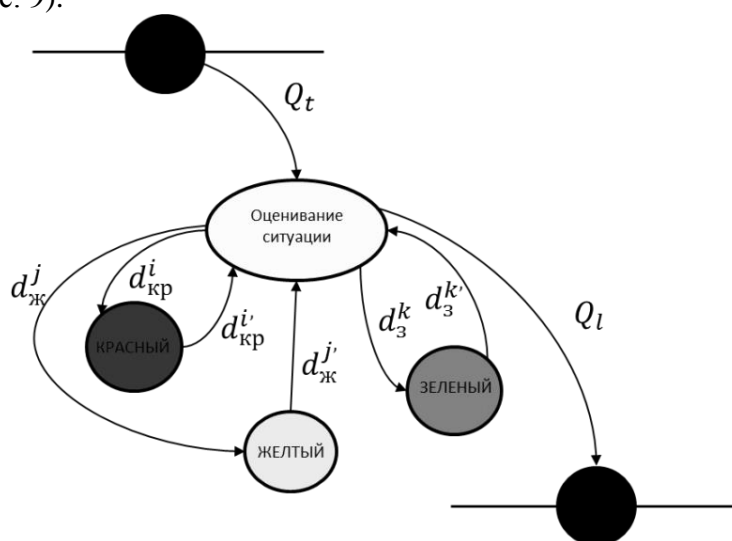


Рис. 9. Граф ситуационного управления

При данном построении графа использованы следующие обозначения вершин:

$\{Q_t\}$ – множество текущих ситуаций; $Q_t = f(K_i^{\text{оп}y}, K_j^{\text{оп}д}, N_n)$ (t есть отличительный номер ситуации);

$\{Q_i\}$ – множество ситуаций, относимых к состоянию системы КРАСНЫЙ;

$\{Q_j\}$ – множество ситуаций, относимых к состоянию системы ЖЕЛТЫЙ;

$\{Q_k\}$ – множество ситуаций, относимых к состоянию системы ЗЕЛЕНый;

$\{Q_l\}$ – множество ситуаций, относимых к уровню нарушения безопасности $K_{\text{рез}} < K_1$.

Каждая вершина представляет собой некоторое формальное состояние системы безопасности, а связи между вершинами определяют переходы от одного состояния системы к другому под влиянием изменений d^n .

Для проверки адекватности предлагаемого математического аппарата вычисления вклада инцидента безопасности в общее состояние системы безопасности было осуществлено моделирование. Моделирование построено на основе мониторинга коэффициентов опасности инцидентов безопасности $K_{ijn}^{\text{оп}a}$.

Пример 1. Покажем, как коэффициент опасности текущего инцидента влияет на вклад коэффициента опасности. Для моделирования зависимости вклада коэффициента опасности от коэффициента опасности текущего инцидента были взяты 10 значений коэффициентов опасности (0,1; 0,9). Затем коэффициент опасности по формулам (4), (5), полученным в процессе исследований, был нормирован при фиксированном деструктивном действии и агрегирован.

На следующем этапе был вычислен вклад коэффициента опасности в зависимости от коэффициента опасности текущего инцидента по формуле (6), также полученной в ходе исследований, и далее был построен соответствующий график (рис. 10).

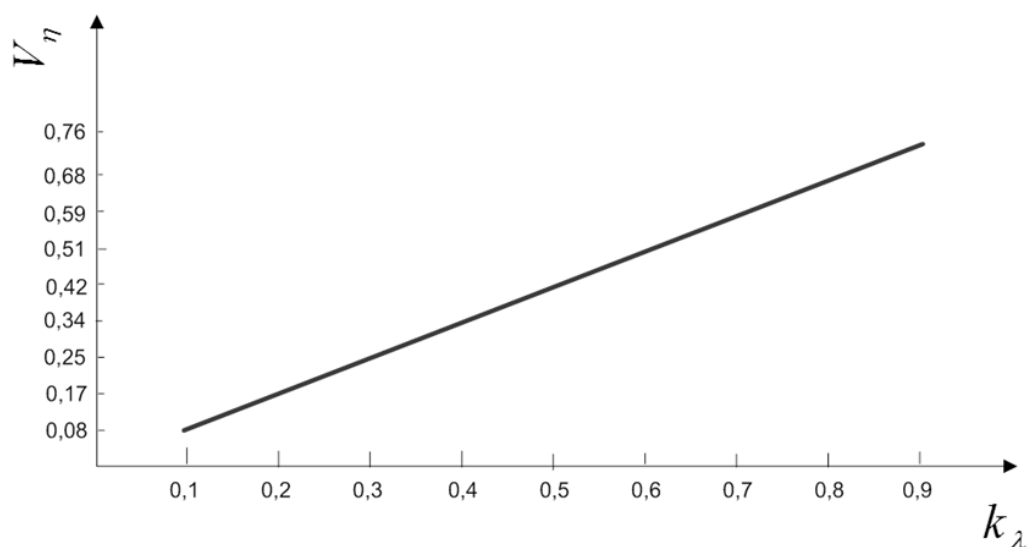


Рис. 10. Результаты моделирования зависимости вклада коэффициента опасности от коэффициента опасности текущего инцидента

Пример 2. Представим зависимость результирующего коэффициента опасности от значения текущего коэффициента опасности. Для этого были рассчитаны результирующие коэффициенты опасности и построены зависимости результирующего коэффициента опасности от значения текущего коэффициента опасности при фиксированном значении коэффициента опасности (рис. 11).

Как показано на рисунке (рис. 11), результирующий коэффициент опасности возрастает с увеличением коэффициента опасности текущего инцидента, что обеспечивает ранжирование инцидентов безопасности по уровням нарушения безопасности.

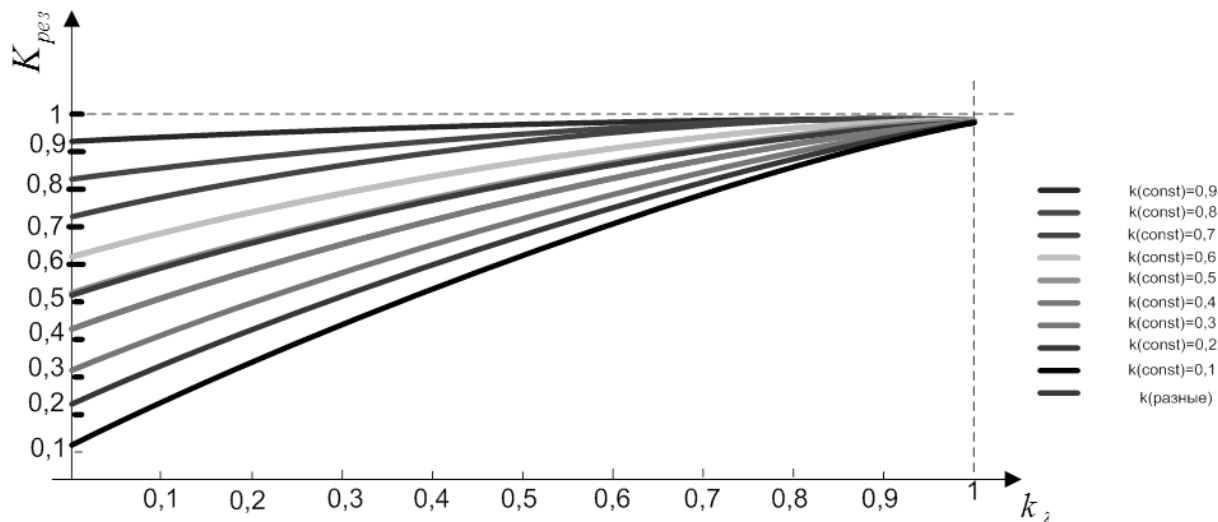


Рис. 11. Результаты моделирования зависимости результирующего коэффициента опасности от значения текущего коэффициента опасности

Пример 3. Покажем, как результирующий коэффициент опасности зависит от количества зарегистрированных инцидентов. Для этого был произведен расчет зависимости результирующего коэффициента опасности от количества зарегистрированных инцидентов, график которого представлен на рис. 12.

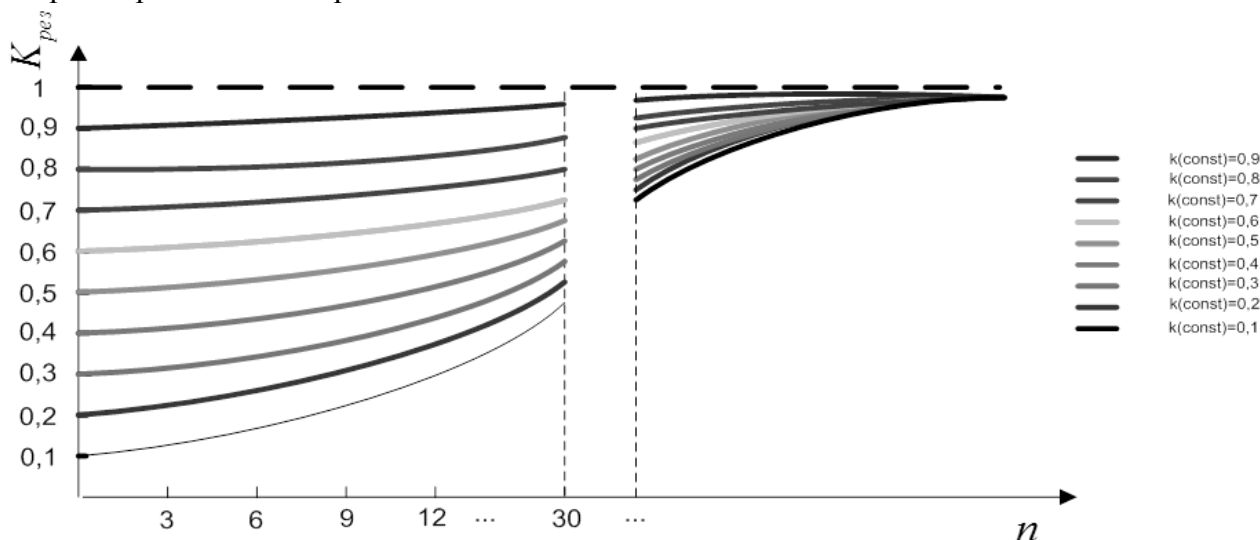


Рис. 12. Результаты моделирования зависимости результирующего коэффициента опасности от количества зарегистрированных инцидентов

Как показано на рисунке (рис.12), результирующий коэффициент опасности увеличивается с ростом количества зарегистрированных инцидентов. Это доказывает правильность выбора коэффициента опасности инцидента безопасности информации АС в качестве показателя результативности контроля состояния безопасности.

Таким образом, моделирование показывает, что при увеличении значения коэффициента опасности вклад инцидента безопасности информации в общее состояние системы безопасности увеличивается и с увеличением значения коэффициента опасности, и с увеличением количества инцидентов. Это позволяет оценивать текущее состояние системы безопасности. Проведенное моделирование доказывает адекватность предлагаемого математического аппарата вычисления вклада инцидента безопасности в общее состояние системы безопасности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе предложена модель наблюдения нарушений безопасности информации, в основу которой положена система случайной обработки журналов регистрации безопасности. Показано, что она имеет ряд преимуществ, к которым относятся меньшие затраты на проведение регистрации и сложность определения нарушителем моментов включения в работу системы обработки журналов регистрации. На основе предложенной модели был разработан метод ситуационного управления безопасностью в гетерогенных системах. Данный метод позволяет по вкладу инцидента безопасности информации в состояние безопасности оценить общее состояние системы безопасности АС и принять решение по своевременному реагированию на выявленные инциденты безопасности.

Список используемых источников

1. *Сердюк В.А.* Новое в защите от взлома корпоративных систем. – М.: Техносфера, 2007. – 360 с.
2. ГОСТ Р ИСО/МЭК ТО 18044-2007. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Менеджмент инцидентов информационной безопасности. – М.: Стандартинформ, 2009. – 50 с.
3. *Александров А.В.* Безопасность. Комплексное управление информационными рисками. ВУТЕ/Россия, №6 (70), июнь 2004. – URL: <http://www.elvis.ru/informatorium.shtml> (дата обращения: 17.03.2015).
4. Информационная безопасность систем организационного управления. Теоретические основы: в 2 т. / Н.А. Кузнецов, В.В. Кульба, Е.А. Микрин и др.; ответственный ред.: А.Н. Кузнецов, В.В. Кульба; Ин-т проблем передачи информации РАН. – М.: Наука, 2006. – Т. 1. – 495 с.
5. *Шелков А.Б., Ковалева О.Н.* Проектирование оптимальных систем регистрации в АСУ // Перспективы развития РАСУ УССР. – Киев: ИК АН УССР, 1984. – С. 89–100.
6. *Новиков С.В., Андрушкевич Д.В.* Подход к построению системы контроля безопасности информации в автоматизированных системах // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – Вып. 647. – С. 77–88.
7. Управление событиями ИБ (Security Information and Event Management – SIEM). – URL: <http://security-microtest.ru/resheniya/information-security-management/security-information-and-event-management/> (дата обращения: 20.05.2015).
8. Пятиуровневая модель управления безопасностью – URL: <http://itsecurity.ru/services/matrix/5levelmodel.php> (дата обращения 07.03.2015).
9. *Поспелов Д.А.* Ситуационное управление: теория и практика – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 288 с.
10. *Дмитриев О.Н.* Системный анализ в управлении. – М.: Доброе слово, 2005. – 200 с.
11. Основные этапы ситуационного анализа. Анализ и диагностика. – URL: www.currentman.ru/ADLS-791-1 (дата обращения: 13.06.2015).
12. Методика определения актуальных угроз безопасности информации в ключевых системах информационной инфраструктуры. – ФСТЭК России, 2007. – 53 с.

И.И. Лапиков;
В.Г. Никонов
доктор техн. наук

АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ СИСТЕМ НЕРАВЕНСТВ С k -ЗНАЧНЫМИ НЕИЗВЕСТНЫМИ

В работе рассматривается концепция построения на базе метода эллипсоидов Хачияна адаптивного алгоритма решения систем линейных неравенств с k -значными неизвестными. В ходе исследования производится уточнение начальной локализации области поиска решений и вводится дополнительный критерий выхода из алгоритма. Приведенные в работе результаты экспериментального исследования предложенного адаптивного алгоритма позволяют выявить ключевые параметры его работы и осуществить их сравнение с параметрами работы полиномиального алгоритма Хачияна.

Ключевые слова: системы линейных неравенств, k -значная логика, метод эллипсоидов.

Советским математиком Л.Г. Хачияном в 1978 году был предложен алгоритм решения систем линейных неравенств с целочисленными коэффициентами и действительными неизвестными. Основу алгоритма составил так называемый метод эллипсоидов, полиномиальная сложность которого была доказана в [1]. Следует отметить, что логика алгоритма Хачияна не позволяла находить целочисленные решения, и в целом, по оценкам экспертов, алгоритм представлялся чрезвычайно трудоемким и малопригодным для решения каких-либо практических задач.

В данной статье излагается концепция построения специального адаптивного алгоритма [3], основанного на идеях метода эллипсоидов Хачияна, позволяющего находить решения систем линейных неравенств с k -значными неизвестными, к анализу которых сводится широкий класс задач защиты информации [4–7]. Эффективность предложенного адаптивного алгоритма и изменение в ходе работы его ключевых параметров будут продемонстрированы на примере решения систем линейных неравенств в 8-значной логике, задающей некоторое дискретное отображение.

В работе [2] Л.Г. Хачиян показал возможность использования метода эллипсоидов для решения систем из $m \geq 2$ линейных неравенств относительно $n \geq 2$ действительных неизвестных x_1, x_2, \dots, x_n :

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1, \\ \dots \\ a_{m1}x_1 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m. \end{cases} \quad (1)$$

с целыми коэффициентами a_{ij}, b_i . Здесь вводится понятие входа системы

$$L = \left[\sum_{i,j=1}^{m,n} \log_2(|a_{i,j}|+1) + \sum_{i=1}^m \log_2(|b_i|+1) + \log_2 mn \right] + 1. \quad (2)$$

В лемме 1 работы [1] доказывается, что если система линейных неравенств (1) совместна, то она имеет решения в шаре радиусом 2^L , который в алгоритме Хачияна определяется как начальная локализация области поиска решений. Далее в алгоритме строится последовательность эллипсоидов, описанных вокруг полушаров в n -мерном пространстве, которая центрами эллипсоидов осуществляет движение к области решений. Доказывается, что через bn^2L итераций очередной центр эллипсоида либо оказывается решением системы (1), если система совместна, либо в случае несовместности системы (1) введенная автором невязка в центре эллипсоида будет больше определенного порогового значения.

Исследования показали, что значение 2^L и величина $6n^2L$ характеризуют исключительно высокую сложность алгоритма, а ожидаемое действительное (нецелочисленное!) решение не позволяет непосредственно применить алгоритм Хачияна для решения систем линейных неравенств с дискретными неизвестными.

Устранение указанных недостатков достигается путем построения нового алгоритма, основанного на идеях метода эллипсоидов Хачияна, в котором уточняется исходная локализация области решений и вводится дополнительный критерий выхода.

Модифицируем полиномиальный алгоритм Хачияна, введя дополнительный критерий выхода из алгоритма по неположительной невязке $\theta(x_i) \leq 0$ в центре эллипсоида, полученного на итерации t работы алгоритма. Этот критерий является корректным, поскольку $\theta(x_i) = \max_{i=1\dots m} \{A_t^T x_t - b_t\}$, и если $\theta(x_i) \leq 0$, то очевидно, что все неравенства систем вида (1) выполняются и центр очередного эллипсоида x_t попадает в многогранник решений системы (1). Причем, если исходная система (1) несовместна, то выход по введенному критерию невозможен, поскольку коэффициент невязки будет положительным на всех $6n^2L$ итерациях, где n – количество неизвестных в системе (1), L – длина входа системы [1]. Следовательно, данная модификация никак не повлияет на корректность работы всего алгоритма в целом и все леммы из [2] также будут верны.

Уточним исходную локализацию области поиска решений системы (1). Поскольку неизвестные x_i в системе (1) k -значные и $x_i \in \{0, 1, \dots, k-1\}$, то в качестве исходного шара в алгоритме может быть выбран шар радиусом $R = \frac{(k-1)\sqrt{n}}{2}$ с центром в точке $x_0(\frac{k-1}{2}, \dots, \frac{k-1}{2})$.

Далее факт попадания в область решений устанавливается при получении на текущей итерации t невязки $\theta(x_i) \leq 0$, и наконец, система (1) будет иметь единственное целочисленное решение при условии возможности описания вокруг области решений шара радиусом $r < 1$. Целочисленный ответ получается непосредственным округлением координат в центре текущего эллипсоида.

Реализация этих идей привела к построению адаптивного алгоритма, эффективность которого, в частности, была проиллюстрирована на примере анализа конкретных систем неравенств, описывающих некоторое дискретное отображение.

Для описания этого отображения рассмотрим 8-значную пороговую функцию f от трех переменных, которая задается линейной формой

$$L(u_1, u_2, u_3) = u_1 + 9u_2 + 54u_3 \quad (3)$$

и набором порогов

$$b_\alpha = (b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8) = (0, 62, 116, 170, 224, 278, 332, 386, 449) \quad (4)$$

таким образом, что

$$f(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3) = \alpha \Leftrightarrow b_\alpha \leq L(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3) < b_{\alpha+1}, \alpha \in \{0, 1, \dots, 7\}. \quad (5)$$

Затем на базе функции f строится система 8-значных функций f_1, f_2, f_3, f_4 от четырех переменных с помощью мнемонической матрицы Q :

$$Q = \begin{pmatrix} 1 & 9 & 54 & 0 \\ 9 & -1 & 0 & 54 \\ 54 & 0 & -1 & -9 \\ 0 & 54 & -9 & 1 \end{pmatrix} = (q_{ij}).$$

Каждая функция f_i задается линейной формой

$$L_i(x_1, x_2, x_3, x_4) = q_{i1}x_1 + q_{i2}x_2 + q_{i3}x_3 + q_{i4}x_4$$

и набором порогов функции f , причем знак минус означает действие на соответствующую переменную x_i стрелки Лукашевича, преобразующей x_i в $(k-1)-x_i$. Очевидно, что все функции f_i порождаются исходной функцией f (5).

Зададим отображение $F: \mathbf{Z}_8^4 \rightarrow \mathbf{Z}_8^4$ по следующему правилу: положим, что вектор $\bar{x} = (x_1, x_2, x_3, x_4)$ переходит в вектор $\bar{y} = (y_1, y_2, y_3, y_4) = (f_1(\bar{x}), f_2(\bar{x}), f_3(\bar{x}), f_4(\bar{x}))$, где $\bar{x} = (x_1, x_2, x_3, x_4) \in \mathbf{Z}_8^4$. Ставится задача найти по известному выходному вектору $\bar{y} = (y_1, y_2, y_3, y_4)$, где $y_i \in \{0, 1, \dots, 7\}$, исходный вектор $\bar{x} = (x_1, x_2, x_3, x_4)$, где $x_i \in \{0, 1, \dots, 7\}$. Для ее решения был применен предложенный алгоритм.

Рассмотрим методику формирования систем линейных неравенств в описанной задаче нахождения прообраза $F^{-1}(\bar{y})$ отображения F . Пусть выходной вектор имеет координаты $\bar{y} = (s_1, s_2, s_3, s_4)$, $s_i \in \{0, 1, \dots, 7\}$, тогда для решения задачи нахождения прообраза $F^{-1}(\bar{y})$ сформируем системы линейных неравенств.

Вычислим значения линейных форм L_i для функций f_1, f_2, f_3, f_4 , причем не забудем о действии стрелки Лукашевича на отрицательные аргументы.

Для функции $f_1 = s_1$ линейная форма L_1 примет вид

$$L_1 = x_1 + 9x_2 + 54x_3. \quad (6)$$

Для функции $f_2 = s_2$ линейная форма L_2 примет вид

$$L_2 = 9x_1 - x_2 + 54x_4,$$

с учетом действия стрелки Лукашевича на отрицательный аргумент

$$L_2 = 9x_1 - x_2 + 54x_4 + 7. \quad (7)$$

Для функции $f_3 = s_3$ линейная форма L_3 имеет вид

$$L_3 = 54x_1 - x_3 - 9x_4,$$

с учетом действия стрелки Лукашевича на отрицательные аргументы

$$L_3 = 54x_1 - x_3 - 9x_4 + 70. \quad (8)$$

Для функции $f_4 = s_4$ линейная форма L_4 примет вид

$$L_4 = 54x_2 - 9x_3 + x_4,$$

с учетом действия стрелки Лукашевича на отрицательный аргумент

$$L_4 = 54x_2 - 9x_3 + x_4 + 63. \quad (9)$$

Далее рассмотрим методику формирования пороговых значений для линейных форм L_1, L_2, L_3, L_4 в зависимости от значений, принимаемых исходными функциями f_1, f_2, f_3, f_4 . Положим, что функция f_i принимает значение $\alpha_i = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}, i = \overline{1, 4}$. Запишем выражение вычисления порогов в зависимости от значения функции f_i :

$$f_i = \alpha_i \Leftrightarrow b_{\alpha_i} \leq L_i < b_{\alpha_i+1}, \alpha \in \{0, 1, \dots, 7\}. \quad (10)$$

В соответствии с выражением (10) вычислим значения порогов для каждого значения α_i . Пусть $\alpha_i = 0$, тогда в соответствии с (10) получим

$$f_i = 0 \Leftrightarrow 0 \leq L_i < 62, i \in \{1, 2, 3, 4\}; \quad (11)$$

для $\alpha_i = 1$ выражение (10) примет вид

$$f_i = 1 \Leftrightarrow 62 \leq L_i < 116, i \in \{1, 2, 3, 4\}; \quad (12)$$

для $\alpha_i = 2$ выражение (10) примет вид

$$f_i = 2 \Leftrightarrow 116 \leq L_i < 170, i \in \{1, 2, 3, 4\}; \quad (13)$$

для $\alpha_i = 3$ выражение (10) примет вид

$$f_i = 3 \Leftrightarrow 170 \leq L_i < 224, i \in \{1, 2, 3, 4\}; \quad (14)$$

для $\alpha_i = 4$ выражение (10) примет вид

$$f_i = 4 \Leftrightarrow 224 \leq L_i < 278, i \in \{1, 2, 3, 4\}; \quad (15)$$

для $\alpha_i = 5$ выражение (10) примет вид

$$f_i = 5 \Leftrightarrow 278 \leq L_i < 332, i \in \{1, 2, 3, 4\}; \quad (16)$$

для $\alpha_i = 6$ выражение (10) примет вид

$$f_i = 6 \Leftrightarrow 332 \leq L_i < 386, i \in \{1, 2, 3, 4\}; \quad (17)$$

для $\alpha_i = 7$ выражение (10) примет вид

$$f_i = 7 \Leftrightarrow 386 \leq L_i < 449, i \in \{1, 2, 3, 4\}. \quad (18)$$

Сформируем систему неравенств в общем виде, приведя ее к виду (1), перенося свободные члены линейной формы L_i в правую часть неравенства. Также осуществим переход от знака " $<$ " к " \leq " исходя из соображения, что если $a < b$, то верно неравенство $a \leq b - 1$, поскольку в приведенной к (1) системе неравенств коэффициенты a_{ij} – целочисленные, неизвестные x_n – k -значные. Таким образом, получим систему из линейных неравенств (19) с 8-значными переменными x_i , с плавающими в зависимости от значения α_i порогами b_{α_i}

$$\begin{cases} x_1 + 9x_2 + 54x_3 \leq b_{\alpha_1+1} - 1, \\ -x_1 - 9x_2 - 54x_3 \leq -b_{\alpha_1}, \\ 9x_1 - x_2 + 54x_4 \leq b_{\alpha_2+1} - 8, \\ -9x_1 + x_2 - 54x_4 \leq 7 - b_{\alpha_2}, \\ 54x_1 - x_3 - 9x_4 \leq b_{\alpha_3+1} - 71, \\ -54x_1 + x_3 + 9x_4 \leq 70 - b_{\alpha_3}, \\ 54x_2 - 9x_3 + x_4 \leq b_{\alpha_4+1} - 64, \\ -54x_2 + 9x_3 - x_4 \leq 63 - b_{\alpha_4}. \end{cases} \quad (19)$$

Теперь рассмотрим конкретные системы линейных неравенств в зависимости от конкретных значений выходного вектора \bar{y} . Применим для их решения построенный адаптивный алгоритм и авторский алгоритм Хачияна и осуществим сравнение результатов работы.

Сформируем системы неравенств для входных векторов $\bar{y} = (3, 4, 7, 6)$, $\bar{y} = (0, 1, 0, 0)$, $\bar{y} = (4, 2, 2, 1)$.

Получим соответственно системы следующих линейных неравенств:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 + 9x_2 + 54x_3 \leq 223, \\ -x_1 - 9x_2 - 54x_3 \leq -170, \\ 9x_1 - x_2 + 54x_4 \leq 270, \\ -9x_1 + x_2 - 54x_4 \leq -217, \\ 54x_1 - x_3 - 9x_4 \leq 378, \\ -54x_1 + x_3 + 9x_4 \leq -316, \\ 54x_2 - 9x_3 + x_4 \leq 322, \\ -54x_2 + 9x_3 - x_4 \leq -269. \end{array} \right. \quad (20)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 + 9x_2 + 54x_3 \leq 61, \\ -x_1 - 9x_2 - 54x_3 \leq 0, \\ 9x_1 - x_2 + 54x_4 \leq 108, \\ -9x_1 + x_2 - 54x_4 \leq -55, \\ 54x_1 - x_3 - 9x_4 \leq -9, \\ -54x_1 + x_3 + 9x_4 \leq 70, \\ 54x_2 - 9x_3 + x_4 \leq -2, \\ -54x_2 + 9x_3 - x_4 \leq 63. \end{array} \right. \quad (21)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 + 9x_2 + 54x_3 \leq 277, \\ -x_1 - 9x_2 - 54x_3 \leq -224, \\ 9x_1 - x_2 + 54x_4 \leq 162, \\ -9x_1 + x_2 - 54x_4 \leq -109, \\ 54x_1 - x_3 - 9x_4 \leq 99, \\ -54x_1 + x_3 + 9x_4 \leq -46, \\ 54x_2 - 9x_3 + x_4 \leq 52, \\ -54x_2 + 9x_3 - x_4 \leq 1. \end{array} \right. \quad (22)$$

Адаптивный алгоритм находит решения систем линейных неравенств (20)–(22) за 7, 15 и 6 итераций соответственно. Результаты работы и логика изменения ключевых параметров адаптивного алгоритма представлены в табл. 1.

Проведем округление полученных результатов по описанной выше методике. В итоге получим, что решением системы (20) является точка $x_7(7, 6, 3, 3)$, системы (21) – точка $x_{15}(0, 0, 1, 2)$, системы (22) – точка $x_6(2, 1, 4, 2)$. Приведенные в табл. 1 результаты позволяют проследить поитеративное движение центра эллипсоида x_t к области решения и изменение коэффициента невязки $\theta(x_i)$ в центре эллипсоида x_t . Для всех трех систем линейных неравенств завершение работы алгоритма произошло по введенному критерию неположительной невязки $\theta(x_i) \leq 0$. Проверка полученных решений путем непосредственной подстановки в

неравенства показывает, что найденные с помощью адаптивного алгоритма решения корректны.

Таблица 1

Логика работы адаптивного алгоритма

Номер итерации t	Центр эллипсоида x_t на итерации t	Невязка в центре эллипсоида x_t
$\bar{y} = (3,4,7,6)$		
0	(3.5,3.5,3.5,3.5)	316
1	(4.8807,3.5,3.4744,3.2698)	108
2	(4.8807,4.9315,3.2358,3.2963)	85.34
3	(6.0304,4.9316,3.2145,3.1047)	28,52
4	(6.0304,6.1236,3.0158,3.1268)	21,51
5	(6.9878,6.1236,2.9981,2.9672)	1
6	(6.9572,5.8479,1.3437,2.9672)	37.85
7	(6.9818,6.0693,2.6724,2.9672)	0
$\bar{y} = (0,1,0,0)$		
0	(3.5,3.5,3.5,3.5)	55
1	(3.7301,3.4744,3.5,4.8807)	185.65
2	(3.5453,3.4949,3.5,3.7718)	163
3	(3.5453,2.0106,3.7473,3.7443)	163
4	(3.5168,1.7541,2.2084,3.7443)	163
5	(1.9212,1.7542,2.238,4.0102)	124.09
6	(1.7557,1.7726,2.2379,3.0176)	80.59
7	(1.7557,0.4438,2.4594,2.9930)	77.56
8	(1.7302,0.2142,1.0817,2.9930)	74.41
9	(0.3018,0.2142,1.1082,3.231)	68.98
10	(0.1537,0.2307,1.1082,2.3425)	19.64
11	(0.034,0.2439,1.1082,1.6288)	6.82
12	(0.0348,-0.989,1.3137,1.6060)	1.07
13	(0.0111,-1.202,0.035,1.606)	8.91
14	(0.0301,-1.0312,1.062,1.606)	0.64
15	(0.0301,0.03347,0.885,1.63)	-2.52
$\bar{y} = (4,2,2,1)$		
0	(3.5,3.5,3.5,3.5)	224
1	(3.5255,3.7301,4.8807,3.5)	109
2	(3.5257,2.2985,5.1193,3.4735)	55
3	(3.2782,2.326,5.1193,1.9891)	55
4	(1.7392,2.326,5.1478,2.2456)	29.52
5	(1.7392,1.09,5.3538,2.2227)	23.65
6	(1.7154,0.8765,4.07,2.2227)	-5.5

Следует отметить, что предложенный адаптивный алгоритм стартует из точки $x_0(3.5, 3.5, 3.5, 3.5)$ при начальном радиусе шара локализации области поиска решений си-

стемы неравенств (7). В свою очередь, если для решения систем (20)–(22) использовать авторский алгоритм Хачияна и стартовать из точки $x_0(0, 0, 0, 0)$ при среднем радиусе шара локализации 2^{137} ($L_{\text{среднее}} \approx 137$) – как среднее арифметическое длин входов всех 4096 систем неравенств, генерируемых в предложенном эксперименте, – то для нахождения действительных решений потребуется 3592 итерации алгоритма для системы (20), 3794 итерации для (21) и 5854 итерации для (22).

Экспериментальное исследование предложенного адаптивного алгоритма проводилось для всех 4096 вариантов векторов $\bar{y} = (s_1, s_2, s_3, s_4), s_i \in \{0, 1, \dots, 7\}$, и в каждом случае число итераций не превосходило 16 при среднем значении в 10,65.

Таким образом, экспериментально показана возможность эффективного применения предложенного адаптивного алгоритма, превосходящего по своим параметрам как переборный метод, требующий рассмотрения порядка 4096 вариантов с проверкой каждого из них, так и авторский алгоритм Хачияна, среднее число итераций для которого составило 3941. Кроме того, в результате проведенного эксперимента доказано эмпирическим путем, что задаваемое отображение есть биекция. Полученные результаты определяют направления совершенствования предложенного алгоритма применительно к решению различных практических задач, сводящихся к системам линейных неравенств с k -значными неизвестными [5].

Список используемых источников

1. Хачиян Л.Г. Полиномиальный алгоритм в линейном программировании // Доклады АН СССР. – 1978. – Т. 244, №5. – С. 1093–1096.
2. Хачиян Л.Г. Полиномиальные алгоритмы в линейном программировании // ЖВМ и МФ. – 1980. – Т. 20, № 1. – С. 51–68.
3. Лапиков И.И., Никонов В.Г. О построении алгоритма, основанного на методе эллипсоидов Л.Г. Хачияна, для решения систем неравенств с k -значными неизвестными // Информационные технологии в науке, образовании и управлении: труды международной конференции IT+S&E' 15 / под ред. проф. Е.Л. Глориозова. – М.: ИНИТ, 2015.
4. Балакин Г.В., Никонов В.Г. Методы сведения булевых уравнений к системам пороговых соотношений // Обзор прикладной промышленной математики. Сер. дискретная математика. – 1994. – Т. 1, № 3. – С. 389–401.
5. Никонов Н.В., Рыбников К.К. Прикладные задачи, сводящиеся к анализу и решению систем линейных неравенств. Метод разделяющих плоскостей // Вестник МГУЛ «Лесной вестник». – 2002. – №2 (22). – С. 191–195.
6. Никонов В.Г., Никонов Н.В. Особенности пороговых представлений k -значных функций // Труды по дискретной математике. – 2008. – Т. 11. – С. 60–85.
7. Никонов В.Г., Сошин Д.А. Геометрический метод построения сбалансированных k -значных пороговых функций и синтез подстановок на их основе // Образовательные ресурсы и технологии. – 2014. – №2. – С. 76–80.

И.В. Грудинин,
доктор военных наук, профессор;
С.В. Суловикин,
кандидат военных наук

ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ МЕТОДА ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ БОРЬБОЙ С ПРОТИВНИКОМ В ВОЗДУШНО-КОСМИЧЕСКОЙ СФЕРЕ

В статье представлен подход к определению классификационных признаков отдельных информационно-управленческих функций борьбы с противником в воздушно-космической сфере, ориентированный на обоснование функциональной структуры метода информационного обеспечения управления сложной организационно-технической системой специального назначения.

Ключевые слова: информация, информационное обеспечение, информационно-управленческая функция, метод информационного обеспечения управления, борьба в воздушно-космической сфере.

ВВЕДЕНИЕ

Вопрос определения сущности и функциональной структуры методов информационного обеспечения управления сложными организационно-техническими системами специального назначения занимает одно из центральных мест в проблематике соответствующей предметной области и вследствие своей недостаточной проработки нуждается в более детальном и глубоком исследовании.

Анализ сущности категорий «информация», «обеспечение» и «управление» позволяет сделать однозначный вывод о том, что все три категории могут быть охарактеризованы высоким уровнем релятивности содержания [1], т.е. в значительной мере обуславливаются особенностями того процесса, относительно которого позиционируются.

Рассматриваемая в статье в качестве базового процесса борьба с противником в воздушно-космической сфере, будучи процессом чрезвычайно сложным как с точки зрения количества реализуемых в его рамках частных процессов, так и с точки зрения многовекторности их целевых установок, неизбежно и достаточно жестко предопределяет общую структуру, сущность, содержание и структуру утилитарного по отношению к себе «информационного обеспечения управления».

Значительная роль, которую играют информация и управление в решении задач борьбы с противником в воздушно-космической сфере, требует строгой формализации элементов научно-методического сопровождения этих категорий в интересах разработки адекватных реальности рекомендаций по повышению эффективности целевого процесса.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СУЩНОСТИ И СОДЕРЖАНИЯ КАТЕГОРИИ «ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УПРАВЛЕНИЯ»

Являясь, наряду с веществом и энергией, одним из основных ресурсов осознанной деятельности человечества, информация требует четкого и однозначного определения сущностных и содержательных аспектов, подходов к ее оценке как с качественной, так и с количественной стороны. Однако на этом пути существуют значительные проблемы, обусловленные нематериальной природой этого ресурса, субъективностью восприятия конкретной информации различными индивидуумами, зависимостью трактовки информации от области ее практического приложения [2]. В связи с этим четкое определение понятия «информация» применительно к условиям проводимого исследования является важнейшим

элементом развития теории информационного обеспечения управления борьбой с противником в воздушно-космической сфере. Составляя основу понятийного аппарата не только в информатике, но и в системном анализе, математике, физике, кибернетике и т. д., категория «информация» чрезвычайно плохо поддается формализации вследствие ее всеобщности, объемности, расплывчатости и содержательной зависимости трактовок от специфики предметной области. Основное содержание некоторых, наиболее часто употребляемых, трактовок представлено на рис. 1.



Рис. 1. Трактовки содержания категории «информация»

В качестве базовой будем рассматривать системную трактовку категории «информация», согласно которой информация представляет собой некоторую последовательность сведений, знаний, актуализируемых (получаемых, передаваемых, преобразуемых, сжимаемых, регистрируемых и т. д.) с помощью знаковой системы определенного типа (символьной, образной, жестовой, звуковой, сенсомоторной).

Следующим ключевым элементом рассматриваемого понятийного аппарата является категория «обеспечение». Русский язык трактует его двояко, представляя в качестве одного из видов деятельности или средства деятельности. Как вид деятельности оно означает совокупность действий, предпринимаемых для улучшения условий реализации целевого процесса (или самой возможности его реализации), а как средство деятельности – совокупность различного вида ресурсов, потребных для решения задач целевого процесса [2]. В статье будем понимать под обеспечением согласованную совокупность таких элементов, как деятельность по обеспечению, средства обеспечения, субъекты обеспечения (рис. 2).



Рис. 2. Трактовки содержания категории «информация»

К числу наиболее важных принципов «обеспечения» относятся комплексность и системность. Комплексность характеризует свойство процесса «обеспечения», обеспечивающее учет всех условий и факторов, оказывающих существенное влияние на процесс достижения цели. Системность проявляется как свойство согласованного использования для достижения цели всех имеющихся сил и средств. Специфика поставленной цели оказывает весьма существенное влияние на содержание процесса обеспечения. Цель может заключаться в выполнении поставленной боевой задачи. Тогда обеспечение достижения этой цели представляет собой реализацию соответствующих функций управления процессами вооруженной борьбы, к числу наиболее важных из которых можно отнести: сбор данных обстановки и их оценку; выработку и принятие управленческих решений, своевременную постановку боевых задач подчиненным, контроль за ходом их выполнения; рациональное использование имеющихся боевых ресурсов (определение доли сил и средств, привлекаемых к решению поставленной боевой задачи, оптимальная реализация огневых возможностей, распределение расхода ресурса во времени и т. д.); восстановление утраченных в процессе противоборства с противником боеспособности, систем связи и управления и т. д.

Содержание понятия «управление» трактуется в общей теории управления как целенаправленное воздействие субъекта на объект с целью перевода его в качественно новое состояние. Как субъектом, так и объектом управления может быть человек, группы людей, различные технические, информационные, сложные организационно-технические системы и т. д. Любой процесс управления связан с информационным обменом, который заключается в циклическом осуществлении процедур сбора информации о текущем состоянии управляемого объекта, ее анализа и сравнения с параметрами желаемого состояния, выработки управляющего воздействия с целью перевода управляемого объекта в желаемое состояние, а также передачи воздействия объекту управления [3].

Процесс управления подразумевает наличие обратной связи (информационного потока, направленного от объекта к субъекту), позволяющей оценить степень эффективности оказанного на объект управляющего воздействия. Наибольший интерес представляет рассмотрение управленческих процессов в сложных организационно-технических системах. Применительно к ним организация управления включает в себя следующие операции: выявление функций управления; установление рационального количества уровней управления; распределение функций, прав и ответственности между различными уровнями; определение профессионального и численного состава органа управления; разработка нормативно-методической базы деятельности.

Функция управления представляет собой относительно самостоятельный и обособленный вид управленческой деятельности. Функции управления характеризуются наличием

структуры, функционального содержания и механизма реализации. Управленческий процесс в различных областях деятельности человека осуществляется посредством реализации различных функций управления, но можно выделить группу функций, в одинаковой мере проявляющих себя в любом управленческом процессе независимо от специфики области его приложения. Принято выделять следующие основные функции управления: планирование; календарно-плановое руководство; оперативное управление; контроль [4].

В основе каждого элемента управленческой деятельности лежит процесс принятия решений. Управленческое решение представляет собой целенаправленное воздействие на объект управления, осуществляемое в соответствии с ранее составленным планом на основе специально собранной информации. Принятие управленческого решения является адекватной реакцией на сложившуюся в ходе функционирования объекта ситуацию – проблему. В сфере управления сложными организационно-техническими системами процессы выработки и принятия решений играют огромную роль, основная нагрузка по принятию решений ложится на соответствующее должностное лицо. Качество решения им задачи выработки и принятия обоснованных решений в значительной степени зависит от уровня его информированности о состоянии и положении управляемых объектов и совокупности значимых условий обстановки. Рациональная реализация функций управления требует постоянного (с заданной периодичностью) предоставления субъекту управления своевременной, достоверной и полной информации, т.е. организации процесса информационного обеспечения.

Информационное обеспечение как утилитарный процесс информационного обслуживания конкретных функций управления, как система действий по предоставлению необходимой информации в требуемое время на основе выполнения определенных процедур с заданной периодичностью направлено на формирование информационной среды управления, образуемой источниками информации, информационной системой и органами управления, являющимися потребителями информации и пользователями информационной системы. Исходя из этого информационное обеспечение управления осуществляется путем использования органами управления необходимой информации с помощью специальных технологий добывания, сбора, обработки, хранения, передачи и предоставления этой информации потребителям как внутри системы управления, так и вне ее.

Являясь определяющим ресурсом управленческого процесса, информация обеспечивает возможность выработки и принятия обоснованных и эффективных решений. В то же время сам процесс ИО нуждается в собственном управлении, поскольку, так же, как и целевой управленческий процесс (обеспечиваемый), представляет собой логически выстроенную систему сил, средств, методов, способов и приемов, объединенных единым целеполаганием и общим ресурсным обеспечением. Структурно управление информационным обеспечением заключается в оказании целенаправленных управленческих воздействий на источники информации, информационные ресурсы и процедуры, обеспечивающих достижение требуемого уровня качества информационной модели обстановки, которую используют для выработки и принятия решений.

Основную функциональную структуру управления информационным обеспечением составляют: оценка информационных потребностей органов управления на каждом иерархическом уровне системы управления и в рамках каждой функции управления; контроль и рационализация структуры и содержания информационных потоков, циркулирующих в системе управления; создание и оптимизация (рационализация) системы информационного обеспечения и подсистемы управления ею.

Непосредственная взаимосвязь между процессами управления и его информационным обеспечением, а также взаимообусловленность результатов функционирования соответствующих подсистем актуализируют возможность сведения отдельных функциональных процедур в структуру информационно-управленческой функции борьбы с противником в воздушно-космической сфере. В качестве информационно-управленческих функций как видов деятельно-

сти, реализуемых органами управления, будем рассматривать: уяснение огневых (боевых) задач, поставленных старшим начальником; оценку воздушно-космической обстановки; управление степенями готовности формирований (средств) борьбы с СВКН противника; выбор целей для уничтожения (воздействия); распределение целей между управляемыми формированиями (средствами) борьбы с СВКН противника; распределение усилий управляемых формирований (средств) борьбы с СВКН противника; регулирование расхода средств поражения; регулирование управленческой деятельности подчиненных ПУ; информационную поддержку самостоятельных действий подчиненных ПУ; осуществление взаимодействия с другими силами и средствами, принимающими участие в борьбе с СВКН противника; обеспечение живучести формирований (средств) борьбы с СВКН противника; обеспечение безопасности действий своей авиации; управление системой разведки и предупреждение о воздушном и ракетном нападении; управление режимами работы управляемых формирований (средств) борьбы с СВКН противника; оценку результатов ведения огня и отражения удара СВКН, доклад о них вышестоящему начальнику.

Результаты согласованного анализа сущности и содержания информационного и управленческого процессов свидетельствуют об их тесной и органичной взаимосвязи, обусловленной структурной принадлежностью к единому целевому процессу, в рассматриваемом случае – процессу борьбы с противником в воздушно-космической сфере. Совершенствование терминологического аппарата теории информационного обеспечения управления, основываясь на существующих положениях теорий информационного направления, призвано обеспечить корректное развитие методических положений исследуемой предметной области, в частности, определения функциональной структуры метода информационного обеспечения управления борьбой с противником в воздушно-космической сфере.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРА МЕТОДА ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ БОРЬБОЙ С ПРОТИВНИКОМ В ВОЗДУШНО-КОСМИЧЕСКОЙ СФЕРЕ

Трактуя метод как совокупность специфических способов, приемов и правил деятельности, анализ сущности и функциональной структуры метода информационного обеспечения управления борьбой с противником в воздушно-космической сфере целесообразно осуществлять, основываясь на следующих принципиальных моментах:

- наличию и определяющем влиянии системной взаимосвязи и взаимообусловленности методов борьбы в воздушно-космической сфере, управления ею и информационного обеспечения управления;

- построению функциональной структуры метода, состоящей из таких элементов, как способы, приемы и правила применения имеющихся сил и средств борьбы с противником, обеспечивающих оптимальное (рациональное) достижение поставленных перед системой целей;

- классификации методов информационного обеспечения управления на основе определения специфики ключевого элемента их функциональной структуры;

- приведении в соответствие каждому функциональному компоненту метода информационного обеспечения управления специфических методов практического решения задач и достижения локальных целей системы (например, методов обнаружения летательных аппаратов, сбора разведывательной информации, ее анализа и преобразования, организации доступа потребителей к информационным ресурсам, работы должностных лиц органов управления и т. д.).

Как правило, частные методы носят ярко выраженный технический характер, определяются спецификой реализующих их технических систем и могут быть объединены в метод информационного обеспечения на организационно-техническом уровне.

Последовательно рассмотрим методы борьбы с СВКН противника, управления и его информационного обеспечения.

Смешанный состав группировок войск (сил), обладающих потенциалом борьбы с противником в воздушно-космической сфере предопределяет возможность реализации широкого спектра различных по своей физической природе воздействий на СВКН противника. В соответствии с этим классификацию методов борьбы в воздушно-космическом пространстве целесообразно осуществлять по признаку реализуемого в рамках метода способа воздействия на СВКН противника на метод огневого воздействия и метод неогневого воздействия (рис. 3).



Рис. 3. Функциональная структура и классификация методов борьбы с противником в воздушно-космической сфере

Сущность *метода огневого воздействия* заключается в преимущественном использовании в ходе боя способов огневого воздействия активных средств борьбы с СВКН противника. Специфика реализации этого метода обуславливается первой локальной целью борьбы с противником в воздушно-космической сфере, заключающейся в уничтожении его путем поражения. Основу этого метода образует огонь зенитных ракетных и противоспутниковых средств группировок средств ПВО и ПСБ, истребительной авиации, ракетных войск и артиллерии.

Сущность *метода неогневого воздействия* заключается в использовании преимущественно способов воздействия на СВКН противника, не предусматривающих огневого (кинетического) разрушения объектов поражения. При применении этого метода вторая локальная цель борьбы с противником в воздушно-космической сфере заключается в обеспечении сохранности прикрываемых объектов и группировок войск путем создания условий, при которых действия СВКН становятся заведомо неэффективными. Основу этого метода составляют радиоэлектронные и провокационно-демонстрационные воздействия на СВКН противника.

Выбор того или иного метода определяется рациональной совокупностью наиболее эффективных способов воздействия на СВКН противника, формируемых в соответствии с конкретными условиями обстановки, боевым составом привлекаемыми сил и средств борьбы с противником в воздушно-космической сфере, спецификой решаемых боевых задач, соотношением боевых потенциалов противостоящих группировок, условиями местности, климатическими и другими условиями обстановки.

Анализ функциональной структуры метода борьбы с противником в воздушно-космической сфере показывает, что наибольшей чувствительностью к организационному аспекту обладают способы и приемы управления боевыми действиями привлекаемых формирований (огневых средств, средств противодействия СВКН противника). В связи с этим именно управленческий компонент процесса борьбы с противником в воздушно-космической сфере представляет наибольший интерес как с точки зрения его исследования, так и с позиций практической реализации обоснованной процедуры оперативного выбора рационального метода борьбы, адекватного решаемым задачам и конкретным условиям обстановки.

Рассматривая процесс управления боевыми действиями привлекаемых сил и средств как системный элемент метода борьбы с противником в воздушно-космической сфере, вполне логично за основу для его определения принять предложенный ранее подход по иерархическому ранжированию приемов, способов и методов. В качестве ключевого классификационного элемента метода управления рассматривается последовательность реализации управленческих функций на различных уровнях иерархии системы управления. Сравнительная характеристика структуры и содержания параллельного и последовательного методов управления представлена на рис. 4.

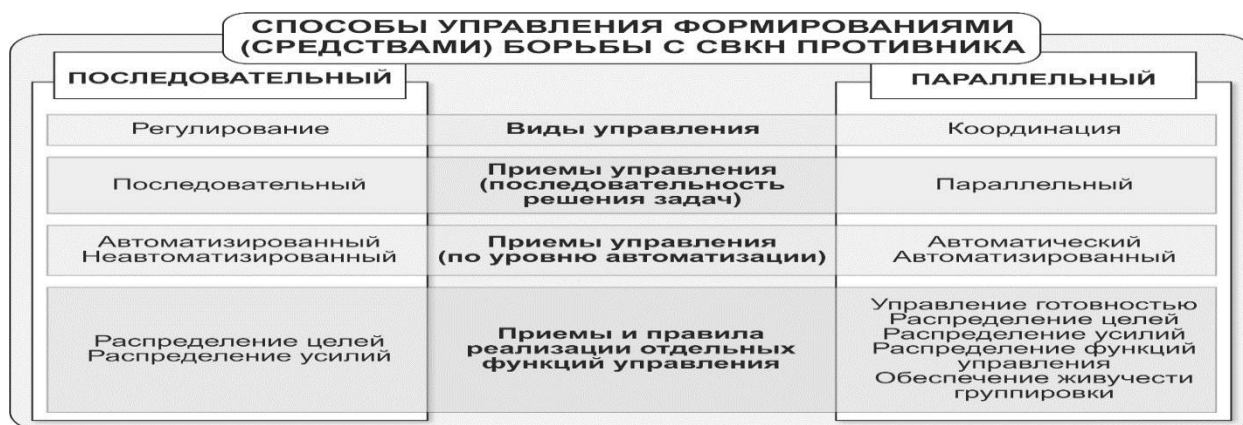


Рис. 4. Структура и содержание способов управления

Анализ приведенных на рисунке данных показывает, что реализация параллельного способа управления позволяет существенно повышать уровень его централизации. Основным видом управления становится координация автономных действий управляемых формирований (средств).

Вышестоящий пункт управления вмешивается в действия подчиненных только по наиболее важным вопросам. Уровень централизации гибко изменяется в соответствии с условиями, причем систематическое уточнение порядка организации воздействий на СВКН противника обеспечивает согласованные действия группировки даже при выходе из строя вышестоящего пункта управления.

Основным ресурсом повышения оперативности управления является автоматизация функций оценки обстановки и выработки управленческих решений.

Кроме того, оперативность повышается и за счет параллельной на всех пунктах управления выработки управляющих воздействий в соответствии с заранее сформулированной целью и оперативно уточняемыми параметрами задач.

Реализация параллельного способа управления существенно расширяет перечень задач, решаемых на пунктах управления, повышает уровень их согласованности, требует изменения существующей системы взаимоотношений должностных лиц органов управления и автоматизированной системы управления. В этих условиях АСУ должно выступать не только

в качестве средства сбора информации, ее отображения и решения формальных вычислительных задач, но и в качестве инструмента реализации ряда сложно формализуемых творческих функций.

Таким образом, реализация параллельного способа управления формирует необходимые предпосылки для повышения эффективности управления формированиями (средствами) борьбы с СВКН и борьбы с противником в воздушно-космической сфере в целом.

Анализ содержания и структуры методов борьбы с СВКН противника и управления формированиями (средствами) борьбы с СВКН позволяет системно подойти к вопросу определения сущности и содержания метода информационного обеспечения управления борьбой с противником в воздушно-космической сфере.

В качестве одного из ключевых признаков, определяющих сущность метода информационного обеспечения, предлагается использовать распределение функций информационного обеспечения между пунктами управления различных уровней иерархии. На современном этапе развития теории информационного обеспечения принято выделять две основные формы организации информационного обеспечения управленческой деятельности, обработки информации и использования информационно-технических средств – централизованную и децентрализованную. Кроме того, возможно сочетание этих форм организации информационного обеспечения.

Централизованное информационное обеспечение реализуется путем создания единого для всех пользователей информационно-управленческого ресурса, формируемого, как правило, на вышестоящем пункте управления группировки формирований (средств) борьбы с противником в воздушно-космической сфере. При этом обеспечивается централизованное управление режимами работы источников информации, хранение, обработка и предоставление необходимых данных потребителям в объеме, обеспечивающем эффективное решение стоящих перед ними задач (рис. 5).

Децентрализованное информационное обеспечение управления (рис. 6) предполагает реализацию всех его функций на пунктах управления (огневых средствах) нижнего уровня иерархии системы управления (информационное «самообеспечение»).

Достоинства и недостатки централизованной и децентрализованной форм организации информационного обеспечения управления предопределяют необходимость рационального сочетания элементов обоих подходов, т.е. реализации смешанного информационного обеспечения на базе осуществления различных вариантов распределения информационно-управленческого ресурса и процедур информационного обеспечения между пунктами управления различного уровня иерархии системы управления (средствами воздействия на СВКН противника).

Использование уровня централизации информационного обеспечения управления в качестве одного из определяющих признаков формируемых методов информационного обеспечения обусловлено следующими соображениями.

1. В совокупности способов, приемов и правил информационного обеспечения управления огнем форма распределения функций между элементами системы информационного обеспечения в наибольшей степени влияет на содержание и структуру процесса информационного обеспечения, предопределяя специфику реализации приемов и синтеза соответствующих правил.

2. Признак уровня централизации информационного обеспечения сохраняет свою классификационную представительность на всех этапах управления. Эта универсальность рассматриваемого признака для условий реализации информационно-управленческих функций как при планировании, так и в процессе оперативного управления обеспечивает возможность системного охвата в рамках формируемых методов информационного обеспечения всего процесса управления борьбой с противником в воздушно-космической сфере.

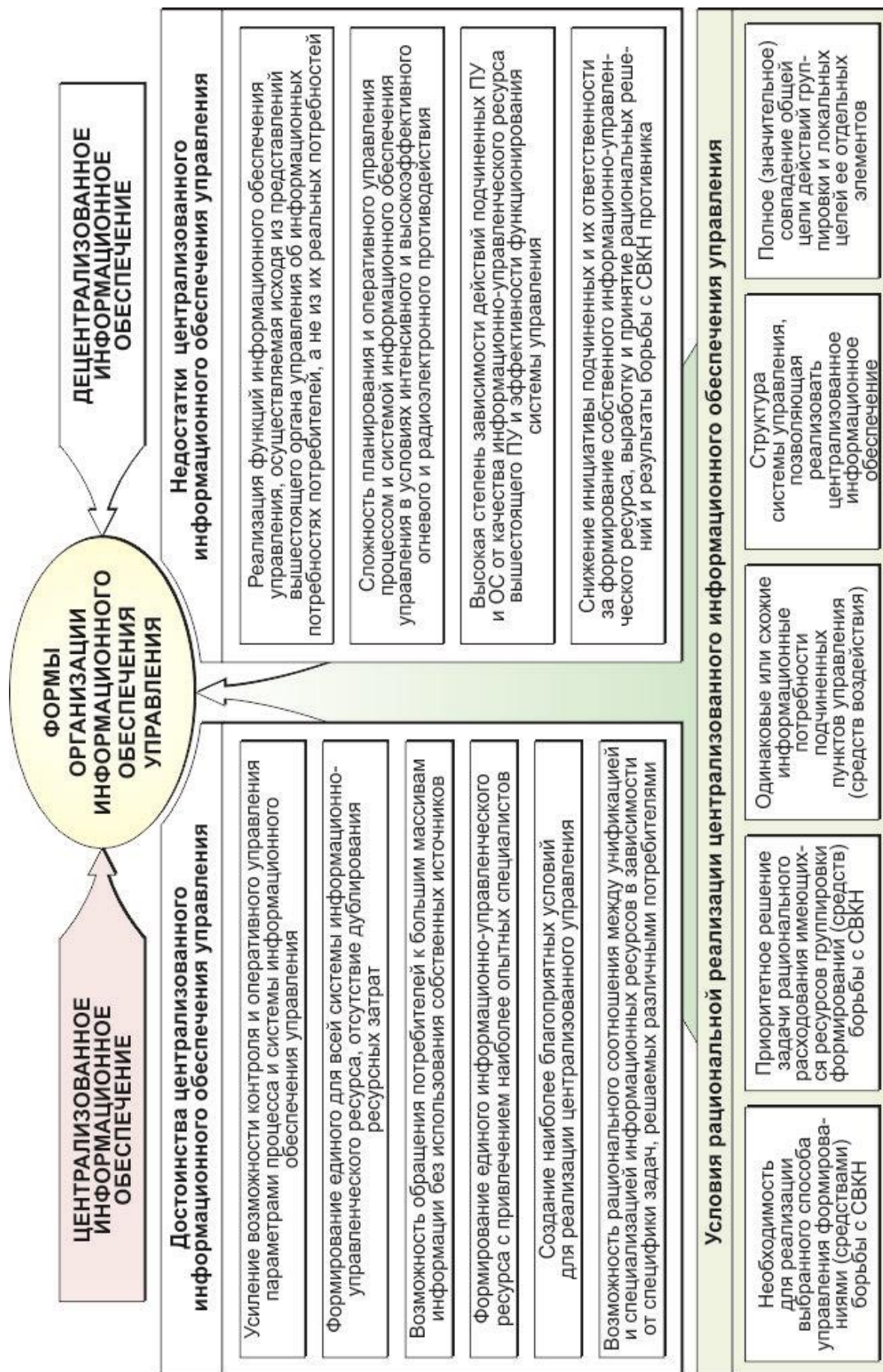


Рис. 5. Анализ централизованного информационного обеспечения управления

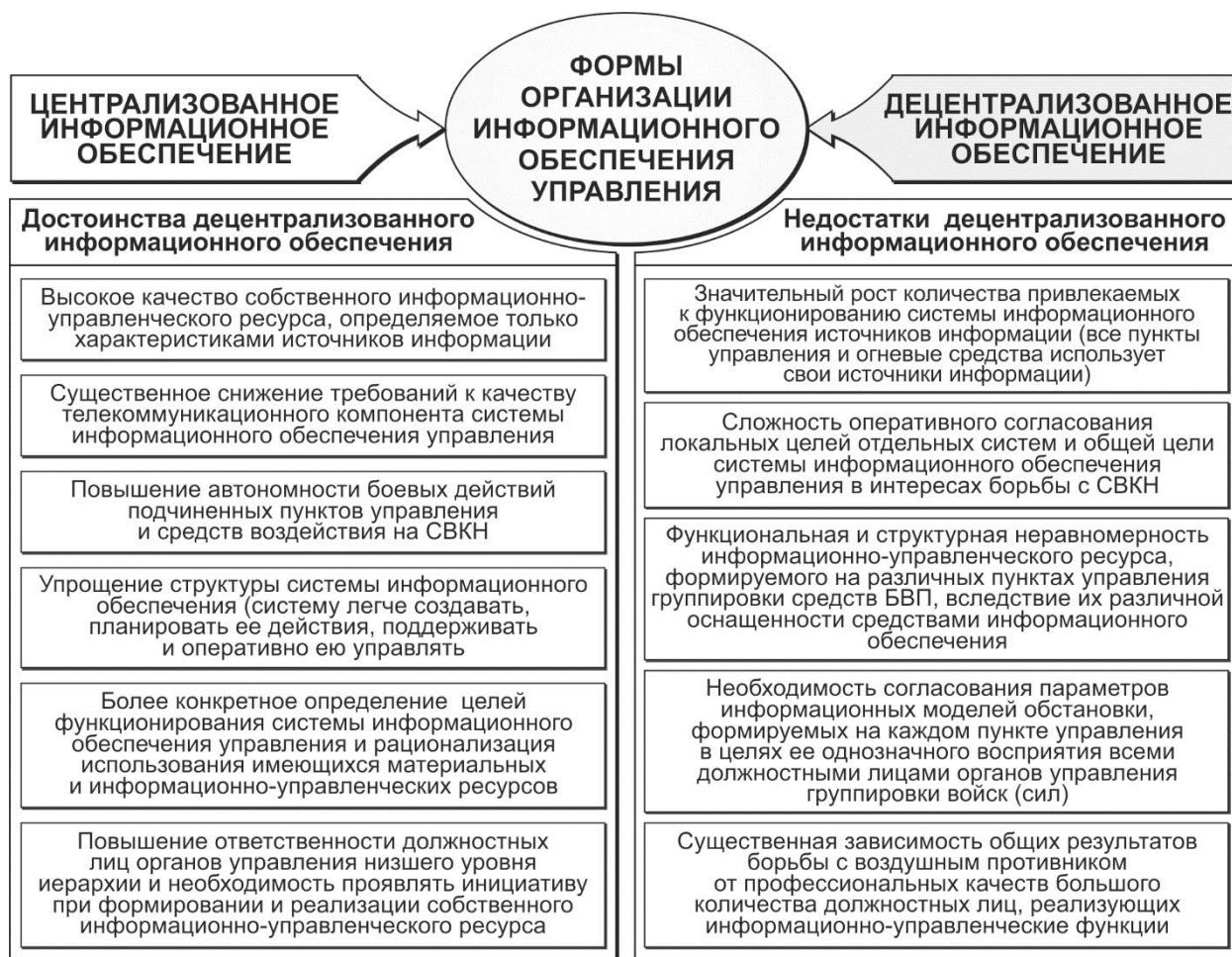


Рис. 6. Анализ децентрализованного информационного обеспечения управления

3. Между уровнями централизации управления формированиями (средствами) борьбы с СВКН и его информационного обеспечения отсутствует простая и однозначная связь. Сложная системная взаимообусловленность этих процессов определяется не стационарностью приоритетных отношений между ними. Управление и соответствующий уровень его централизации отражают целевые установки системы управления и являются следствием стремления органов управления к достижению максимальной эффективности борьбы с противником в воздушно-космической сфере. Очевидными преимуществами при такой постановке обладает централизованная форма управления как высшая форма организации совместных действий всех элементов сложной организационно-технической системы.

Информационное обеспечение и уровень его централизации отражают возможности системы информационного обеспечения по формированию информационно-управленческого ресурса, позволяющего реализовать функции управления формированиями (средствами) борьбы с СВКН противника. Очевидно, что характеристики системы информационного обеспечения и основные параметры процесса ее функционирования накладывают жесткие ограничения на возможность рациональной реализации централизованного управления.

В процессе подготовки и отражения удара соотношение процессов управления огнем и его информационного обеспечения соответствует дилемме «желаемое – возможное», не имеющей однозначного объективного разрешения.

Выбор приоритета между параметрами целевой установки системы и ее реальными возможностями представляет собой одну из наиболее сложных проблем, решение которой в значительной мере определяется характеристиками субъекта управления (ценностная ориентация, опыт, интуиция и другие, как правило, не поддающиеся формализации, каче-

ства). Приоритетное формирование цели функционирования системы без учета ее реальных возможностей, как правило, ведет к неоправданно высоким ресурсным затратам и в ряде случаев – к деструкции системы. Превалирование автономной оценки имеющихся ресурсов системы, изолированной от характеристик ее целевой установки, может существенно изменить параметры цели и общую ценность системы в структуре надсистемы. Можно сказать, что создание рационального соотношения между параметрами формируемой цели и возможностями системы по ее достижению составляет суть искусства управления сложными организационно-техническими системами.

В силу ряда объективных и субъективных причин системные взаимоотношения между процессами управления формированиями (средствами) борьбы с СВКН и его информационного обеспечения в современной системе управления нарушены. На уровне целеполагания системы управления планируемый и реализуемый уровни централизации управления предопределяют соответствующий ему уровень централизации информационного обеспечения (централизованное управление формированиями (средствами) борьбы с СВКН предполагает реализацию централизованного информационного обеспечения). Вместе с тем структурные и функциональные особенности существующей системы управления и жестко неблагоприятные условия современного применения формирований (средств) борьбы с СВКН, как правило, предопределяют возникновение ситуации, в которой даже при благоприятных пространственно-временных условиях для реализации централизованного управления информационное обеспечение продолжает оставаться полностью децентрализованным (каждый пункт управления стремится самостоятельно добывать информацию о необходимых для реализации информационно-управленческих функций параметров обстановки).

Предпосылками возникновения такой ситуации являются:

- более высокие показатели качества информационной модели обстановки, формируемой на пунктах управления низшего уровня иерархии. Это объективно обусловлено их пространственным расположением (позиции штатных средств разведки формирований борьбы с СВКН противника вынесены в направлении ожидаемого удара противника), малым количеством звеньев обработки и передачи информации (повышается точность и достоверность информационной модели вследствие снижения уровня вносимых при обработке и передаче ошибок), незначительным количеством источников информации, предопределяющим более качественное решение задачи согласования параметров их частных информационных моделей (отождествления, объединения информации, укрупнения обстановки, ранжирования элементов обстановки по важности и т. д.);

- несовершенство существующих систем информационно-технической коммуникации как по количеству, так и по качеству формируемых каналов передачи данных, что обуславливает значительное снижение потенциальных возможностей системы информационного обеспечения по централизованному сбору, обработке и передаче информации, необходимой для реализации информационно-управленческих функций на всех уровнях иерархии системы. Деструктивное влияние этого фактора существенным образом усугубляется в условиях интенсивного огневого и радиоэлектронного противодействия со стороны противника;

- отсутствие на современном этапе развития вооружения, военной и специальной техники технологической возможности централизованного управления режимами функционирования источников информации о воздушно-космической обстановке. Реальной возможностью его реализации обладают только пункты управления подразделений радиолокационной разведки низшего уровня иерархии. Пункты управления более высокого уровня возможностью оперативного управления режимами функционирования источников информации и параметрами формируемого информационного поля управления не обладают, вынуждены выступать в роли пассивного потребителя добываемой источниками информации;

- наличие существенного психологического аспекта в действиях должностных лиц органов управления, заключающегося в стремлении к максимальной автономности функциони-

рования в условиях высокой ответственности за его результативность. В условиях сложной и скоротечной обстановки современного боя с СВКН каждый командир (начальник) рассматривает в первую очередь на свои штатные силы и средства, стремясь «видеть обстановку своими глазами» и относясь с недоверием к элементам информационной модели обстановки, получаемой от вышестоящего пункта управления.

Итак, основным методологическим источником проблемы информационного обеспечения управления борьбой с противником в воздушно-космической сфере является противоречие между обоснованным стремлением к максимальной централизации управления формированиями (средствами) и возможностями системы информационного обеспечения по формированию на всех пунктах управления информационной модели обстановки централизованного метода информационного обеспечения в условиях сложной воздушно-космической и радиоэлектронной обстановки.

Несмотря на то, что признак уровня централизации функций информационного обеспечения управления играет определяющую роль в функциональной структуре метода, самостоятельно он не способен достаточно полно охарактеризовать его сущность и содержание.

Более корректным представляется характеристика метода с помощью системы признаков, основными из которых являются элементный состав и структура системы информационного обеспечения управления формированиями (средствами) борьбы с СВКН противника, способы формирования информационного поля управления группировки формирований (средств) борьбы с СВКН противника, а также согласованные способы управления параметрами систем информационного обеспечения и управления.

Состав и структура системы информационного обеспечения определяются типажом средств разведки (источников информации о воздушно-космической обстановке), средств сбора и обработки информации (пунктов управления, оборудованных соответствующими комплексами средств автоматизации), а также средств образования каналов передачи информации (средств связи различного типа).

Источники информации о воздушно-космической обстановке в существующей системе информационного обеспечения управления представлены средствами активной радиолокации, весьма уязвимыми для огневого и радиоэлектронного воздействия противника.

Ограничение технических возможностей средств каналообразования значительно усугубляется рядом специфических организационных аспектов, выражающихся в создании образцов АСУ, ориентированных на использование в составе систем управления со стационарным составом средств и структурой построения. Основным практическим проявлением этого становятся низкая устойчивость системы информационного обеспечения к противодействию со стороны противника и глубокое несоответствие ее параметров требованиям, предъявляемым системой управления.

Основными направлениями разрешения обозначенных проблем являются:

- диверсификация элементного состава сенсорной подсистемы за счет включения в ее состав средств разведки, реализующих различные физические принципы обнаружения летательных аппаратов;

- расширение возможностей каналообразующей аппаратуры, обеспечивающих реализацию процесса оперативного управления структурой системы в соответствии со спецификой решаемых задач и с конкретными условиями обстановки.

Реализация указанных направлений позволяет сменить топологию системы информационного обеспечения управления с иерархической на сетевую, в гораздо большей степени отвечающую реальным условиям ее функционирования. Одним из ключевых признаков сетевой топологии системы является ее способность к образованию новых внутрисистемных связей в соответствии со спецификой решаемых задач и с условиями обстановки. Сетевая структура характеризуется наличием потенциальных связей между всеми элементами системы управления, часть из которых актуализируется на период решения конкретной задачи, а затем разрушается до момента появления новых задач. В процессе образования связей

могут возникать и двойное (множественное) подчинение, и межуровневое взаимодействие, причем одни и те же субъекты могут выступать как в роли управляющих органов, так и в роли управляемых агентов, т.е. могут вступать в сетевое взаимодействие.

Сетевая структура системы информационного обеспечения управления формируется за счет организации множества стационарных и временных внутри- и межуровневых информационных и управленческих связей, обеспечивающих целенаправленный доступ потребителей к информации, необходимой им для реализации информационно-управленческих функций борьбы с противником в воздушно-космической сфере.

Существовавшая ранее интерпретация сетевых структур в виде структур с отсутствием выраженной иерархии и наличием постоянно действующих связей между всеми (или подавляющим большинством) ее элементов в последнее время претерпевает существенные изменения. Наиболее отвечающей специфике реализуемого подхода трактовкой можно считать интерпретацию сетевой структуры как набора исполнительных элементов системы, между которыми не существует постоянных связей. Связи образуются между элементами на период решения стоящей перед системой конкретной задачи; затем связи исчезают до момента возникновения новой задачи и т. д. Упорядоченность взаимных отношений между элементами и рациональные формы управления на локальных структурных участках системы возникают и реализуются в сетевой структуре в результате необходимости специализированного решения отдельных задач.

В качестве очевидных преимуществ сетевой организации системы информационного обеспечения управления следует отметить:

- существенно большую гибкость и большие возможности по изменению конфигурации системы по сравнению с системами, имеющими иерархическую топологию;

- высокую степень функциональной свободы исполнительных элементов системы управления (формирований (средств) борьбы с СВКН противника нижнего звена иерархии), обусловленную улучшением их осведомленности о существенных параметрах обстановки, уменьшением времени реакции, повышением согласованности совместных действий с соседними элементами за счет высокой оперативности выработки и принятия организационных решений и проявления способности к самосогласованию между элементами системы управления и исполнительными элементами;

- рациональность в использовании информационно-управленческого ресурса, предоставляемую способностью элементов сетевой организации ослаблять внешне- и внутрисистемные ограничения (неопределенность) путем изменения интенсивности своих связей с конкретными источниками этих ограничений.

В качестве основной предпосылки целесообразного перехода к сетевой топологии систем управления и его информационного обеспечения необходимо рассматривать именно растущие коммуникативные возможности современных подсистем сбора, обработки, обмена информацией между ее потребителями.

Более того, можно предположить, что эффективность реализации той или иной формы управления определяется в значительной мере именно существующими ограничениями на обмен информацией между элементами системы. Анализ функционирования системы управления иерархического типа в двух ее радикальных состояниях (реализация жесткого централизованного управления и автономные действия объектов управления) свидетельствует о том, что для обоих вариантов управления характерным является именно недостаточность возможностей по обмену информацией.

Стремясь к реализации своей главной функции – организации рационального (согласованного, неконфликтного) функционирования всех элементов в процессе достижения стоящей перед системой цели, система управления зачастую не обладает достаточными возможностями по централизованному информационному обеспечению их деятельности. Это неизбежно ведет к рассогласованию действий отдельных элементов системы в услови-

ях отсутствия качественной информации об оперативных параметрах задачи, о состоянии и действиях системы, других ее элементов, об окружающей среде.

Таким образом, иерархическая форма организации управления выступает в качестве средства минимизации ущерба, наносимого системе от несогласованных совместных действий ее элементов. Основным инструментом решения этой задачи является разработка внутрисистемных правил, определяющих распределение функций управления между уровнями иерархии системы и накладывающих жесткие ограничения на самостоятельные действия элементов низших уровней иерархии. При таком подходе система управления способна координировать деятельность значительных по сложности и составу систем (объектов) при ограниченных коммуникативных возможностях и меньшей интенсивности информационного обмена.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определение метода информационного обеспечения управления борьбой с противником в воздушно-космической сфере как совокупности способов, приемов и правил, используемых для формирования на соответствующих ПУ информационно-управленческого ресурса, обеспечивающего выработку воздействий на подчиненные средства с целью достижения оптимального использования боевых возможностей формирований (средств) борьбы с СВКН, позволило осуществить функциональную декомпозицию понятия «метод информационного обеспечения управления», проанализировать его сущность и содержание по составляющим структурным элементам, определить основные частные и интегральные характеристики.

Последовательный анализ сущности и содержания способов, приемов и правил информационного обеспечения позволил выделить в качестве определяющего признака для формирования метода информационного обеспечения управления топологию реализующей его системы. В соответствии с этим существующий метод позиционируется в работе как иерархический, предлагаемый – как сетевой. Основу сетевого метода информационного обеспечения управления составляют гибкая структура системы информационного обеспечения, наличие возможности оперативного управления параметрами формируемого информационного поля управления, динамичное распределение функций управления между пунктами управления, определяемое спецификой решаемых задач и конкретными условиями обстановки, а также согласованные способы управления параметрами систем информационного обеспечения и управления.

Список используемых источников

1. *Бусленко Н.П.* Лекции по теории сложных систем. – М.: Сов. радио, 1973. – 94 с.
2. *Годин В.В., Корнеев И.К.* Информационное обеспечение управленческой деятельности: учебник. – М.: изд-во. «Мастерство», 2001. – 240 с.
3. *Грачев И.А., Каргин В.Н.* Информационные технологии в автоматизированных системах военного назначения // Военная мысль. – 2001. – № 6. – С. 36–42.
4. *Поспелов Д.А.* Ситуационное управление: теория и практика. – М.: Наука, 1986. – 288 с.

В.П. Корнеев,

кандидат техн. наук;

Ю.В. Кулешов,

доктор техн. наук, профессор;

Г.Г. Щукин,

доктор физико-математических наук, профессор,

заслуженный деятель науки РФ

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ АКТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОБЛАКА ДЛЯ МЕТЕОЗАЩИТЫ ОТ АНОМАЛЬНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПОГОДЫ И ПОСЛЕДСТВИЙ ТЕХНОГЕННЫХ КАТАСТРОФ

На основании анализа эффективности применения разработанной в России технологии активного воздействия на гидрометеорологические процессы оцениваются перспективы ее использования для снижения ущерба от катастрофических метеорологических явлений. Предлагается концепция создания системы метеорологической защиты России от аномальных явлений погоды и последствий техногенных катастроф на основе авиационной технологии активного воздействия на облака.

Ключевые слова: активные воздействия на облака, ливневые осадки, град, засуха, катастрофы, радиолокационный контроль.

ВВЕДЕНИЕ

Аномальные явления погоды, имевшие место в Российской Федерации в последние годы, подтверждают зависимость экономики страны и безопасности жизни людей от природных явлений и глобального изменения климата, способствующего увеличению частоты стихийных явлений и возрастанию ущерба, наносимого окружающей среде. К этим явлениям в первую очередь относятся град, аномальная жара, сильные ливни, снегопады и туманы.

Следствием перечисленных явлений погоды являются градобития, засухи, лесные пожары и катастрофические наводнения, приводящие к человеческим жертвам и огромному ущербу, наносимому флоре и фауне, сельскому и лесному хозяйству, строениям, транспортным средствам, линиям электроснабжения, связи и другим системам жизнеобеспечения России.

Градобитиям в РФ наиболее подвержены южные регионы: Северный Кавказ, Краснодарский край, Ставропольский край, Республика Крым. Только на Северном Кавказе, по статистическим данным, они ежегодно уничтожают от 5 до 7% урожая, а в отдельные годы – до 14%, здесь в год погибает в среднем 142 тыс. га сельхозугодий. Только прямые потери агропромышленного комплекса (без учета стоимости агропромышленной продукции после переработки, затрат на восстановление поврежденных зеленых насаждений, а также ущерба флоре, фауне, стеклам и крышам построек, автомобилям, линиям электроснабжения, телефонной связи и другим коммуникациям) составляют более 5 млрд. руб. в год.

Засуха на Земле ежегодно приводит к потерям сельскохозяйственной продукции на сумму около 40 млрд. долларов. В Российской Федерации наиболее подвержены засухе районы Поволжья, Предкавказья, Забайкалья, Калмыкии и Астраханская область. Практически ежегодно те или иные регионы нашей страны подвергаются засухе.

Лесные пожары наносят урон экологии, экономике, а зачастую оказываются под угрозой и человеческие жизни. В случае, когда промышленные объекты находятся в непосредственной близости от леса, ущерб от пожара может быть колоссальным. Но наибольшую опасность представляет угроза населенным пунктам, когда лесной пожар может стать причиной

смерти людей. На долю Российской Федерации приходится 1/5 часть всех лесов мира, 1/2 часть всех хвойных лесов. Леса занимают ~50% всей площади страны и составляют 1,2 млрд. га. На территории лесного фонда России ежегодно регистрируется от 10 до 35 тыс. лесных пожаров, охватывающих площади от 0,5 до 2,5 млн. га.

Сильные ливни приводят к катастрофическим наводнениям. Особенно масштабное катастрофическое наводнение произошло в июле 2012 г. в Краснодарском крае. В Крымском районе, на который пришелся самый сильный удар стихии, погибли 153 человека, более 60 тыс. человек были признаны пострадавшими, полностью разрушено 1,69 тыс. домов, повреждено около 6,1 тыс. зданий. В городах Геленджик, Крымск и Новороссийск, а также в ряде поселков Краснодарского края были нарушены системы энерго-, газо- и водоснабжения, автомобильное и железнодорожное сообщение. Ущерб от наводнения составил около 20 млрд. руб.

Техногенные катастрофы. Не меньшую угрозу, чем аномальные явления погоды, представляют для экономики и жизни людей выбросы в атмосферу вредных веществ в результате техногенных катастроф.

В первую очередь к ним относятся выбросы в атмосферу в результате аварий на химических предприятиях и атомных станциях. По данным статистики, в мире происходит до 20 аварий в год на химических предприятиях, часть из которых сопровождается выбросом вредных веществ в атмосферу.

Аварии на Чернобыльской атомной электростанции и на атомной электростанции «Фукусима» (Япония) еще раз напомнили всем, к каким катастрофическим последствиям могут привести нарушения техники безопасности в атомной промышленности.

ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ СИСТЕМЫ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ОТ АНОМАЛЬНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПОГОДЫ И ПОСЛЕДСТВИЙ ТЕХНОГЕННЫХ КАТАСТРОФ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ АКТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Для предотвращения перечисленных выше опасных явлений погоды и их последствий, уже в течение многих лет в России и за рубежом разрабатываются методы и средства активных воздействий (АВ) на гидрометеорологические процессы. В настоящее время довольно хорошо изучены физические основы этих методов, разработаны и совершенствуются технические средства. Ниже и будут рассмотрены все аспекты данной проблемы с целью обеспечения гидрометеорологической безопасности России.

Физические основы воздействий на облака

На основе анализа приведенных выше опасных явлений погоды можно сделать вывод, что они в основном связаны с процессами, происходящими в облаках. Действительно, на разных стадиях развития облачность порождает такие явления, как ливень, гроза, град, а длительное отсутствие осадков приводит к засухе. В связи с этим, начиная с 40-х гг. прошлого столетия, выполнено большое количество теоретических и экспериментальных работ по искусственному регулированию физических процессов, происходящих в облаках, для получения дополнительных осадков, их перераспределения, а также для предотвращения образования градоопасных облаков (или их разрушения).

Поскольку атмосферные процессы, особенно протекающие в мощной конвективной облачности, обладают огромной энергией, прямое энергетическое воздействие на них требует недоступных человечеству в настоящее время затрат энергии.

Академиком Е.К. Федоровым были сформулированы возможные пути воздействия на атмосферные процессы: «...воздействие на метеорологические процессы должно происходить по принципу управления. Принцип управления природными процессами состоит в том, чтобы привести в движение в нужном направлении большое количество вещества и энергии. Само же управляющее воздействие должно при этом сопровождаться затратами вещества или энергии в количествах, на много порядков меньших.... Следовательно, мы должны отыскивать в сложном комплексе атмосферных процессов связанные друг с другом явления, которые можно бы было применить в качестве каналов управления» [5].

На практике возможность такого управления с целью искусственной модификации облаков, осадков и туманов базируется на использовании существующей в атмосфере неустойчивости при развитии процессов облако-, осадко- и туманообразования, что позволяет изменять ход последних при сравнительно небольших затратах энергии. При этом среди разных видов неустойчивости наиболее важное значение для возможности локальной модификации облаков, осадков и туманов имеют: 1) коллоидальная неустойчивость, за счет которой происходят конденсационно-коагуляционный рост капель в облаке и выпадение дождя из теплых облаков; 2) термодинамическая (фазовая) неустойчивость коллоидной системы облаков и туманов, возникающая в переохлажденных облаках и туманах, содержащих переохлажденную воду; 3) конвективная (вертикальная) неустойчивость атмосферы. В неустойчивых системах достаточно воздействовать малым импульсом, чтобы начался самопроизвольный процесс, развивающийся за счет внутренних механизмов [3].

Следует отметить, что принципиальная возможность и целесообразность модификации облаков и осадков вытекают из того факта, что лишь часть (во многих случаях – небольшая) водосодержания облаков при естественных процессах реализуется в виде осадков [2].

Эффективность естественного осадкообразования в облаках различных типов может меняться от 10 до 90%. Этот факт позволяет рассчитывать на возможность использования активных воздействий для уменьшения «непроизводительных» потерь облачной влаги и тем самым повышения эффективности осадкообразования.

Коллоидальная неустойчивость облаков и туманов обусловлена тем, что крупные облачные капли растут, а мелкие испаряются, вследствие того, что работа выхода молекул воды тем меньше, чем больше кривизна поверхности капли. Кроме того, крупные облачные капли растут за счет захвата мелких. Для реализации этого эффекта в облака и туманы вводятся гигроскопические частицы, которые формируют капли растворов, над которыми упругость водяного пара ниже, чем над каплями чистой воды.

Фазовая неустойчивость облаков (и туманов) обусловлена тем, что упругость водяного пара надо льдом меньше, чем над водой (с максимумом при минус 12°C). Вследствие этого в переохлажденных облаках и туманах, содержащих облачные капли и кристаллы, имеет место пересыщение водяного пара относительно кристаллов. Это приводит к росту кристаллов и снижению упругости водяного пара. Вследствие образующегося дефицита водяного пара происходит испарение облачных капель, находящихся в окружении кристаллов. В результате перегонки пара с капель на кристаллы количество облачных капель уменьшается, кристаллы растут, ускоряя процесс осадкообразования. Реализация этого эффекта осуществляется путем засева облаков и туманов хладореагентами и кристаллизующими реагентами, способствующими замораживанию облачных капель и формированию ледяных кристаллов.

Конвективная неустойчивость облаков обусловлена тем, что градиент понижения температуры с высотой в облаке превышает влажноадиабатический градиент. Это приводит к тому, что объем воздуха, искусственно смещенный вверх, продолжает с ускорением подниматься, а смещенный вниз – с ускорением опускаться еще ниже. Поэтому создание в них импульсов нисходящих потоков влечет за собой развитие нисходящих потоков, приводящих к динамическому разрушению мощных конвективных облаков. Инициирование импульсов нисходящих потоков осуществляется с помощью ударных волн и продуктов ликвидации артиллерийских снарядов, подрываемых в верхней части радиоэха конвективных облаков, сброса с вершины облаков грубодисперсных порошков, а также пролетом реактивного самолета при больших углах тангажа и зависанием вертолета над вершиной конвективных облаков.

Указанные физические эффекты положены в основу большинства методов предотвращения града, искусственного увеличения осадков и рассеяния туманов.

Для предотвращения града наиболее оптимальной концепцией является концепция ускорения осадкообразования.

Реагенты и технические средства для активного воздействия на облака

Ниже приведены краткие сведения о реагентах и технических средствах, применяемых в технологиях активного воздействия на облака.

Хладореагенты и технические средства для их внесения в облака. Как отмечено ранее, для модификации переохлажденных облаков и выпадающих из них осадков необходимо внести в переохлажденную часть облака ледяные частицы. Сейчас известно большое количество веществ и химических соединений, которые можно применять для воздействия на переохлажденную облачность. В настоящее время некоторые из них и применяются. По своему льдообразующему действию их можно разделить на два класса: *хладореагенты*, формирующие ледяные кристаллы по гомогенному механизму, и *льдообразующие реагенты*, аэрозольные частицы которых служат гетерогенными центрами кристаллизации при попадании таких частиц в переохлажденную зону облака.

Льдообразующая эффективность хладореагентов достаточно хорошо изучена как в лабораторных, так и в натуральных условиях. Наиболее эффективными из них являются твердая углекислота и жидкий азот, которые нашли широкое применение в практике активных воздействий. Для этих хладореагентов определена максимальная эффективность (максимальный выход ледяных кристаллов), разработаны самолетные стационарные и наземные технические средства для их введения в переохлажденную облачность.

Углекислота CO_2 является одним из первых хладореагентов, которые были использованы для активных воздействий на облака и туманы.

В облачной среде углекислота, имея температуру испарения минус $78,9^\circ\text{C}$, создает сильное охлаждение, в результате чего, за счет пересыщения водяного пара, происходит самопроизвольное образование мелких кристалликов льда. За время испарения 1 г твердой углекислоты генерирует 10^{11} ледяных частиц. При этом максимальная температура облачной среды, при которой еще образуется близкое к вышеуказанному количество ледяных частиц (температурный порог активности твердой углекислоты), составляет от -3 до -4°C .

Засев облаков твердой углекислотой выполняется с помощью специальных бункерных или шнековых устройств либо с помощью специальных дозирующих установок через предусмотренные для этого отверстия в виде шахт в корпусе самолета. Для хранения гранулированной углекислоты используются специальные легкие сборно-разборные

термоизолированные контейнеры с поддонами, позволяющие хранить углекислоту и на земле, и на борту самолета в течение нескольких дней.

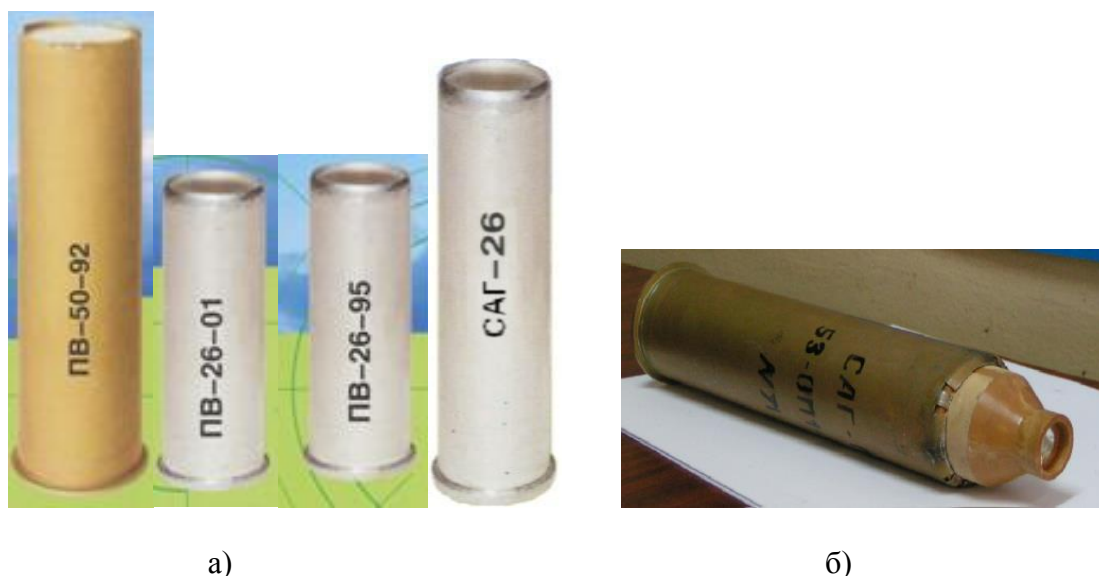
Жидкий азот обычно используется при авиационном засеве облаков, и в отличие от засева гранулами твердой углекислоты генерация ледяных частиц происходит вдоль трассы полета самолета, на котором установлено устройство их диспергирования. В качестве такого устройства используется специально разработанный авиационный генератор ГМЧЛ-А, который путем создания избыточного давления в емкостях с жидким азотом обеспечивает его подачу по трубопроводам в установленный за бортом распылитель, через который он в виде факела, охлажденного до температуры ниже -90°C , вводится в атмосферу. По своей льдообразующей активности жидкий азот практически не уступает твердой углекислоте, а по температурному порогу действия даже немного превышает её. Один грамм жидкого азота может создавать $2 \cdot 10^{13}$ активных ядер кристаллизации при температуре -2°C .

Льдообразующие реагенты и технические средства для их применения. В настоящее время йодистое серебро AgI является одним из наиболее широко используемых реагентов для АВ на облака различных типов. Основой использования аэрозолей йодистого серебра в качестве льдообразующего реагента является то обстоятельство, что кристаллическая структура AgI аналогична структуре естественного льда. Вследствие этого частицы AgI оказываются такими же эффективными льдообразующими ядрами, как и ледяные частицы. На мельчайших частицах аэрозоля AgI происходит образование кристаллов льда в результате сублимации водяного пара при насыщении относительно льда.

Для засева облаков йодистым серебром промышленность России выпускает пиропатроны следующих типов – ПВ-50 калибром 50 мм и ПВ-26 калибром 26 мм.

Для отстрела пиропатронов самолеты оборудуются автоматическими устройствами, которые позволяют выполнять воздействия на самолетах различных типов в течение всего полетного времени. Наряду с отстреливаемыми пиропатронами российской промышленностью выпускаются самолетные аэрозольные генераторы САГ-ПМ-01 калибра 50 мм и САГ-26 калибра 26 мм, обеспечивающие выход льдообразующих ядер с 1 г пиросоостава в количестве 10^{14} – 10^{15} .

На рис. 1 показаны российские пиропатроны и самолетные генераторы йодистого серебра.



а) б)
Рис. 1. Пиропатроны с йодистым серебром (а) и самолетные пиротехнические генераторы (б)

На рис. 2 показаны устройства для установки этих пиропатронов и пиротехнических генераторов на самолетах. Как правило, в качестве этих устройств используются стоящие на самолетах штатные устройства для постановки инфракрасных помех.

Для предотвращения града в России в основном применяется ракетный способ доставки реагента в облака. В качестве реагента, как правило, используются кристаллизующие реагенты на основе йодистого серебра, которые вносятся с целью ускорения укрупнения облачных частиц за счёт реализации коллоидальной, фазовой и конвективной неустойчивостей облачной среды.



а)



б)



в)



г)

Рис. 2. Самолетные устройства для установки пиропатронов ПВ-26 (а, б, г) и ПВ-50 (в)

В настоящее время совместно с промышленностью разработаны противоградовые ракеты «Алазань-6» и «Алазань-9» с пусковыми установками ПУ «Элия» и «Элия-МР».

Однако дальнейшее развитие ракетного метода сдерживается необходимостью создания специализированных служб для борьбы с градом, обладающих соответствующей инфраструктурой (командные пункты, метеорологические радиолокаторы, пункты воздействия, ракетохранилища и др.), что связано с большими затратами, а также необходимостью закрытия воздушного пространства при проведении противоградовых работ.

Вместе с тем известно, что в мире для борьбы с градом весьма эффективно используется самолетный метод воздействия с помощью содержащих йодистое серебро пиропатронов или пиротехнических генераторов, аналогичных упомянутым ранее.

Порошкообразные реагенты и технические средства для их рассеивания. В качестве реагента в работах по подавлению развития конвективных облаков и зон затопленной конвекции используется грубодисперсный порошкообразный реагент. Исследования показали, что эффективность действия порошкообразного реагента существенным образом зависит от состава порошка, его гидрофильности, удельного веса и дисперсности. Очень грубый или слишком тонкий помол приводит к снижению эффективности действия реагента. Оптимальная дисперсность порошка (суммарная поверхность всех частиц единицы его веса), обеспечивающая наиболее высокую степень увлечения падающим аэрозольным облаком окружающего воздуха и облачной массы, составляет примерно $3000 \text{ см}^2/\text{г}$. Этому значению

дисперсности соответствует средний размер частиц, равный около 5 мкм. В большей степени указанным свойствам отвечает обычный строительный цемент, состоящий из природных глиноземов с 4%-ной добавкой гипса. Кроме цемента в качестве реагентов могут использоваться также диатомит, бентонит, белая глина, окись меди, песок с дисперсностью около 3000 см²/г. Наиболее полно перечисленным свойствам соответствует строительный цемент марки 500.

Для порционного введения порошкообразного реагента в облака используются упаковки с принудительным вскрытием, которые сбрасываются с самолета с помощью рольгангов и ленточных транспортеров или специальных ручных приспособлений.

На рис. 3 показан сброс упаковок с самолета Ан-12, а на рис. 4 – устройства для сброса порций порошкообразного реагента с самолета Су-30, а также зафиксирован момент сброса во время испытаний, проведенных в 2006 г. совместно с ЛИИ имени М.М. Громова.



а)



б)

Рис. 3. Подготовленные к сбросу упаковки с порошкообразным реагентом на самолете Ил-18 (а) и Ан-12 (б)



а)



б)

Рис. 4. Устройства для сброса порошкообразных реагентов с самолета Су-30 (а) и момент сброса (б)

Самолеты, используемые при проведении оперативно-производственных работ по искусственному регулированию осадков. В последние двадцать лет в связи с прекращением летных исследований атмосферы и облаков, а также экспериментов по отработке методов воздействия на них использовавшийся для этих целей в СССР парк самолетов-метеолабораторий Госкомгидромета был ликвидирован. Поскольку потребность в работах по активному воздействию на облака с целью искусственного увеличения атмосферных осадков стала носить эпизодический характер, возникла необходимость создания быстросъемной самолетной метеорологической аппаратуры и технических средств воздействия, устанавливае-

мых на самолетах только на время проведения работ по АВ. В результате были определены типы самолетов, которые могут быть использованы для решения этих задач, созданы быстроразъемные комплексы аппаратуры и средств воздействия, разработаны и согласованы с авиационными конструкторскими бюро компоновочные схемы быстроразъемных самолетных комплексов. В табл. 1 приведены основные характеристики этих самолетов.

Таблица 1

Основные характеристики самолетов, используемых при проведении оперативно-производственных работ по искусственному регулированию осадков

Характеристика	Тип самолета						
	Ил-18	Ан-12	Ан-26	Ан-28	Ан-30	М-101Т «Гжель»	Су-30
Взлетная масса, кг	64 000	61 000	24 000	6 500	21 000	3 200	33 000
Крейсерская скорость, км/ч	650	6 000	430	250	430	430	360-2 200
Практический потолок, м	10 000	9 800	7 300	6 000	7 300	8 000	20 000
Максимальная дальность полета при максимальном запасе топлива, км	4 270	4 560	2 340	2 000	2 550	1 400	3 200
Максимальная полезная нагрузка, кг	13 500	18 000	4 100	1 250	5 500	630	7 000

Применяемые в работах по активному воздействию на облака самолеты (Ил-18, Ан-12, Ан-26, Ан-28, Ан-30 и М-101Т «Гжель») имеют практический потолок полета, не превышающий 10 км. В то же время опыт проведения работ по метеорологической защите и искусственному регулированию осадков показывает, что имеется необходимость воздействия на облака большой мощности с высотами верхней границы более 10 км. В связи с этим в 2006 г. совместно с ЛИИ имени М.М. Громова были проведены исследования возможности использования самолета Су-30 для воздействия на облака. Как уже говорилось ранее, в 2006 г. были подготовлены и успешно проведены испытания сброса порошкообразных реагентов с самолета Су-30 с использованием штатных контейнеров КМГУ-2 и отстрела пиропатронов ПВ-50 с йодистым серебром. После проведения этих испытаний самолет Су-30 участвовал в работах по метеорологической защите Москвы для воздействия на облака большой мощности. В 2013 г. Росгидромет обеспечил оборудование и ввод в строй самолета-лаборатории нового поколения Як-42Д «Росгидромет». Он позволил решать широкий спектр научных и прикладных задач геофизического мониторинга, включая мониторинг распространения продуктов природных и техногенных катастроф, исследования физики облаков и динамики атмосферы и активных воздействий.

Управление авиационными работами по воздействию на облака. Достаточно регулярное проведение оперативно-производственных работ по улучшению погодных условий потребовало совершенствования методической базы и способствовало разработке таких руководящих документов, как «Проведение работ по искусственному регулированию погодных условий в мегаполисах» (РД 52.11.677-2006), «Проведение работ по искусственному подавлению развития конвективных облаков самолетными средствами воздействия» (РД 52.11.675-2006), «Комплексная оценка возможных вредных уровней воздействия на окружающую среду при работах по активным воздействиям на гидрометеорологические и геофизические процессы» (РД 52.11.679-2006). В них определены критерии пригодности облаков, технические средства воздействия и реагенты, разработаны алгоритм выполнения работ по метеорологической защите, методики оценки результатов работ и экологических аспектов

применения технологий воздействия. На рис. 5 и 6 представлены алгоритм выполнения работ по метеорологической защите и схема организации таких работ (на примере Москвы).

Управление работами по метеорологической защите осуществляется из создаваемого на время проведения работ Оперативного центра управления, в который стекаются данные учащенного радиозондирования, спутниковая и радиолокационная информация. Здесь же установлена наземная аппаратура системы «Земля–Борт–Земля», с помощью которой осуществляется прием информации о местоположении самолетов, данных самолетного зондирования атмосферы и облаков, информации о воздействии. На экране автоматизированного рабочего места (АРМ) руководителя работами по АВ в реальном масштабе времени отображаются радиолокационная информация об облаках и осадках и траектории полетов самолетов с районами воздействия (рис.7). В свою очередь, радиолокационная информация об облаках и осадках передается из Оперативного центра управления на каждый из находящихся в воздухе самолетов, применяемых для метеорологической защиты.

Крупномасштабные работы по улучшению погодных условий, как правило, проводятся в больших городах, где имеются автоматизированные радиолокационные комплексы, позволяющие получать оперативную радиолокационную информацию об облаках и осадках в районе проведения работ. Вместе с тем возникают ситуации, когда эти работы необходимо осуществить в тех регионах, где либо отсутствует радиолокационная метеорологическая сеть, либо метеорологические радиолокаторы не имеют автоматизированной системы предоставления информации.

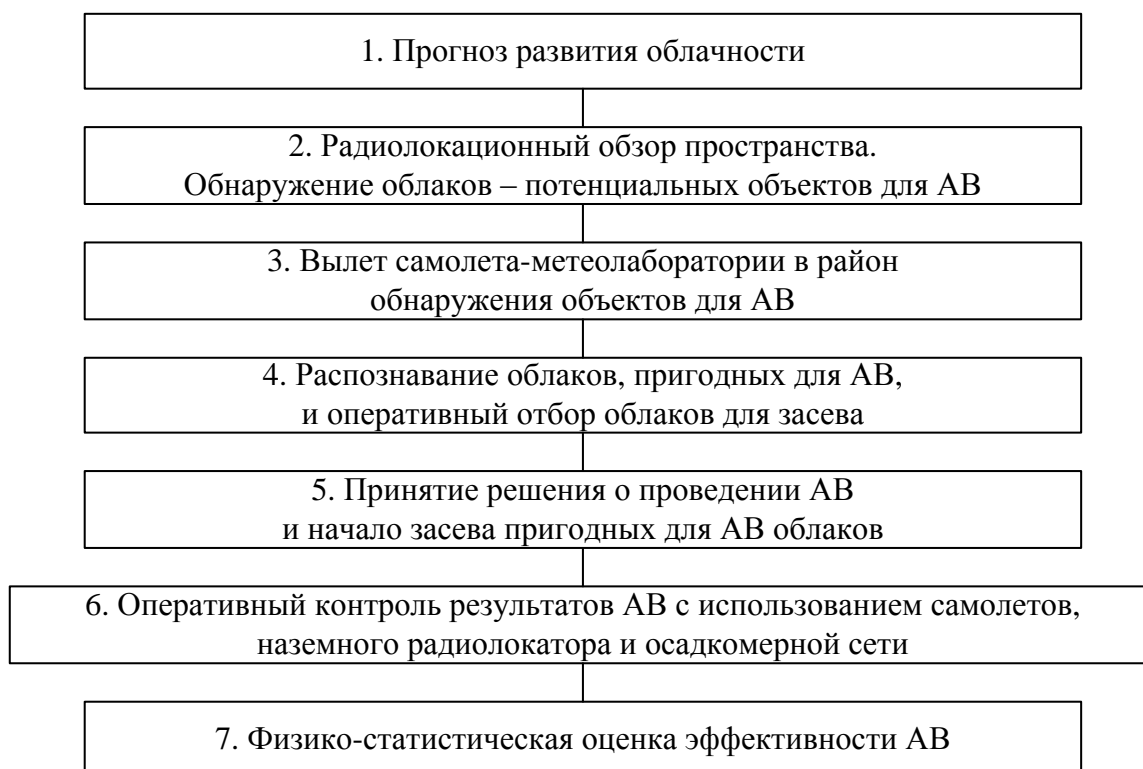


Рис. 5. Алгоритм проведения работ по метеорологической защите

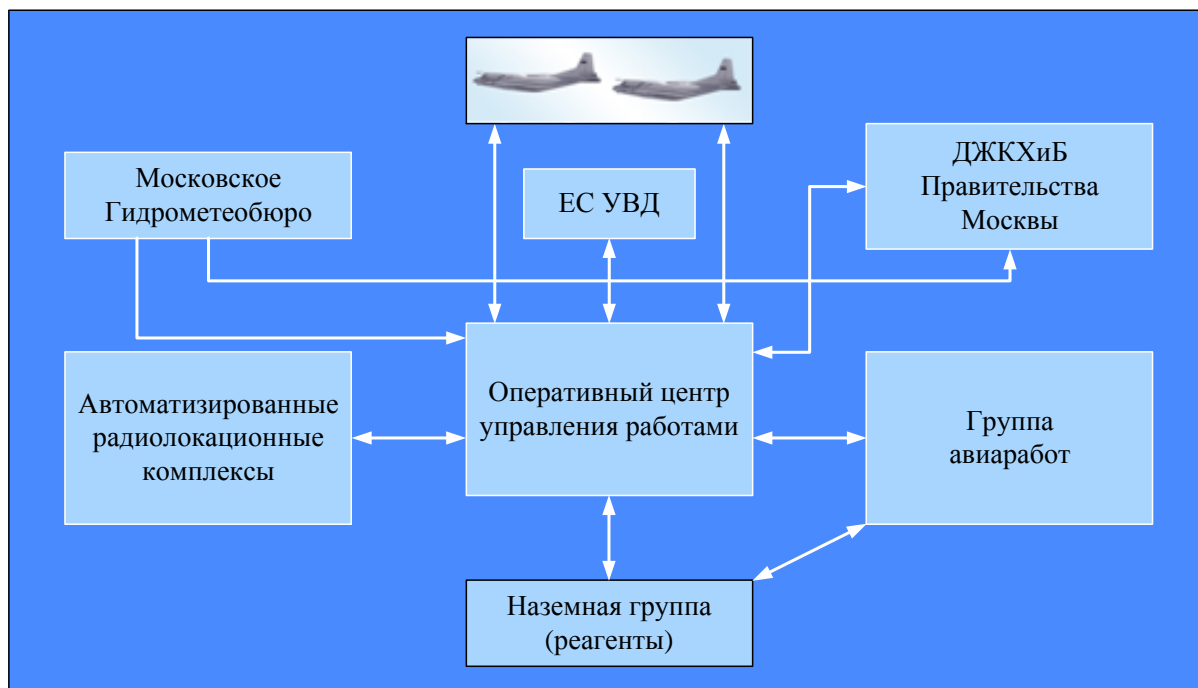


Рис. 6. Схема организации работ по метеорологической защите Москвы

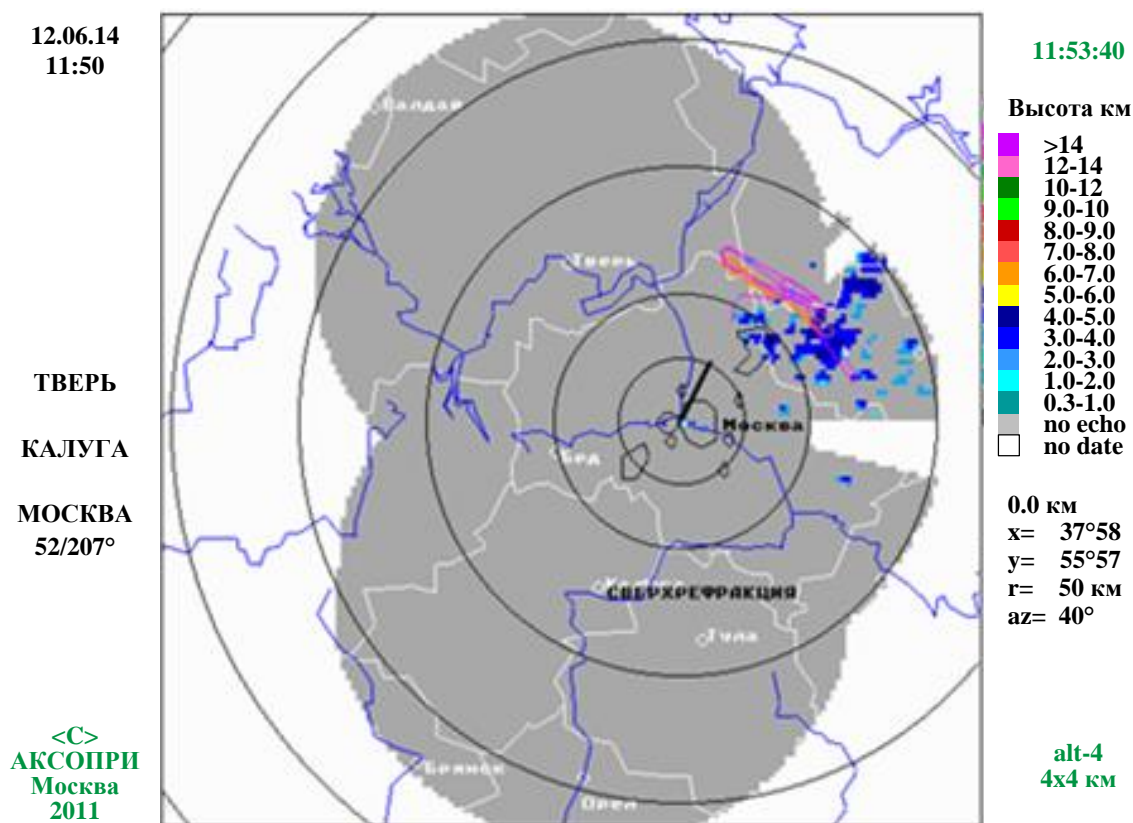


Рис. 7. Отображение радиолокационной обстановки и траекторий самолетов на экране АРМ руководителя работами по АВ

В соответствии с вышеизложенным, можно сделать вывод, что актуальной задачей при проведении работ по искусственному регулированию осадков стало создание мобильного пункта управления работами по АВ на облака, способного обеспечивать управление работами по искусственному регулированию атмосферных осадков в удаленных регионах при от-

сутствии радиолокационной метеорологической информации и централизованного энерго-снабжения. Функциональная схема мобильного пункта управления авиационными работами по АВ на облака показана на рис. 8 [4].

В состав мобильного пункта управления входят:

- мобильный малогабаритный радиолокатор «КОНТУР-МЕТЕО-1»;
- программно-аппаратный комплекс;
- система автономного энергоснабжения.

Пункт управления работами позволяет на экранах программно-аппаратного комплекса одновременно отображать информацию от метеорологических радиолокаторов о состоянии погодных условий (облака, их перемещение и т.д.) и траектории самолетов, производящих АВ. Следовательно, в зависимости от метеорологических условий, с пункта управления работами можно осуществлять коррекцию процесса воздействия на облака.

Программно-аппаратный комплекс включает систему сопряжения с метеорологическим радиолокатором (портативная ПЭВМ со специальным программным обеспечением) и систему обмена данными и голосовой связи с самолетами (портативная ПЭВМ со специальным программным обеспечением, контроллер диспетчерский, две радиостанции и базовая антенна).

Вся аппаратура программно-аппаратного комплекса мобильного пункта управления работами размещается на автомобиле (рис. 8), что позволяет осуществлять его оперативное развертывание в районе проведения работ вдали от магистралей и населенных пунктов.

В состав системы автономного энергоснабжения входят два аккумулятора и два бензиновых генератора (основной и резервный), что обеспечивает непрерывную работу пункта в автономном режиме достаточно продолжительное время.

Мобильный пункт управления работами по АВ на облака, созданный усилиями ученых и промышленности, прошел опытную эксплуатацию в ходе работ по метеорологической защите Москвы в 2011–2012 гг.



Рис. 8. Функциональная схема мобильного пункта управления работами по АВ на облака

Кроме того, на основе мобильных малогабаритных радиолокаторов типа «КОНТУР-МЕТЕО-1» и системы управления АВ возможно создание системы раннего предупреждения об опасных явлениях (ОЯ), связанных с облаками (ливень, гроза, град, смерч, шквал), в труднодоступных и горных районах. Особенно это важно для Северного Кавказа, Причерноморья и Дальнего Востока, подверженных наводнениям, вызываемым катастрофическими ливневыми осадками. Такая система позволит на основе сверхкраткосрочного радиолокационного

прогноза ОЯ принимать необходимые меры безопасности и проводить работы по предотвращению (снижению) ущерба от стихийных явлений.

Результаты работ по модификации погодных условий

В 70–90-е гг. прошлого века российская технология искусственного регулирования атмосферных осадков прошла многолетнюю отработку на метеорологических полигонах в различных климатических зонах. 1986 год явился знаковым для внедрения этой технологии в оперативно-производственные работы: именно в этом году были начаты масштабные оперативно-производственные работы по искусственному регулированию осадков (ИРО) в Ставропольском крае, а авария на Чернобыльской атомной электростанции в апреле 1986 г. явилась тем фактором, который положил начало оперативным работам по предотвращению или уменьшению осадков с целью ликвидации последствий техногенных катастроф [1]. В дальнейшем технологии предотвращения (уменьшения) осадков успешно применялись в России, Казахстане и Узбекистане в работах по метеорологической защите мегаполисов с целью улучшения погодных условий во время проведения политических, культурных и спортивных мероприятий и, начиная с 1995 г., до настоящего времени проведено уже более 60 таких работ.

За указанный период технология ИРО эффективно применялась в работах по увеличению количества осадков в России [Республика Саха (Якутия)], на Кубе, в Португалии, Сирии и Иране.

Более чем полувековой опыт исследовательских и оперативно-производственных работ по ИРО и борьбе с градом в Советском Союзе и Российской Федерации позволил определить эффективность применения созданных технологий. Так, использование технологии искусственного увеличения осадков позволяет увеличить осадки из отдельных облаков на 80–100% и дополнить на 10–30% сезонный слой осадков на значительных территориях; технология борьбы с градом позволяет сократить потери от града на величину до 80%. Анализ результатов крупномасштабных работ по созданию благоприятных погодных условий, выполненных в различных регионах России и ближнего зарубежья, показывает, что российская технология искусственного уменьшения осадков приводит к существенному (в 3 – 10 раз) уменьшению количества осадков на защищаемой территории.

Работы по АВ с целью предотвращения последствий техногенных катастроф. После аварии на Чернобыльской АЭС, сопровождавшейся выбросом радиоактивных веществ (пепла), были организованы работы по искусственному регулированию (точнее, перераспределению) осадков с помощью самолетов, оборудованных средствами воздействия, для предотвращения распространения этих веществ на другие территории [1].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате накопления российскими учеными и специалистами в области работ по искусственному регулированию атмосферных осадков и борьбе с градом значительного опыта на его основе сформировались предпосылки для организации в стране системы обеспечения гидрометеорологической безопасности. Эффективность применения разработанных в России авиационных технологий искусственного регулирования осадков позволяет использовать такие технологии как в борьбе с засухой, катастрофическими ливнями, градом, так и при ликвидации последствий техногенных катастроф. Кроме того, в нашей стране накоплен еще и огромный опыт участия в работах по ИРО, имеются самолеты, которые при минимальной доработке могут быть использованы для метеорологической защиты России.

Для создания системы метеорологической защиты страны необходимо осуществить ряд организационно-технических мероприятий, а именно:

- разработать документы, определяющие порядок взаимодействия Минобороны России и Минприроды России с федеральными и региональными органами исполнительной власти при возникновении угроз природного и техногенного характера, требующих проведения работ по активному воздействию на гидрометеорологические процессы;
- создать в нашей стране межведомственную систему управления работами по воздействию на гидрометеорологические процессы, способную оперативно реагировать при возникновении в России угроз природного и техногенного характера;
- совершенствовать образовательные программы подготовки специалистов в области активного воздействия на гидрометеорологические процессы.

Список используемых источников

1. Опыт проведения работ по искусственному регулированию осадков в целях ослабления последствий аварии на Чернобыльской АЭС / Г.П. Берюлев, Л.П. Зацепина, Л.Б. Зонтов и др. // Труды Всесоюзной конференции по активным воздействиям. Киев, 1987. – Л.: Гидрометеоиздат, 1990. – С. 233–238.
2. Физика облаков / А.М. Боровиков, И.И. Гайворонский, Е.Г. Зак и др. – Л.: Гидрометеоиздат, 1961. – 459 с.
3. *Качурин Л.Г.* Физические основы воздействия на атмосферные процессы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1990. – 336 с.
4. *Колосков Б.П., Корнеев В.П., Щукин Г.Г.* Методы и средства модификации облаков, осадков и туманов. – СПб., 2012. – 341 с.
5. *Федоров Е.К.* Активные воздействия на гидрометеорологические процессы // Вестник АН СССР. – 1962. – № 9. – С. 73–78.

А.А. Абдурахимов,
кандидат техн. наук, доцент

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЕГРАДАЦИИ УЯЗВИМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Сформулированы особенности экспериментального исследования процессов деградации свойств уязвимых элементов космических аппаратов в результате воздействия неблагоприятных факторов космического пространства. Выделено два типа зависимостей результатов воздействия от параметров неблагоприятных факторов. Предложен научно-методический аппарат статистической обработки результатов экспериментальных исследований, представляющий собой развитие теории планирования эксперимента в направлении исследования скачкообразных зависимостей свойств уязвимых элементов от параметров воздействия.

Ключевые слова: космический аппарат, неблагоприятный фактор, деградация уязвимого элемента, планирование эксперимента, регрессионный анализ.

В процессе длительного функционирования космического аппарата (КА) в условиях воздействия неблагоприятных факторов (НФ) околоземного космического пространства (КПр) происходит изменение характеристик конструкции или бортовых систем КА, чувствительных к воздействию рассматриваемых факторов. В дальнейшем изложении эти элементы будут называться уязвимыми. Изменение характеристик уязвимых элементов происходит, как правило, в худшую сторону с точки зрения пригодности элементов к применению по назначению, поэтому такое изменение принято называть деградацией их свойств [1, 2, 3]. Деградация свойств уязвимых элементов при функционировании КА является естественным и неизбежным процессом, который должен учитываться разработчиком на этапе проектирования аппарата, для чего ему необходима модель, позволяющая выполнять оценку степени деградации в результате воздействия НФ:

$$H_{\Lambda} : X_{\mathcal{E}}^0 \times \Lambda_{\mathcal{E}} \rightarrow X_{\mathcal{E}}, \quad (1)$$

где $X_{\mathcal{E}}^0, X_{\mathcal{E}}$ – множество значений векторов характеристик уязвимого элемента до и после воздействия НФ соответственно;

$\Lambda_{\mathcal{E}}$ – факторное пространство, представляющее собой множество возможных значений вектора характеристик НФ.

Построение таких моделей часто осуществляется на основании экспериментальных исследований, в рамках которых строится семейство зависимостей характеристик уязвимых элементов $x = \langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle$ от параметров НФ $\lambda = \langle \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m \rangle$:

$$x_i = h_i(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m), \quad i = 1(1)n, \quad x_{(n)} \in X_{\mathcal{E}}, \quad \lambda_{(m)} \in \Lambda_{\mathcal{E}}. \quad (2)$$

Функциональные зависимости (2) в общем случае являются многомерными, однако для случая исследования влияния факторов космического пространства целесообразно рассматривать частные зависимости отдельных свойств уязвимых элементов x_i от отдельных параметров НФ λ_j , считая остальные его параметры $\lambda_{(m-1)}^c$ неизменными:

$$x_i = h_i(\lambda_j | \lambda_{(m-1)}^c). \quad (3)$$

В такой ситуации анализу подвергается влияние одной ведущей характеристики, как правило, отражающей интенсивность воздействия НФ, определяемую временем активного функционирования КА. Остальные параметры при этом считаются постоянными и выбираются в зависимости от орбиты аппарата.

Анализ процессов взаимодействия НФ с уязвимыми элементами КА [1, 4] позволяет выделить два вида зависимостей характеристик уязвимых элементов от параметров НФ (рис. 1):

- 1) плавное изменение значения показателя свойства уязвимого элемента при изменении отдельного параметра НФ;
- 2) скачкообразное изменение значения показателя свойства уязвимого элемента при превышении параметром НФ некоторого критического значения.

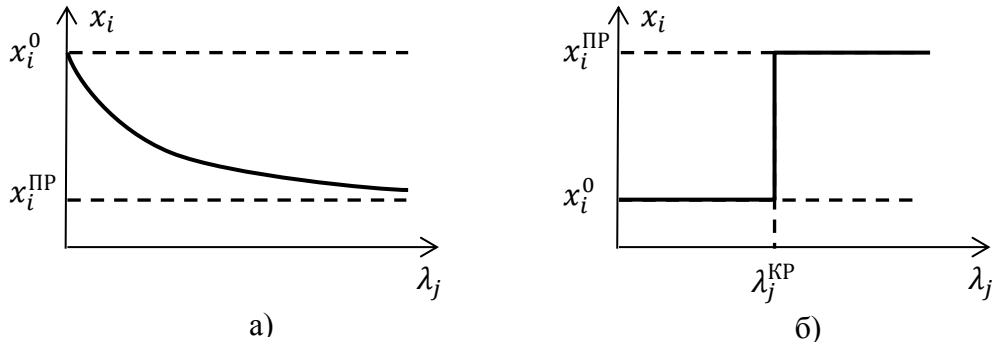


Рис. 1. Виды зависимостей характеристик уязвимых элементов КА от параметров воздействующих факторов:
 а – плавная деградация характеристик уязвимого элемента;
 б – скачкообразная деградация характеристик уязвимого элемента

В обоих случаях изменение значения показателя свойства элемента x_i происходит в пределах от некоторого начального значения x_i^0 до его предельно достижимого для рассматриваемого вида воздействия значения x_i^{PP} . При этом изменение характеристики x_i может происходить как в меньшую (рис. 1, а), так и в большую (рис. 1, б) сторону.

В общем случае зависимость (3) может представлять собой комбинацию нескольких функций, каждая из которых определена на некотором множестве значений параметра НФ Λ_{j_k} , $\Lambda_j = \cup_{k=1}^s \Lambda_{j_k}$. Пример зависимости, включающей в свой состав пять функций, приведен на рис. 2. Вид такой зависимости определяется тремя физическими процессами деградации свойств уязвимого элемента, два из которых определяют плавный вид зависимости, а один – скачкообразный. Зависимость в этом случае описывается выражением следующего вида:

$$h_i(\lambda_j | \lambda_{(m-1)}^c) = \begin{cases} x_{i_1}^0, \lambda_j \notin \Lambda_{j_1} \wedge \lambda_j \leq \lambda_j^{KP}, \\ h_{i_1}(\lambda_j | \lambda_{(m-1)}^c), \lambda_j \in \Lambda_{j_1} \wedge \lambda_j \leq \lambda_j^{KP}, \\ h_{i_3}(\lambda_j | \lambda_{(m-1)}^c), \lambda_j \in \Lambda_{j_3} \wedge \lambda_j \geq \lambda_j^{KP}, \\ x_{i_3}^{PP}, \lambda_j \notin \Lambda_{j_3} \wedge \lambda_j \geq \lambda_j^{KP}. \end{cases} \quad (4)$$

При этом критическое значение показателя λ_j^{KP} является случайной величиной, имеющей некоторый закон распределения $F_{i_2}(\lambda_j)$ (рис. 2).

Результаты воздействия НФ на уязвимые элементы КА в общем случае являются случайными [1, 3, 4]. В этих условиях задачей экспериментального исследования функционирования уязвимых элементов КА в условиях воздействия НФ становится получение законов распределения случайных характеристик уязвимых элементов КА при различных параметрах НФ и построение на их основе моделей (2), связывающих между собой эти переменные, а представление зависимости (4) трансформируется в зависимость математического ожидания характеристики уязвимого элемента от параметра НФ, описываемую статистической моделью вида

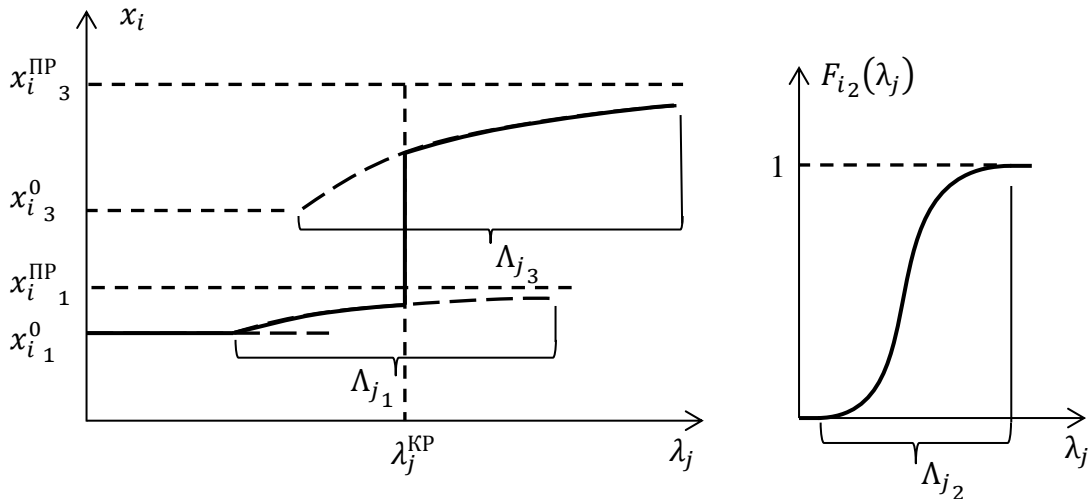


Рис. 2. Общий вид зависимости свойств уязвимых элементов КА при воздействии

$$F_i(x_i, \lambda_j | \lambda_{(m-1)}^C) = \begin{cases} \Delta(x_i - x_{i_1}^0), \lambda_j \notin \Lambda_{j_1} \wedge \lambda_j \leq \lambda_j^{KP}, \\ F_{i_1}(x_i, \lambda_j | \lambda_{(m-1)}^C), \lambda_j \in \Lambda_{j_1} \wedge \lambda_j \leq \lambda_j^{KP}, \\ F_{i_3}(x_i, \lambda_j | \lambda_{(m-1)}^C), \lambda_j \in \Lambda_{j_3} \wedge \lambda_j \geq \lambda_j^{KP}, \\ \Delta(x_i - x_{i_3}^{PP}), \lambda_j \notin \Lambda_{j_3} \wedge \lambda_j \geq \lambda_j^{KP}. \end{cases} \quad (5)$$

где $F_i(x_i, \lambda_j | \lambda_{(m-1)}^C)$ – семейство законов распределения случайной величины x_i для различных значений одного из параметров, характеризующих НФ λ_j , при известных и фиксированных значениях остальных характеристик фактора $\lambda_{(m-1)}^C$;

F_{i_1}, F_{i_3} – семейства законов распределения, соответствующие отдельным физическим процессам деградации свойств уязвимого элемента (рис. 2), определенные на множествах значений $\lambda_j \in \Lambda_{j_1}$ и $\lambda_j \in \Lambda_{j_3}$ соответственно.

Неопределенность результатов повреждения уязвимых элементов КА носит стохастический характер, поэтому для построения законов распределения случайных величин $F_i(x_i | \lambda_{(m)}^C)$, составляющих семейства F_{i_1}, F_{i_3} , используется выборочный метод. В этом случае закон распределения случайной величины x_i при некоторых фиксированных значениях $\lambda_{(m)}^C$ определяется на основе случайной выборки $\hat{x}_{i(n)} = \langle \hat{x}_{i_1}, \hat{x}_{i_2}, \dots, \hat{x}_{i_n} \rangle$, реализация которой $x_{i(n)} = \langle x_{i_1}, x_{i_2}, \dots, x_{i_n} \rangle$ используется для получения так называемых статистик $s_i = f(x_{i(n)})$, определяющих закон распределения $F_i(x_i | \lambda_{(m)}^C)$.

Экспериментальное исследование функционирования уязвимых элементов КА в условиях воздействия факторов КПр отличается высокой трудоемкостью, большими временными затратами и, соответственно, высокой стоимостью проведения экспериментов. Поэтому построение зависимостей изменения характеристик уязвимых элементов от параметров НФ (3) осуществляют на выборках малого объема. В соответствии с общепринятым определением [5, 6] однородная выборка $\langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle$ считается малой, если ее объем n недостаточен для оценивания характеристики случайного объекта с требуемыми точностью и надежностью. В этом случае необходимое качество результатов исследования должно достигаться за счет использования априорной информации, полученной на подготовительном этапе анализа физических процессов взаимодействия НФ с материалами. Основным результатом такого анализа становится определение класса функций для описания зависимостей $h_{i(k)}(\lambda_j, \lambda_{(m-1)}^C)$, а также границ исследуемого диапазона значений характеристик НФ $\Lambda_{j(k)}$ и предельных зна-

чений характеристик изменения параметров $x_{ij}^0, x_{ij}^{PP}, j = 1 \dots k$ уязвимых элементов для каждого процесса деградации их свойств.

Важной априорной информацией для построения законов распределения является вид исходных законов. Так как величина x_i представляет собой количественную характеристику свойства уязвимого элемента, то ее закон распределения в зависимости от наличия априорной информации о виде закона распределения может быть представлен в параметрической или непараметрической форме. Определение вида закона распределений может быть выполнено на основе анализа факторов, определяющих случайный характер результатов воздействия. В большинстве практических случаев на основе центральной предельной теоремы теории вероятности может быть обоснован выбор нормального закона распределения. Кроме того, в теории вероятности развиты методы выбора и проверки гипотез о законах распределения [7, 8]. В частности для выбора первоначальной гипотезы о законе распределения предлагается методика [5, 8], в соответствии с которой решение принимается на основе анализа соотношения оценок коэффициентов асимметрии \tilde{a}_x и эксцесса \tilde{e}_x , вычисленных из экспериментально полученной выборки $x_{(n)}$.

Таким образом, задача экспериментального исследования влияния воздействия НФ на характеристики фрагментов уязвимых элементов КА может быть сведена к определению параметров законов распределения характеристик уязвимых элементов при различных значениях параметров НФ.

Поскольку в результате экспериментальных исследований определяется не сама величина математического ожидания M_x , а ее статистическая оценка \tilde{M}_x , то зависимость параметра распределения от параметра НФ должна сопровождаться информацией о точности полученных оценок. Точность оценки математического ожидания случайной величины является мерой ее соответствия математическому ожиданию самой величины. Учитывая особенности решаемой задачи и дальнейшего применения полученных результатов, целесообразным представляется использование вероятностного показателя точности оценки значений параметров закона распределения, который характеризуется взаимозависимой парой параметров: шириной доверительного интервала ε_M , в котором находится истинное значение с доверительной вероятностью β_M :

$$\beta_M(\lambda_j) = P(|\tilde{M}_x(\lambda_j) - M_x(\lambda_j)| < \varepsilon_M). \quad (6)$$

Знак $\tilde{}$ в формулах используется для обозначения оценок характеристик случайной величины \hat{x} , полученных на основе имеющейся выборки $x_{(n)}$.

В ходе экспериментального исследования влияния воздействия НФ на характеристики уязвимых элементов со сложным характером зависимости изменения свойств, обусловленным различием в физических процессах деградации свойств уязвимых элементов КА, необходимо отдельно исследовать происходящие процессы и соответствующие им зависимости с целью получения достаточно качественных результатов с минимальными затратами на выполнение экспериментальных исследований. При этом для различных видов зависимостей методики обработки результатов экспериментов будут несколько отличаться.

Для случая плавного изменения свойств фрагмента при изменении параметров НФ математическая модель деградации свойств уязвимого элемента может быть представлена одним из способов [5]:

1. Функциональная зависимость от неслучайных факторов:

$$\hat{x} = h(\lambda_{(m)}) + \delta, \quad (7)$$

где δ – ошибка наблюдения результата.

2. Функциональная зависимость от случайных факторов:

$$\hat{x} = h(\hat{\lambda}_{(m)}). \quad (8)$$

3. Стохастическая зависимость от неслучайных факторов:

$$\hat{x} = \hat{h}(\lambda_{(m)}). \quad (9)$$

4. Полная стохастическая зависимость:

$$\hat{x} = \hat{h}(\hat{\lambda}_{(m)}). \quad (10)$$

При организации экспериментальных исследований модель деградации необходимо, по возможности, свести к вариантам представления (7) или (9), что позволит извлечь максимум информации из результатов экспериментов. Модели вида (8) или (10) используются тогда, когда при проведении эксперимента не удастся точно определить прямыми или косвенными измерениями значения показателей воздействующих факторов.

Для построения моделей вида (7) и (8) удовлетворительные результаты дает применение метода наименьших квадратов, так как эти модели, в которых случайность обусловлена погрешностью измерений, после отсеивания результатов с грубыми ошибками измерений удовлетворяют допущениям, сопутствующим методу [5, 9, 10]. Суть метода заключается в минимизации суммы квадратов отклонений результатов наблюдений $x_{(n)}$ от искомой зависимости $h(\lambda)_{(n)}$:

$$a = \arg \min_{a \in A} \left(\sum_{i=1}^n (x_i - h(\lambda_i))^2 \right), \quad (11)$$

где $\langle x_i, \lambda_i \rangle$ – результаты i -го опыта;

n – количество выполненных опытов;

σ_x – среднеквадратичное отклонение наблюдаемой величины;

a – вектор параметров функции $h(\lambda)$;

A – множество допустимых значений вектора a .

Для линейных и некоторых типовых классов функций $h(\lambda)$ разработаны аналитические решения [9, 10, 11], позволяющие вычислить коэффициенты искомой зависимости, но в практических задачах вид этой зависимости часто принимает более сложную форму. В этом случае задача (11) решается численными методами.

Для решения задачи вида (9) используются методы регрессионного анализа, а для задачи (10) – дисперсионного. При наличии ошибок одновременно и в результатах наблюдения характеристик уязвимых элементов и параметров НФ для исследования зависимости (3) могут использоваться методы конфлюэнтного анализа [8, 12].

Использование регрессионного анализа подразумевает замену стохастической зависимости \hat{h} некоторой детерминированной зависимостью h , хорошо аппроксимирующей основные свойства исходной зависимости. При этом в качестве характеристик случайной величины \hat{x} целесообразно использовать параметры ее закона распределения, в качестве одного из которых часто выступает условное математическое ожидание $M(\hat{x}|\lambda_{(m)})$ случайной величины \hat{x} при условии, что параметры НФ приняли значения $\lambda_{(m)}$:

$$M(\hat{x}|\lambda_{(m)}) = h_M(\lambda_{(m)}). \quad (12)$$

Для построения искомых зависимостей параметров законов распределений от значений параметров НФ необходимо в пределах исследуемого факторного пространства получить несколько сечений случайной функции \hat{h} . Для этого при k фиксированных значениях параметров $\lambda_{(m)}$ необходимо экспериментально получить выборки реализаций случайной величины \hat{x} . Размерность этих выборок n_l ($l = 1 \dots k$) в общем случае может быть различной в зависимости от требуемой точности оценки параметров закона распределения и дисперсии случайной величины \hat{x} .

Оценка математического ожидания случайной величины \hat{x} при некоторых фиксированных значениях $\lambda_{(m)_k}$ может быть получена как среднее значение результатов наблюдения $x_{k(n_k)}$:

$$\tilde{M}(\hat{x}|\lambda_{(m)_k}) = \frac{\sum_{i=1}^{n_k} x_{ki}}{n_k}. \quad (13)$$

Оценка дисперсии случайной величины \hat{x} , полученная на основании выборки $x_{k(n_k)}$, определяется выражением:

$$\tilde{\sigma}^2(\hat{x}|\lambda_{(m)_k}) = \frac{\sum_{i=1}^{n_k} (x_{ki} - \tilde{M}(\hat{x}|\lambda_{(m)_k}))^2}{n_k - 1}. \quad (14)$$

Математическое ожидание и дисперсия случайной величины являются параметрами нормального закона распределения, часто встречающегося в решении задач оценки результатов воздействия НФ на уязвимые элементы КА. Аналогично, используя выборки $\{x_{k1}, x_{k2}, \dots, x_{kn_k}\}$, могут быть получены оценки параметров других законов распределений величины \hat{x} .

Необходимый размер выборки экспериментальных данных определяется исходя из необходимой точности оценок искомых параметров распределений. Для достижения необходимых границ доверительного интервала ε_M при заданной надежности β_M необходимое количество опытов составляет:

$$n_k \geq \left(\frac{\tilde{\sigma}(\hat{x}|\lambda_{(m)_k})}{\varepsilon_M} t_{\beta, n_k - 1} \right)^2. \quad (15)$$

где $t_{\beta, n_k - 1}$ – значение коэффициента Стьюдента для уровня значимости, определяемого доверительной вероятностью β_M , и $n_k - 1$ степеней свободы.

Обеспечение равной для всех выборок дисперсии параметров законов распределения, необходимой для применения метода наименьших квадратов, часто оказывается сопряжено с возникновением ряда сложностей в планировании процесса экспериментальных исследований и необходимостью выполнения избыточного количества опытов. Этого недостатка лишен метод построения регрессионных зависимостей, основанный на применении принципа максимума правдоподобия, заключающегося в максимизации функции правдоподобия, определяющей вероятность реализации набора экспериментальных данных:

$$L = \prod_{k=1}^l \frac{1}{\tilde{\sigma}_M(\lambda_{(m)_k}) \sqrt{2\pi}} \exp \left(- \sum_{k=1}^l \frac{(\tilde{M}(\hat{x}|\lambda_{(m)_k}) - h_M(\lambda_{(m)_k}))^2}{2\tilde{\sigma}_M^2(\lambda_{(m)_k})} \right). \quad (16)$$

Логарифмирование обеих частей (16) позволяет упростить правую часть выражения, при этом положения экстремумов функции не изменятся, так как положения экстремумов функции и ее логарифма совпадают:

$$2 \ln L = - \ln 2\pi - \sum_{k=1}^l \tilde{\sigma}_M^2(\lambda_{(m)_k}) - \sum_{k=1}^l \frac{(\tilde{M}(\hat{x}|\lambda_{(m)_k}) - h_M(\lambda_{(m)_k}))^2}{\tilde{\sigma}_M^2(\lambda_{(m)_k})}. \quad (17)$$

В случае, если функция $h_M(\lambda_{(m)})$ дифференцируема по своим параметрам, то экстремум функции (17) может быть найден дифференцированием. В противном случае экстремум ищется численными методами. Аналогично (11):

$$a = \operatorname{argmin}_{a_{(p)} \in A_M} \left(\sum_{k=1}^l \frac{(\tilde{M}(\hat{x}|\lambda_{(m)_k}) - h_M(\lambda_{(m)_k}))^2}{\tilde{\sigma}_M^2(\lambda_{(m)_k})} \right), \quad (18)$$

где A_M – множество допустимых значений параметров функции $h_M(\lambda_{(m)})$.

Аналогичным образом могут быть получены зависимости других параметров закона распределения, характеризуемого плотностью $f_s(x_i|\lambda_j)$.

Выполнение регрессионного анализа подразумевает выполнение оценки точности аппроксимации реальной зависимости (9) или (10) полученными функциями, определяющими каче-

ство уравнения регрессии. Вопросы оценивания качества уравнения регрессии широко освещены в специальной литературе [5, 9, 11].

В процессе выполнения экспериментальных исследований сложных (обусловленных несколькими физическим явлениями) процессов деградации свойств уязвимых элементов КА возможна ситуация, когда при одних и тех же параметрах НФ λ_j возможно протекание различных физических процессов при условии, что $\lambda_j \in \Lambda_j^{\Pi} = \Lambda_{j_1} \cap \Lambda_{j_3}$ (см. рис. 2). Принадлежность полученной точки к той или иной части зависимости определяется реализацией в опыте случайной величины $\hat{\lambda}_j^{\text{KP}}$.

Для корректного построения зависимостей (3) всё множество результатов экспериментальных исследований, полученных в диапазоне значений параметра НФ $\lambda_j \in \Lambda_j^{\Pi}$, должно быть разбито на подмножества, каждое из которых содержит результаты, соответствующие одному физическому процессу плавной деградации характеристик уязвимого элемента. При этом деление выборки на подмножества целесообразно выполнять отдельно для каждой группы опытов $x_{k(n_k)}$, соответствующей некоторому значению вектора параметров НФ $\lambda_{(m)_k}$. На первом этапе элементы выборки $x_{k(n_k)}$ следует ранжировать по величине:

$$\check{x}_{k(n_k)} = \langle x_{k\bar{1}}, x_{k\bar{2}}, \dots, x_{k(n_k)} \rangle, x_{k\bar{r}} \leq x_{k\bar{r+1}}, r = 1 \dots (n_k - 1). \quad (19)$$

Для определения принадлежности результатов отдельных опытов к группе необходимо выполнить статистическую проверку конкурирующих гипотез распределения результатов по группам. В общем случае количество гипотез будет зависеть от размера вариационного ряда $\check{x}_{k(n_k)}$ и количества групп, соответствующего количеству физических явлений деградации характеристик уязвимых элементов m_{Γ} , которые могут происходить при значениях параметров НФ $\lambda_{(m)_j}$:

$$n_{\Gamma} = C_{n_k + m_{\Gamma} - 1}^{n_k} = \frac{(n_k + m_{\Gamma} - 1)!}{n_k! (m_{\Gamma} - 1)!}. \quad (20)$$

Для рассматриваемого примера, в котором любому $\lambda_j \in \Lambda_j^{\Pi}$ соответствует возможность реализации одного из двух исходов опыта, может быть сформировано $n_k + 1$ гипотез.

Выбор гипотезы осуществляется на основе статистического анализа выборки $\check{x}_{k(n_k)}$. В случаях, когда известен только условный закон распределения результатов опытов, для осуществления выбора также может быть использован принцип максимума правдоподобия [5], в соответствии с которым наиболее подходящей является та гипотеза, реализация которой имеет наибольшую вероятность, рассчитанную на основе статистик, полученных из экспериментальных данных. Вероятность распределения множества $\check{x}_{k(n_k)}$ описывается функцией правдоподобия:

$$L(r_{(m_{\Gamma})}) = \prod_{p=1}^{m_{\Gamma}} \prod_{i=0}^{p-1} f_{S_p}(x_{k\bar{r}_p+i} | \lambda_{(m)_k}), \quad (21)$$

где $r_{(m_{\Gamma})}$ – ранги элементов вариационного ряда $\check{x}_{k(n_k)}$, являющихся первыми членами соответствующих групп;

$f_{S_p}(x_{k\bar{r}_p+i} | \lambda_{(m)_k})$ – плотности распределения характеристик поврежденного элемента для различных p -х зависимостей при известных параметрах воздействия $\lambda_{(m)_k}$.

Для распространенного случая с двумя вариантами зависимости (3), представленного на рис. 2, выражение (21) примет вид:

$$L(r_{\Gamma}) = \prod_{i=1}^{r_{\Gamma}-1} f_{S_1}(x_{ki} | \lambda_{(m)_k}) \prod_{i=r_{\Gamma}}^{n_k} f_{S_3}(x_{ki} | \lambda_{(m)_k}), \quad (22)$$

где r_1 – ранг первого элемента вариационного ряда $\check{x}_{k(n_k)}$, относящегося к группе, принадлежащей зависимости $h_3(\lambda_j)$. Поиск наиболее правдоподобного варианта распределения в данном случае без труда может быть выполнен перебором гипотез.

Определение вида закона распределения и его параметров на основе полученных выборок рассмотрено выше. Здесь необходимо отметить, что получению оценок параметров законов распределений результатов воздействия НФ должна предшествовать проверка выделенных для каждой группы выборок на наличие в их составе аномальных результатов, вызванных грубыми ошибками измерений, нарушением условий проведения экспериментов, отклонениями характеристик исследуемых образцов от их номинальных значений и т. д. Методы таких проверок известны и широко представлены в специальной литературе [5, 6, 9, 10].

Экспериментальное исследование скачкообразного изменения характеристик уязвимого элемента в результате достижения параметром НФ λ_j некоторого критического значения $\hat{\lambda}_j^{KP}$ сводится к получению с требуемой точностью закона распределения случайной величины $\hat{\lambda}_j^{KP} F_{i_2}(\lambda_j | \lambda_{\Xi(m-1)}^C)$ (см. рис. 2). При этом выбор методики получения закона распределения обусловлен необратимым характером изменений в материалах уязвимых элементов КА, происходящих под действием НФ, даже в случае, когда уровень воздействия не достигает критического значения $\lambda_j < \hat{\lambda}_j^{KP}$. В этих условиях результатом очередного опыта может быть только вывод о том, превысило ли реализованное в опыте значение параметра НФ λ_{ji} реализацию критического значения λ_j^{KP} для испытываемого образца. Сама же реализация критического значения параметра НФ для исследуемого образца не может быть определена в результате эксперимента. Закон распределения в этом случае может быть построен на основе результатов экспериментов, представленных вариационными рядами (19). Если для каждой выборки выполнена процедура деления ее элементов на группы, и для каждой группы определено количество относящихся к ней результатов опытов, то может быть построена многомерная выборочная функция распределения:

$$F_{\hat{\lambda}^{KP} p}^*(\lambda_k | \lambda_{\Xi(m-1)}^C) = \frac{\dot{r}_{(p+1)k} - \dot{r}_{pk}}{\dot{n}_k}, \quad (23)$$

где \dot{r}_{pk} – ранг первого элемента вариационного ряда $\check{x}_{k(n_k)}$, относящегося к p -ой группе после того, как из выборки были отброшены экспериментальные результаты, содержащие грубые ошибки;

\dot{n}_k – число элементов выборки $\check{x}_{k(n_k)}$ после того, как из нее были отброшены экспериментальные результаты, содержащие грубые ошибки.

Для рассматриваемого примера сложной зависимости, содержащей три функции (см. рис. 2), выборочная функция примет следующий вид:

$$F_{\hat{\lambda}^{KP}}^*(\lambda_j | \lambda_{\Xi(m-1)}^C) = \begin{cases} \frac{\dot{r}_{\Gamma_1} - 1}{\dot{n}_1} & \text{при } \lambda_j = \lambda_{j1}, \\ \frac{\dot{r}_{\Gamma_2} - 1}{\dot{n}_2} & \text{при } \lambda_j = \lambda_{j2}, \\ \vdots & \\ \frac{\dot{r}_{\Gamma_l} - 1}{\dot{n}_l} & \text{при } \lambda_j = \lambda_{jl}. \end{cases} \quad (24)$$

где $\dot{r}_{\Gamma k}$ – ранг первого элемента вариационного ряда $\check{x}_{k(n_k)}$, относящегося к группе, принадлежащей зависимости $h_3(\lambda_j)$ после того, как из выборки были отброшены экспериментальные результаты, содержащие грубые ошибки;

\dot{l} – число рядов $\check{x}_{k(n_k)}$, построенных в диапазоне $\lambda_j \in \Lambda_j^{\Pi}$.

Для получения аналитического представления закона распределения необходимо определить класс закона и его параметры. Класс закона должен определяться на основе априорной

информации, полученной по результатам анализа физических процессов, ведущих к деградации уязвимого элемента. В большинстве случаев, опираясь на центральную предельную теорему теории вероятности, может быть принята гипотеза о нормальном законе распределения [5, 7], так как критическое значение параметра НФ, ведущее к скачкообразному изменению свойств уязвимого элемента, определяется целым рядом независимых факторов технологического происхождения, величина каждого из которых ограничена технологическими допусками, и при отсутствии конструктивных просчетов дисперсии этих факторов будут иметь один и тот же порядок, а вклад каждого из факторов в формирование исследуемой величины будет иметь малое (ограниченное) значение. В любом случае после определения параметров закона необходимо выполнить статистическую проверку гипотезы о выборе закона распределения, методика которой широко представлена в литературе [5, 6, 8, 10].

Вероятность появления набора событий, представленных выборками $\check{x}_{k\langle n_k \rangle}$, описывается биномиальной функцией распределения вероятности:

$$B(k) = \frac{n!}{(n-k)!k!} p^k (1-p)^{n-k}, \quad (25)$$

где n – число опытов. Для каждой выборки $\check{x}_{k\langle n_k \rangle}$ оно может принимать свое значение $n = \dot{n}_k$;

p – вероятность достижения успеха в опыте. Для случая построения закона распределения критического значения НФ эта вероятность определяется искомой функцией распределения $F_{\hat{\lambda}_{\text{КР}}}$;

k – число успешных опытов. Для выборок $\check{x}_{k\langle n_k \rangle}$ это число определяется из ранга первого элемента связки успешных опытов $k = \dot{n}_k - \dot{r}_{\Gamma_k} + 1$.

Тогда функция правдоподобия для определения параметров закона распределения примет вид:

$$L(a) = \prod_{k=1}^i \left(\frac{\dot{n}_k!}{(\dot{r}_{\Gamma_k} - 1)! (\dot{n}_k - \dot{r}_{\Gamma_k} + 1)!} F_{\hat{\lambda}_{\text{КР}}}(\lambda_j)^{\dot{n}_k - \dot{r}_{\Gamma_k} + 1} \cdot \left(1 - F_{\hat{\lambda}_{\text{КР}}}(\lambda_j) \right)^{\dot{r}_{\Gamma_k} - 1} \right), \quad (26)$$

где $a_{(p)}$ – параметры закона распределения $F_{\hat{\lambda}_{\text{КР}}}$.

В случае, если функция $F_{\hat{\lambda}_{\text{КР}}}(\lambda_{jk} | \lambda_{\mathfrak{Z}\langle m-1 \rangle}^C)$ дифференцируема по своим параметрам, то параметры закона распределения могут быть найдены дифференцированием функции правдоподобия $L(a)$:

$$\frac{\partial L(a)}{\partial a_1} = 0, \quad \frac{\partial L(a)}{\partial a_2} = 0, \quad \dots, \quad \frac{\partial L(a)}{\partial a_p} = 0. \quad (27)$$

Точность построения закона распределения $F_{\hat{\lambda}_{\text{КР}}}(\lambda_{jk} | \lambda_{\mathfrak{Z}\langle m-1 \rangle}^C)$ будет зависеть от точности получения оценок, определяемой количеством экспериментов, составляющих выборки $\check{x}_{i\langle \dot{n}_k \rangle}$. Для получения требуемой доверительной вероятности оценки количество экспериментов должно отвечать следующему условию:

$$n_k \geq \frac{F_{\hat{\lambda}_{\text{КР}}}(\lambda_j) (1 - F_{\hat{\lambda}_{\text{КР}}}(\lambda_j))}{\varepsilon^2} t_{\beta, n_k - 1}^2 \approx \frac{F_{\hat{\lambda}_{\text{КР}}}(\lambda_j) (1 - F_{\hat{\lambda}_{\text{КР}}}(\lambda_j))}{\varepsilon^2} t_{\beta, \dot{n}_k - 1}^2. \quad (28)$$

Это условие должно приниматься в расчет совместно с условием (15) для проведения серий экспериментов в диапазоне значений $\lambda_j \in \Lambda_j^{\Pi}$.

Доверительный интервал полученной оценки математического ожидания критического значения НФ λ_j определяется из анализа полученного закона распределения $F_{\hat{\lambda}_{\text{КР}}}(\lambda_j)$:

$$\varepsilon_{\lambda_{\text{КР}}} = \frac{\sigma_{\lambda_{\text{КР}}}}{\sqrt{i}} t_{\beta, i-1}, \quad (29)$$

где $\sigma_{\lambda_{\text{КР}}}$ – среднеквадратичное отклонение случайной величины $\hat{\lambda}^{\text{КР}}$, определенное из закона $F_{\hat{\lambda}^{\text{КР}}}(\lambda_j)$.

Достижение требуемого доверительного интервала возможно за счет увеличения числа \hat{l} значений параметра НФ, при которых производятся серии опытов. Для требуемого числа серий экспериментов может быть записано выражение

$$\hat{l} \geq \left(\frac{\sigma_{\lambda^{\text{КР}}}}{\varepsilon_{\lambda^{\text{КР}}}} t_{\beta, \hat{l}-1} \right)^2. \quad (30)$$

Представленный подход к планированию экспериментальных исследований воздействия НФ на уязвимые элементы КА и обработке их результатов имеет два важных преимущества перед широко применяемыми в подобных случаях универсальными методами регрессионного анализа. Назовем их:

1. Выделение различных физических процессов изменения характеристик уязвимых элементов КА в результате воздействия факторов КПр и соответствующих им участков зависимостей деградации свойств уязвимых элементов (2) позволяет более точно определить вид регрессионных функций и снизить за счет этого объем необходимых экспериментальных исследований на 15–40 %.

2. Представление результатов исследований в виде семейства законов распределения характеристик поврежденных уязвимых элементов (5) дает возможность более полно использовать экспериментальные данные в ходе дальнейшего моделирования функционирования КА в условиях воздействия НФ.

Список используемых источников

1. *Ермолаев В.И., Езерский В.В., Полетаев Б.И.* Бортовое оборудование космических аппаратов: учебник для вузов. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2009. – 507 с.
2. *Гуцин В.Н.* Основы устройства космических аппаратов: учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 2003. – 272 с.
3. *Авдугевский В.С., Успенский Г.Р.* Космическая индустрия. – М.: Машиностроение, 1989. – 568 с.
4. *Феоктистов К.П.* Космическая техника. Перспективы развития: учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997. – 172 с.
5. Статистические методы обработки результатов наблюдений: учебник для вузов / под ред. Р.М. Юсупова. – МО СССР, 1984. – 563 с.
6. Статистический анализ данных, моделирование и исследование вероятностных закономерностей. Компьютерный подход: монография / Б.Ю. Лемешко, С.Б. Лемешко, С.Н. Постовалов, Е.В. Чимитова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. – 888 с.
7. *Пугачёв В.С.* Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Наука, 1979. – 496 с.
8. *Хан Г., Шапиро С.* Статистические модели в инженерных задачах. – М.: Мир, 1969. – 395 с.
9. *Жигилей В.С.* Основы теории планирования многофакторных испытаний: учебное пособие. – 2-е изд. – СПб.: ВИКИ, 1994. – 109 с.
10. *Налимов В.В., Чернова Н.А.* Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. – М.: Наука, 1965. – 341 с.
11. *Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В.* Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
12. *Грешин А. А.* Математические методы принятия решений: учеб. пособие для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 584 с.

А.А. Абдурахимов,
кандидат техн. наук, доцент;
Д.В. Скворцов,
кандидат техн. наук

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕГРАДАЦИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ УЯЗВИМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

Выполнен анализ особенностей деградации свойств крупногабаритных уязвимых элементов космических аппаратов в результате воздействия неблагоприятных факторов космического пространства, на основании которого обоснована необходимость формирования нового подхода к оценке характеристик поврежденных крупногабаритных элементов. Введены новые понятия крупногабаритного уязвимого элемента, элементарного фрагмента крупногабаритного уязвимого элемента и интегральной характеристики крупногабаритного уязвимого элемента. Предложен экспериментально-теоретический метод расчета интегральных характеристик крупногабаритных элементов космических аппаратов, поврежденных в результате воздействия факторов космического пространства.

Ключевые слова: космический аппарат, факторы космического пространства, крупногабаритный элемент, результаты воздействия.

Современный космический аппарат (КА) представляет собой сложную техническую систему, нормальное функционирование которой обеспечивается рядом бортовых систем. В процессе функционирования КА на эти системы действуют различные факторы космического пространства (ФКП), что становится причиной деградации характеристик отдельных элементов КА. По существующим оценкам, порядка половины сбоев и отказов аппаратуры КА происходит вследствие воздействия ФКП (корпускулярной радиации, электромагнитного излучения, метеорных тел, мелкого космического мусора). В основном воздействию подвергаются внешние элементы систем КА, такие как антенно-фидерные устройства, солнечные батареи, радиационные теплообменники, оптические элементы целевых и служебных систем КА и другие уязвимые элементы. Результатом подобного воздействия является ухудшение качества функционирования бортовых систем, прежде всего целевых систем КА, системы электроснабжения и системы обеспечения теплового режима. Тенденция увеличения сроков активного функционирования современных КА обуславливает важность учета этого фактора при их проектировании.

Решение задачи анализа результатов воздействия ФКП на КА предполагает проведение основанных на комплексном подходе исследований взаимосвязанных процессов, к числу которых относятся: внешнее воздействие на систему, результатом которого становится повреждение ее уязвимых элементов, реакция системы на это воздействие и функционирование системы после воздействия.

В основе исследования лежит комплексная математическая модель функционирования КА в условиях воздействия ФКП. Специфической частью такой модели являются модели $\{H_{\Lambda}\}$ деградации характеристик уязвимых элементов в результате воздействия:

$$H_{\Lambda} : X_{\Xi}^0 \times \Lambda_{\Xi} \rightarrow X_{\Xi}, \quad W(d) = M(\rho(Y(d), Y^{TP})), \quad (1)$$

где X_{Ξ}^0 – множество значений вектора характеристик уязвимого элемента до воздействия ФКП;

Λ_{Ξ} – множество значений характеристик ФКП на поверхности уязвимого элемента;

X_{Σ} – множество значений вектора характеристик уязвимого элемента после воздействия ФКП.

Множество x_{Σ}^0 включает в свой состав две группы параметров:

$$x_{\Sigma}^0 = \langle x_{K\Sigma}, x_{\Phi\Sigma}^0 \rangle,$$

где $x_{K\Sigma}$ – параметры, определяющие особенности устройства и конструктивного исполнения элемента, влияющие на его стойкость к воздействию ФКП;

$x_{\Phi\Sigma}^0$ – параметры, определяющие функциональные свойства элемента при его работе в составе бортовых систем.

Построение отношения H_{Δ} осуществляется на основе многофакторных экспериментальных исследований, в которых в качестве факторов выступают характеристики $X_{K\Sigma}$ и Λ_{Σ} , а поверхность отклика формируется вектором функциональных свойств уязвимого элемента после воздействия $X_{\Phi\Sigma}$.

Однако сложившийся подход не вполне подходит для оценки результатов воздействия ФКП на характеристики крупногабаритных уязвимых элементов конструкции или бортовых систем КА, размеры которых сопоставимы с размерами КА. Отличительной особенностью процессов повреждения крупногабаритных уязвимых элементов является то, что их отдельные фрагменты могут иметь существенно различные характеристики в результате воздействия ФКП.

Причиной различий может являться неравномерность распределения энергии воздействующего фактора по поверхности уязвимого элемента или неравномерность свойств самого уязвимого элемента, обусловленная технологией получения материалов или изготовления КА.

В качестве крупногабаритных, как правило, рассматриваются уязвимые элементы, обладающие одним или несколькими из трех признаков:

- 1) элементы, размеры которых сопоставимы с размерами области, в пределах которой осуществляется воздействие ФКП;
- 2) многоракурсные элементы, нормали к фрагментам рабочих поверхностей которых имеют различные направления;
- 3) элементы, характеристики которых могут изменяться скачкообразно при превышении интенсивностью воздействующего фактора некоторого случайного порогового значения.

С учетом сказанного к крупногабаритным уязвимым элементам КА относятся:

- панели солнечных батарей;
- радиационные теплообменники систем обеспечения теплового режима КА;
- антенно-фидерные устройства целевых и обеспечивающих систем КА.

При исследовании влияния ФКП на крупногабаритные уязвимые элементы КА необходимо учесть следующие особенности. Аналитическое решение подобной задачи достигается только за счет использования существенных упрощений, т. е. результат подобного решения будет иметь приближенный характер, что потребует введения в состав КА значительного избытка ресурсов для гарантированного обеспечения его работоспособности в течение всего срока активного существования. С другой стороны, корректное проведение экспериментальных исследований влияния воздействия ФКП на крупногабаритные элементы КА в целом возможно только в условиях проведения натурального эксперимента в космическом пространстве, отличающегося непомерными затратами времени и средств на его проведение.

Существующие подходы [2, 5] к построению моделей процессов деградации свойств крупногабаритных уязвимых элементов КА основаны на принятии допущения о возможности прямого переноса результатов экспериментальных исследований с отдельными фрагментами крупногабаритных уязвимых элементов на элементы или КА в целом, что требует для обеспечения достаточной точности результатов выполнения большого объема экспериментальных исследований. Кроме того, использование такого подхода способно привести к появлению систематической ошибки в оценке характеристик уязвимых элементов в условиях

воздействия ФКП из-за невозможности учета взаимодействия отдельных фрагментов, имеющих различную степень повреждения, в процессе дальнейшего функционирования КА.

С учетом перечисленных особенностей рациональным подходом к решению поставленной задачи будет использование экспериментально-теоретического метода, предполагающего формирование моделей $\{H_{\Lambda}\}$ для крупногабаритных уязвимых элементов КА в два этапа:

– на первом этапе осуществляется экспериментальное исследование процессов деградации характеристик элементарных фрагментов уязвимых элементов с целью построения моделей деградации характеристик фрагментов уязвимых элементов:

$$H_{\Lambda}^{\Phi}: X_{\Xi}^0 \times \Lambda_{\Xi}^{\Phi} \rightarrow X_{\Xi}^{\Phi}, \quad W(d) = M(\rho(Y(d), Y^{TP})), \quad (2)$$

где X_{Ξ}^{Φ} – множество значений вектора характеристик фрагмента уязвимого элемента после воздействия ФКП;

Λ_{Ξ}^{Φ} – факторное пространство, определяющее рамки экспериментального исследования;

– на втором этапе строятся статистические модели функционирования крупногабаритных элементов, содержащих поврежденные фрагменты, с целью определения интегральных характеристик уязвимых элементов после воздействия ФКП фактора:

$$H_{\Lambda}^C: X_{\Xi}^0 \times X_{\Xi}^{\Phi} \rightarrow X_{\Xi}, \quad W(d) = M(\rho(Y(d), Y^{TP})). \quad (3)$$

Необходимо пояснить два введенных понятия:

1. Под элементарным фрагментом крупногабаритного уязвимого элемента подразумевается функционально обособленная или условно выделенная часть крупногабаритного уязвимого элемента, в пределах которой изменение свойств в результате воздействия может считаться равномерным.

2. Интегральная характеристика крупногабаритного уязвимого элемента – вычисляемая на основе характеристик поврежденных элементарных фрагментов статистическая характеристика крупногабаритного элемента в целом, определяющая его свойства при функционировании в составе бортовой системы вышестоящего иерархического уровня или КА в целом.

На первом этапе исследования большое значение имеет корректный выбор размеров элементарных фрагментов уязвимых элементов, который осуществляется под влиянием трех факторов:

– наиболее предпочтительным является выбор функционально обособленного фрагмента уязвимого элемента. Под функционально обособленным фрагментом подразумевается элемент, результаты воздействия ФКП на который могут быть выражены через его функциональные свойства и не зависят от воздействия на соседние фрагменты уязвимого элемента. Примерами таких фрагментов являются фотоэлектрические преобразователи, составляющие солнечные батареи, или антенны отдельных элементов антенных решеток;

– элементарный фрагмент должен иметь размеры, позволяющие выполнять физическое моделирование в наземных экспериментальных установках. Важным условием проведения экспериментов является создание глубокого вакуума в пространстве для размещения фрагмента уязвимого элемента и распространения ФКП. Следовательно, размеры барокамер, входящих в состав экспериментальных стендов, выступают одним из ограничений на размеры фрагментов уязвимых элементов. Второе ограничение, связанное с возможностями экспериментальных установок, обусловлено требованиями к равномерности распределения параметров ФКП по поверхности фрагмента уязвимого элемента. Размер фрагмента не должен превышать размеров области, в которой экспериментальная установка способна создать ФКП с требуемой интенсивностью воздействия и равномерным или, по крайней мере, известным пространственным распределением параметров воздействующего фактора;

– в случаях, когда воздействие ФКП приводит к скачкообразному изменению характеристик уязвимых элементов, размер элементарного фрагмента должен соответствовать или быть кратным размерам характерных дефектов, образующихся на уязвимых элементах в результате воздействия. Наличие локальных дефектов обусловлено неравномерностью свойств

конструкционных материалов, адгезии покрытий и другими причинами технологического происхождения. Размеры дефектов определяются особенностями физических процессов повреждения элементов и их конструктивным исполнением.

Выполнение экспериментальных исследований воздействия ФКП для всех новых конструктивных решений и используемых материалов, внедряемых на производстве орбитальных средств, связано с большими затратами времени и ресурсов. Поэтому важной особенностью выполнения первого этапа исследований является выбор факторного пространства для экспериментальных исследований $\Lambda_{\text{Э}}^{\Phi}$, представляющего собой множество наборов характеристик ФКП, ограниченное некоторыми стандартными условиями, к которым могут быть приведены характеристики воздействия. Стандартные условия определяются видом воздействия и особенностями физического процесса взаимодействия ФКП с материалом уязвимого элемента.

Для обоснования границ факторного пространства используются различные методы, подробно рассмотренные в литературе [1, 3, 6], но существенный вклад в повышение эффективности проведения экспериментальных исследований вносит эвристический анализ физических процессов деградации свойств уязвимых элементов КА, основанный на знании теоретических основ воздействия ФКП на конструкционные материалы и результатов предыдущих экспериментов. Формализация эвристического анализа может быть выполнена на основе теорий подобия и размерности, методы которых представлены в литературе [4, 7].

В соответствии с перечисленными причинами неравномерного изменения свойств крупногабаритных уязвимых элементов КА при воздействии ФКП моделирование процесса деградации свойств элемента в целом должно содержать три этапа:

1. Моделирование распределения характеристик ФКП по поверхности (объему, входной апертуре и т. д.) уязвимого элемента, целью которого является разбиение всей поверхности на участки с известными постоянными характеристиками ФКП:

$$\begin{aligned} H_{\Lambda}^T: X_{\text{КА}}^T \times \Lambda &\rightarrow \Lambda_{\text{Э}}, \\ X_{\text{Э}} &= \{X_{\text{Э}(n)}^{\Lambda}\}, \end{aligned} \quad (4)$$

где $X_{\text{КА}}^T = \{x_{\text{КА}} \mid |\lambda_{\text{Э}} - \lambda_{\text{Э}_i}| \leq \delta^{\Lambda}\}$, $x_{\text{КА}} \in X_{\text{КА}}$, $\lambda_{\text{Э}} \in \Lambda_{\text{Э}}$, $W(d) = M(\rho(Y(d), Y^{\text{TP}}))$,
 $X_{\text{КА}}^T$ – множество значений характеристик КА, определяющих размеры, расположение, ориентацию и способность взаимодействия с ФКП всех элементов КА;

Λ – множество значений характеристик ФКП в окрестности КА, определяющих в числе прочего направление и интенсивность воздействия ФКП на КА;

$X_{\text{Э}_i}^{\Lambda}$ – множество значений характеристик элементарных участков поверхности уязвимого элемента, в пределах которых параметры ФКП $\lambda_{\text{Э}}$ отличаются от некоторого значения $\lambda_{\text{Э}_i}$ на величину, не превышающую δ^{Λ} .

В частных случаях постоянные значения могут принимать некоторые интегральные характеристики ФКП, такие как среднее значение плотности энергии, математическое ожидание и дисперсия случайной величины и т. д., при этом отдельные характеристики ФКП могут быть непостоянными как в пространстве, так и во времени.

2. Моделирование функционирования уязвимого элемента на каждом из выделенных участков поверхности с целью определения интегральных характеристик участков, определяющих их способность к функционированию в составе элемента. Моделирование подразумевает разбиение участка поверхности на элементарные фрагменты, определение характеристик элементарных фрагментов на основе отображений (2) и получение характеристик участка на основе моделей (3).

3. Вычисление характеристик уязвимого элемента, определяющих его функциональные возможности в составе вышестоящей системы. Характеристики уязвимых элементов вычисляются на основе характеристик, составляющих их участки поверхности, с использованием

аналитических или численных моделей функционирования уязвимых элементов в составе содержащих их систем.

Наглядно метод расчета характеристик крупногабаритных уязвимых элементов КА в условиях воздействия ФКП представлен на рис. 1.

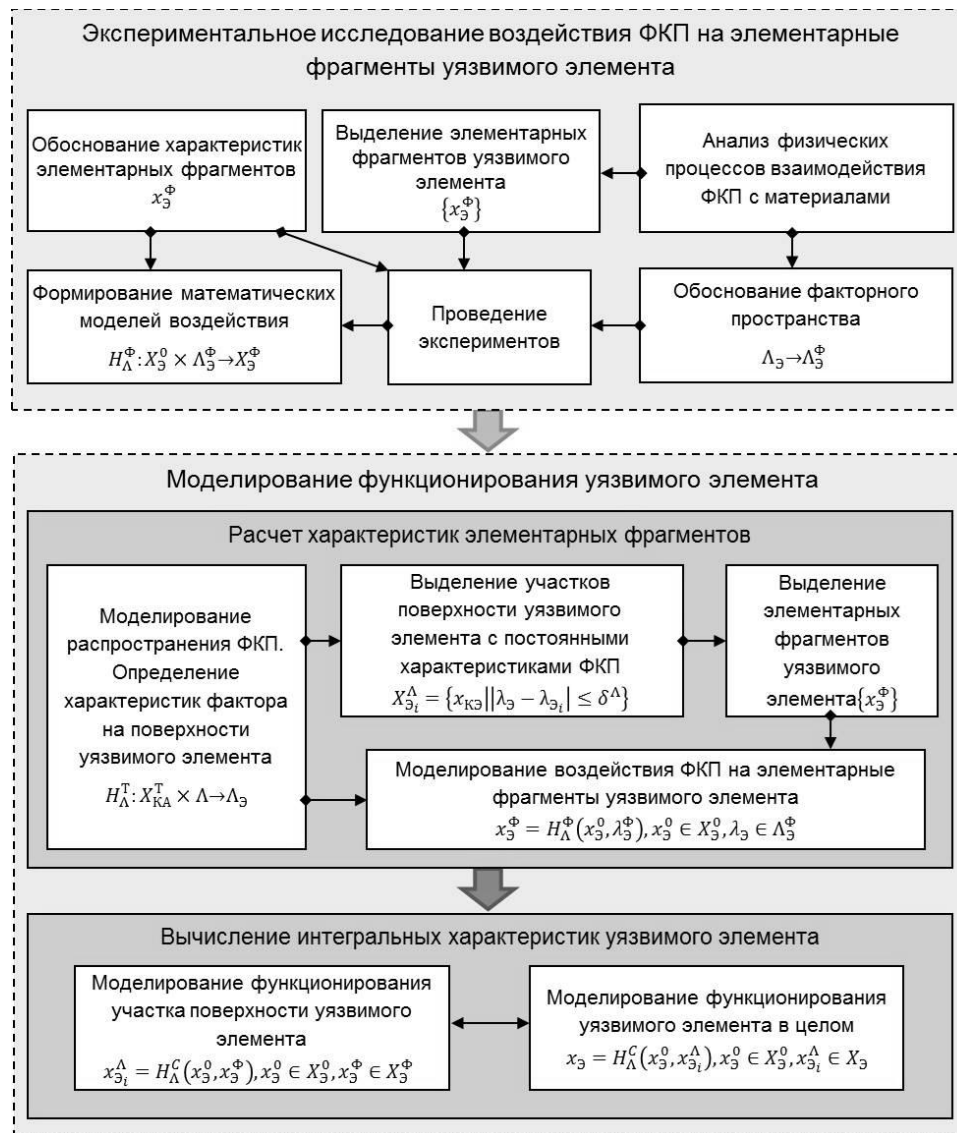


Рис. 1. Структурная схема метода расчета характеристик крупногабаритных уязвимых элементов КА в условиях воздействия ФКП

Построение статистических моделей функционирования поврежденных уязвимых элементов требует получения в результате планирования и проведения экспериментальных исследований зависимостей параметров распределения случайных характеристик поврежденных элементов от параметров ФКП, а также законов распределений критических значений параметров воздействующих факторов, при которых происходит скачкообразное изменение характеристик уязвимых элементов.

Использование предложенного метода расчета характеристик крупногабаритных уязвимых элементов КА, поврежденных в результате воздействия ФКП, позволяет повысить адекватность моделей повреждения уязвимых элементов за счет учета процессов взаимодействия фрагментов с различной степенью повреждения в процессе функционирования КА. При этом

претерпевает некоторое изменение постановка задач экспериментальных исследований процессов воздействия ФКП на элементарные фрагменты уязвимых элементов, что в большинстве случаев ведет к снижению сложности и объема экспериментов.

Список используемых источников

1. *Айвазян С.А.* Прикладная статистика: основы моделирования и первичная обработка данных. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 471 с.
2. *Бакулин В.Н., Малков С.Ю., Гончаров В.В.* Управление обеспечением стойкости сложных технических систем к воздействию дестабилизирующих факторов различной физической природы. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 304 с.
3. *Бусленко Н.П.* Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 399 с.
4. *Гухман А.А.* Введение в теорию подобия. – М.: Высшая школа, 1973. – 296 с.
5. *Езерский В.В., Абдурахимов А.А.* Математическая модель процесса функционирования космических аппаратов в условиях загрязнения космического пространства микрочастицами космического мусора // Управление частями запуска и управления КА, войск РКО при решении задач космического информационного обеспечения: сборник трудов НТК. – М., 2000. – С. 88–91.
6. *Круг Г.К.* Планирование эксперимента в задачах идентификации и экстраполяции. – М.: Наука, 1977. – 208 с.
7. *Седов Л.И.* Методы подобия и размерности в механике. – М.: Наука, 1977. – 428 с.

Р.Н. Аитов;
П.А. Грушковский

ФОРМИРОВАНИЕ МНОЖЕСТВА КОНТРОЛИРУЕМЫХ ПРИЗНАКОВ ОБЪЕКТОВ С ВРАЩАТЕЛЬНЫМ И ВОЗВРАТНО-ПОСТУПАТЕЛЬНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ИНЕРЦИОННЫХ МАСС

В статье раскрываются вопросы, связанные с построением вектора нормированного наблюдаемого состояния системы холодоснабжения на основе преобразования виброакустических сигналов объектов с вращательным и возвратно-поступательным движением инерционных масс.

Ключевые слова: контролируемый признак, отказ, функциональный элемент, частичная сумма ряда Фурье, нормированное наблюдаемое состояние, относительная погрешность.

Системы холодоснабжения (СХС) применяются для охлаждения технологического оборудования объектов наземной инфраструктуры Космических войск, а также для обеспечения требуемых условий создания микроклимата в зданиях и сооружениях.

Для надежной работы СХС требуется оперативное получение информации о техническом состоянии (ТС) системы. ТС системы характеризуется переменными состояниями. Для оценки переменных состояний при любых безразборных методах диагностирования используются выходные параметры, имеющие с переменными состояниями функциональную или стохастическую взаимосвязь. В дальнейшем эти параметры будем называть контролируемыми признаками (КП).

На объектах Космических войск, как правило, применяются СХС с паровыми компрессорными холодильными установками [4]. Характерной особенностью данных объектов является то, что в их составе присутствуют агрегаты с вращательным или возвратно-поступательным движением инерционных масс (компрессоры, насосы, вентиляторы). Для этих агрегатов в качестве КП могут выступать параметры, полученные в ходе виброакустического диагностирования. Эти параметры наиболее полно отражают техническое состояние данных агрегатов [1].

Параметры виброакустических процессов можно представить в виде траекторий или в виде ограниченных непрерывных функций. Любая траектория f с областью определения T удовлетворяет условиям квадратичной интегрируемости по Риману:

$$\int_T f^2(t) dt < \infty, \quad (1)$$

и может быть представлена в виде ряда (рис. 1). Если ряд сходится к траектории, то коэффициенты разложения (проекции траектории на взаимно ортогональные направления) определяются единственным образом и дают полное представление о ее поведении. Поэтому некоторое число коэффициентов при наиболее значимых членах разложения траекторий наблюдаемых состояний являются признаками, содержащими информацию о ТС СХС.

Пусть f_1, f_2, \dots, f_m – последовательность базисных функций (элементов ортогонального или ортонормированного базиса), при которых коэффициенты принимаются в качестве КП или количественных характеристик траекторий входных воздействий. Известно, что при заданном количестве слагаемых наименее уклоняется от траектории частичная сумма ряда Фурье [5].

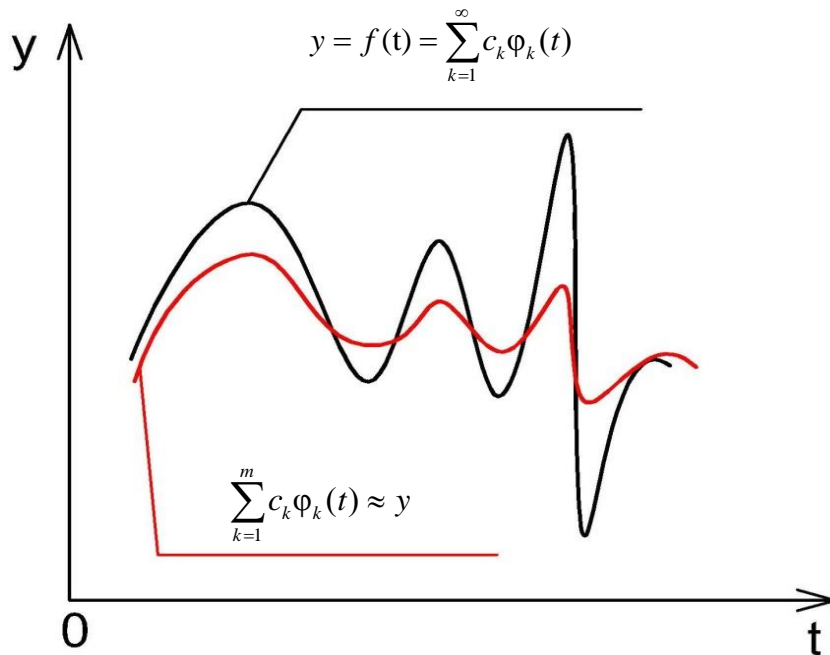


Рис. 1. Представление траектории в виде частичной суммы ряда

При этом уклонение определяется выражением

$$\min_{d_k \in D} \left\{ \rho \left(f - \sum_{k=1}^m d_k \varphi_k \right) \right\} = \left(f - \sum_{k=1}^m c_k \varphi_k \right), \tag{2}$$

где d_k – коэффициенты произвольного разложения;

c_k – коэффициенты разложения в частичную сумму ряда Фурье.

Из выражения (2) следует, что для аппроксимации траекторий необходимо использовать именно ряды Фурье. Это обеспечивает наибольшую адекватность описания поведения траекторий на области определения. Вычисление коэффициентов Фурье производится через скалярное произведение траекторий и базисных функций.

В случае, когда используется тригонометрический базис для разложения в ряды Фурье, коэффициенты Фурье (контролируемые признаки) определяются по следующим формулам:

$$\left. \begin{aligned} a_k &= \frac{2}{t_2 - t_1} \int_T f(t) \cos \left(\frac{2\pi k}{t_2 - t_1} t \right) dt, \quad k=0,1,2,\dots; \\ b_k &= \frac{2}{t_2 - t_1} \int_T f(t) \sin \left(\frac{2\pi k}{t_2 - t_1} t \right) dt, \quad k=1,2,\dots; \end{aligned} \right\} \tag{3}$$

где $T = [t_1; t_2]$ – область определения траектории (продолжительность контроля).

Ряд Фурье имеет вид:

$$f(t) = 0,5a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} \left[a_k \cos \left(\frac{2\pi k}{t_2 - t_1} t \right) + b_k \sin \left(\frac{2\pi k}{t_2 - t_1} t \right) \right]. \tag{4}$$

При решении конкретных прикладных задач возникает вопрос о мощности множества элементов, которые следует включать в частичную сумму рядов Фурье, чтобы обеспечить необходимую результативность контроля. Данным множеством определяется количество коэффициентов Фурье, принимаемых в качестве КП СХС [3].

Пусть траектория представляется частичной суммой ряда Фурье:

$$f(t) \approx \sum_{k=0}^m c_k \varphi_k,$$

где φ_k – базисная функция.

Тогда мощность $(m+1)$ множества коэффициентов Фурье (c_k) является достаточной для характеристики поведения траектории $f(t)$, если выполняется следующее неравенство:

$$\left| \frac{d\left(f(t) - \sum_{k=0}^m c_k \varphi_k\right) - d\left(f(t) - \sum_{k=0}^{pm} c_k \varphi_k\right)}{d\left(f(t) - \sum_{k=0}^m c_k \varphi_k\right)} \right| \leq \delta, \quad p = 2, 3, \dots, \quad (5)$$

где $\left(f(t) - \sum_{k=0}^m c_k \varphi_k\right)$ – мера уклонения частичной суммы ряда Фурье мощностью $m+1$ от траектории;

δ – максимально допустимая относительная погрешность представления траектории частичной суммой.

Мера $d(\cdot)$ определяется принятым типом сходимости рядов Фурье к траектории. В случае использования среднеквадратичной сходимости неравенство (5) принимает следующий вид:

$$\left| \frac{\left\| f(t) - \sum_{k=0}^m c_k \varphi_k \right\|^2 - \left\| f(t) - \sum_{k=0}^{pm} c_k \varphi_k \right\|^2}{\left\| f(t) - \sum_{k=0}^m c_k \varphi_k \right\|^2} \right| \leq \delta, \quad (6)$$

где $\left\| f(t) - \sum_{k=0}^m c_k \varphi_k \right\|^2$ – квадрат нормы уклонения частичной суммы ряда Фурье мощностью $m+1$ от траектории, определяемый по следующей формуле:

$$\left\| f(t) - \sum_{k=0}^m c_k \varphi_k \right\|^2 = \int f^2(t) dt - \frac{\pi(t_2 - t_1)}{2} \left[0,5a_0^2 + \sum_{k=1}^m (a_k^2 + b_k^2) \right]. \quad (7)$$

Если при конкретном значении $m+1=m_1$ неравенство (6) выполняется, то число коэффициентов Фурье, рассматриваемых в качестве КП в соответствующей контрольной точке СХС, равно m_1 .

Норма или конечная последовательность коэффициентов Фурье вычисляется для траекторий каждого компонента вектора $Y_{\langle n \rangle}$ (вектора траекторий КП). В результате образуются векторы $Y_{\langle n \rangle}$ нормированных наблюдаемых состояний. Компоненты вектора $Y_{\langle n \rangle}$ и являются КП системы, его размерность определяется уровнем информационной полноты контроля

[6]. Практически для достижения приемлемого значения этого показателя (близкого к единице) требуется конечное и сравнительно небольшое число коэффициентов Фурье, являющихся наиболее информативными [3].

В качестве примера представляется разложение по функции:

$$y = \cos 3t, \quad T = [t_1; t_2] = [0; 1,5\pi]. \quad (8)$$

Необходимо получить вектор нормированного состояния $Y_{\langle n \rangle}$, представляющий заданный вектор траекторий с относительной погрешностью $a \leq 0,1$. Погрешность определяется исходя из опыта моделирования виброакустических процессов в других областях техники.

Функция (8) может являться одним из компонентов виброакустических сигналов агрегатов с возвратно-поступательным или вращательным движением инерционных масс и с этой точки зрения является показательной.

На первом этапе количество коэффициентов Фурье может быть определено только приближенно. При получении незначимо малых коэффициентов процедура вычисления заканчивается и проверяется неравенство (6). Если оно не выполняется, вычисление продолжается. Алгоритм вычисления следующий:

1) Вычисляем коэффициенты Фурье по формулам (3):

$$a_0 = \frac{2}{t_2 - t_1} \int_T f(t) \cos\left(\frac{2\pi k}{t_2 - t_1} t\right) dt = \frac{2}{1,5\pi} \int_T \cos 3t \cdot dt = 0,1413;$$

$$a_1 = \frac{2}{t_2 - t_1} \int_T f(t) \cos\left(\frac{2\pi k}{t_2 - t_1} t\right) dt = \frac{2}{1,5\pi} \int_T \cos 3t \cos 1,33t \cdot dt = 0,1738;$$

$$b_1 = \frac{2}{t_2 - t_1} \int_T f(t) \sin\left(\frac{2\pi k}{t_2 - t_1} t\right) dt = \frac{2}{1,5\pi} \int_T \cos 3t \sin 1,33t \cdot dt = -0,076.$$

Вычисление коэффициентов предварительно выполнялось для частичной суммы

$$\sum_{k=0}^{14} c_k \Phi_k. \text{ Результаты сведены в табл. 1.}$$

Таблица 1

Коэффициенты частичной суммы ряда Фурье

a_0	a_1	b_1	a_2	b_2	a_3	b_3	a_4	b_4	a_5
0,1413	0,1738	-0,0761	0,6710	-0,5892	-0,1782	0,2419	-0,0881	0,1153	-0,0348
b_5	a_6	b_6	a_7	b_7	a_8	b_8	a_9	b_9	a_{10}
0,0790	-0,0231	0,0608	-0,0162	0,0510	-0,0122	0,0428	-0,0094	0,0373	-0,0075
b_{10}	a_{11}	b_{11}	a_{12}	b_{12}	a_{13}	b_{13}	a_{14}	b_{14}	
0,0332	-0,0049	0,0289	-0,0031	0,0253	-0,0019	0,0227	-0,0011	0,0206	

2) Расчет среднеквадратичного отклонения частичной суммы $\sum_{k=0}^7 c_k \Phi_k$ от траектории $f(t)$. Для вычисления используется соотношение (7):

$$\begin{aligned} \left\| f(t) - \sum_{k=0}^7 c_k \Phi_k \right\|^2 &= \int_{T_1} f^2(t) dt - \frac{1,5\pi}{2} \left[0,5a_0^2 + \sum_{k=1}^7 (a_k^2 + b_k^2) \right] = \\ &= \int_T \cos^2 3t dt - \frac{1,5\pi}{2} (0,5(0,1413)^2 + 0,9589) = 0,5t \Big|_T + 0,083 \sin 6t \Big|_T - 2,3549 = \\ &= 2,3561 - 2,3549 = 0,0012. \end{aligned}$$

3) Для частичной суммы $\sum_{k=0}^{14} c_k \Phi_k$ расчет среднеквадратичного отклонения от траектории $f(t)$ будет равен:

$$\left\| f(t) - \sum_{k=0}^{14} c_k \Phi_k \right\|^2 = 2,3561 - 2,3550 = 0,0011.$$

4) Определяем относительную погрешность представления траектории частичной суммой ряда, используя выражение (6), при этом полагается, что $p = 2$:

$$\left| \frac{\left\| f(t) - \sum_{k=0}^m c_k \Phi_k \right\|^2 - \left\| f(t) - \sum_{k=0}^{pm} c_k \Phi_k \right\|^2}{\left\| f(t) - \sum_{k=0}^m c_k \Phi_k \right\|^2} \right| = \frac{0,0012 - 0,0011}{0,0012} = 0,083 \leq 0,1.$$

Поскольку значение относительной погрешности меньше допустимого, траектория $f(t)$ с необходимой точностью представляется частичной суммой $\sum_{k=0}^7 c_k \Phi_k$ ряда Фурье. Поведение траектории однозначно характеризуется следующим вектором:

$$Y_{\langle n \rangle} = Y_{\langle 15 \rangle} = (0,0707; 0,1738; -0,0761; 0,6710; -0,5892; -0,1782; 0,2419; -0,0881; 0,1153; -0,0348; 0,0790; -0,0231; 0,0608; -0,0162; 0,0510)^T.$$

Данный вектор является вектором нормированного наблюдаемого состояния системы. Компоненты данного вектора являются КП для объектов с вращательным или возвратно-поступательным движением инерционных масс.

Список используемых источников

1. Генкин М.Д., Соколова А.Г. Виброакустическая диагностика машин и механизмов. – М.: Машиностроение, 1987. – 288 с.
2. Пархоменко П.П., Согомоян Е.С. Основы технической диагностики: Оптимизация алгоритмов диагностирования, аппаратные средства. – М.: Энергия, 1981. – 320 с.

3. *Сеньченков В.И.* Модели, методы и алгоритмы анализа технического состояния. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 377 с.
4. *Росляков Е.М.* Холодоснабжение. – СПб.: ВИККА им. А.Ф. Можайского, 1996. – 187 с.
5. *Колмогоров А.Н., Фомин С.В.* Элементы теории функций и функционального анализа. – М.: Наука, 1989. – 624 с.
6. *Дмитриев А.К.* Модели и методы анализа технического состояния бортовых систем: учеб. пособие. – СПб.: ВИКУ им. А.Ф. Можайского, 1999. – 212 с.

А.А. Ардашов,
кандидат техн. наук;
В.Н. Арсеньев,
доктор техн. наук, профессор;
С.Б. Силантьев,
кандидат техн. наук, доцент

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКАЯ БАЗА КОСМИЧЕСКОЙ РОБОТОТЕХНИКИ

В статье рассмотрены примеры реализации космических роботов, выявлены их характерные особенности и области применения. Представлена функциональная схема робота и определен состав его основных систем. На основе этого предложены основные термины и определения космической робототехники.

Ключевые слова: космический робот, манипуляторы, информационная система, космические комплексы.

ВВЕДЕНИЕ

До настоящего времени термин «робот» не имеет общепринятого определения. Существуют многочисленные варианты, предлагаемые разными учеными и школами. Многие ученые считают, что понятие «робот» должно отражать идею создания искусственной технической системы, способной выполнять действия, свойственные интеллектуальной системе «человек». На основе этого дается следующее определение: робот – это система, заменяющая человека в процессе труда, обладающая основными функциональными возможностями человека и реализующая эти возможности с использованием различных технических средств [1]. Такое определение не вызывает принципиальных возражений, но оно сформулировано слишком в общем виде и не позволяет отличить техническую систему, которую можно считать роботом, от технической системы, которая таковой не является. Еще больше неопределенностей существует в терминологической базе в области космической робототехники. В статье сделана попытка обосновать основные термины и определения, касающиеся космических робототехнических комплексов и систем.

ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ РОБОТОВ

За свою короткую историю развития роботы претерпели ряд качественных изменений. Это касается совершенствования как элементной базы, так и принципов управления, реализуемых с использованием быстро развивающихся цифровых устройств.

Первые роботы – это роботы с жестким программным управлением, которые применяются для выполнения заранее заданной последовательности операций. Приемлемое качество управления достигается лишь при строго определенных и неизменных условиях функционирования. Способность к восприятию обстановки в сфере функционирования роботов первого поколения практически отсутствует. Эти роботы не могут функционировать полностью автономно, их перепрограммирование требует вмешательства человека.

К роботам следующего поколения относятся роботы с адаптивным управлением. От роботов предыдущего поколения они отличаются существенно более развитой системой сенсорных устройств, а также более сложной управляющей системой, которая обязательно включает ЭВМ с развитым программным обеспечением. Законы адаптивного управления и способы их реализации могут быть самыми разнообразными. Но для всех систем с адаптивным управлением ха-

рактарно то, что робот может адаптироваться к заранее неизвестным и непредсказуемым условиям эксплуатации.

К роботам третьего поколения относятся роботы с интеллектуальным управлением. Принципиальное отличие этих роботов от роботов предыдущих поколений заключается в том, что их управляющая система включает в себя элементы искусственного интеллекта. Отличительной чертой таких роботов является способность к обучению на опыте и адаптация в процессе решения задач. Интеллектуальный робот способен вести диалог с человеком, распознавать и анализировать ситуации, обучаться, планировать поведение, формировать программу движения двигательной системы и т. д. К роботам этого же поколения можно отнести роботов с нейросетевым управлением. Для реализации нейросетевого управления нужны обучаемые нейронные сети или нейрокомпьютеры, т. е. компьютеры шестого поколения с нетрадиционной архитектурой и нейроподобной элементной базой, обеспечивающие параллелизм при обработке информации и управлении в реальном времени.

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ РОБОТОВ

Робототехнические устройства в настоящее время находят применение в ряде областей освоения космического пространства. Можно указать три основных направления использования роботов в космической технике:

- использование роботов на поверхности планет и других космических тел;
- техническое обслуживание и инспекция орбитальных объектов, погрузочно-разгрузочные и спасательные работы на орбите и т. п.;
- использование для нужд космических кораблей и станций (осмотр, регламентные и ремонтные работы и др.).

Первое направление применения средств робототехники в космосе может быть представлено советскими и американскими космическими кораблями, предназначенными для исследования Луны, Марса и Венеры.

Отечественные аппараты типа «Луноход» являются классическим примером использования роботов для исследования поверхности планет. Автоматическая межпланетная станция «Луна-17» в ноябре 1970 года доставила на поверхность Луны передвижную лабораторию «Луноход-1». Будучи снабженным универсальным манипулятором, этот робот выполнял самые различные исследования. Систематически определялись физико-механические и химические свойства лунного грунта, а с помощью рентгеновского телескопа и радиометра измерялись характеристики солнечных и галактических космических лучей. В январе 1972 года сделал «первые шаги» «Луноход-2», доставленный на Луну автоматической межпланетной станцией «Луна-21». Этот робот был оборудован приборами, измеряющими освещенность лунного неба и намагниченность отдельных участков лунной поверхности. Два этих робота, проехав по поверхности Луны около 50 км, провели обследование ее физико-химических свойств.

На Марсе функционировали четыре дистанционно управляемых робота США: в 1997 году был запущен марсоход «Sojourner» массой 10 кг, с 2004 года функционировали два однотипных аппарата «Sprint» и «Opportunity» (по 174 кг), а с 2013 года по настоящее время работает марсоход «Curiosity» массой 899 кг (рис. 1).

На Венере США планируют запустить планетоход в 2027 году.

Автоматические межпланетные станции, планетоходы являются, по сути, сложными интеллектуальными автономными роботами, поскольку из-за больших задержек сигнала телеуправления ими в реальном времени управлять практически невозможно.

Второе направление применения средств робототехники в космосе в настоящее время развивается наиболее интенсивно, сюда вкладываются основные материальные и финансовые ресурсы. Примером использования роботов в открытом космосе являются манипуляционные

роботы многоразовых космических кораблей. При их реализации учтены специфические особенности решаемых двигательных задач и особенности условий, в которых эти роботы функционируют. Такие роботы позволяют перемещать в космическом пространстве различные объекты, а также фиксировать положение корабля относительно других объектов. Механические руки космических манипуляторов могут иметь линейные размеры до 20–40 м.



Рис. 1. Внешний вид марсохода «Curiosity»

Психофизические ограничения человека, обусловленные необычностью и непривычностью среды, не позволяют справляться со многими видами работ, поэтому их выполнение поручается автоматическим системам. Совокупность датчиков в захватывающем устройстве манипулятора обеспечивает проведение необходимых расчетов на бортовой ЭВМ. По результатам расчета оператор может определить рациональное сочетание ручного и автоматического управления.

На космическом корабле «Буран» было установлено два манипулятора шарнирного типа с шестью степенями подвижности. Длина манипулятора – 15,3 м, наибольшая масса объекта манипулирования – 3 т, погрешность позиционирования – 5 м. В грузовом отсеке корабля находятся грузы, которые с помощью манипулятора достаются и туда же помещаются при снятии их с орбиты. Система управления манипулятором может работать в ручном, полуавтоматическом и автоматическом режимах. В автоматическом режиме за оператором сохраняется функция контроля.

Многоразовый транспортный космический корабль (МТКК) «Спейс Шаттл», внешний вид которого показан на рис. 2, способен выводить на низкую околоземную орбиту полезный груз массой до 25 т, до 15 т может быть возвращено на Землю. В грузовой отсек помещаются модули до 5 м в диаметре и 18 м длиной. Это соответствовало проектировавшемуся тогда спутнику оптической разведки КН-11, а также соответствовало размерам орбитального телескопа Хаббла. Для перемещения громоздких предметов служит 15-метровый манипулятор, который в сложенном состоянии укладывается вдоль стойки грузового отсека. На Земле манипулятор не может поднять даже собственного веса, зато в космосе неоднократно доказывал свою эффективность. Так, при отказе научного спутника для изучения солнечной активности «Solar Max» многоразовый транспортный космический корабль «Челленджер» захватил неисправный спутник манипулятором, поместил его в грузовой отсек, произвел замену электронных блоков системы ориентации и возвратил спутник на орбиту для дальнейшей эксплуатации. Для ремонта телескопа Хаббла, когда было обнаружено, что при шлифовке главного зеркала ему была придана неправильная форма, был использован МТКК «Эндевор». При проведении ремонтных работ на телескопе четыре космонавта, работая попарно, провели в открытом космосе около пяти суток. Ремонт, который помимо всего проче-

го включал замену солнечных батарей, бортового компьютера и некоторых других элементов, прошел в соответствии с планом.

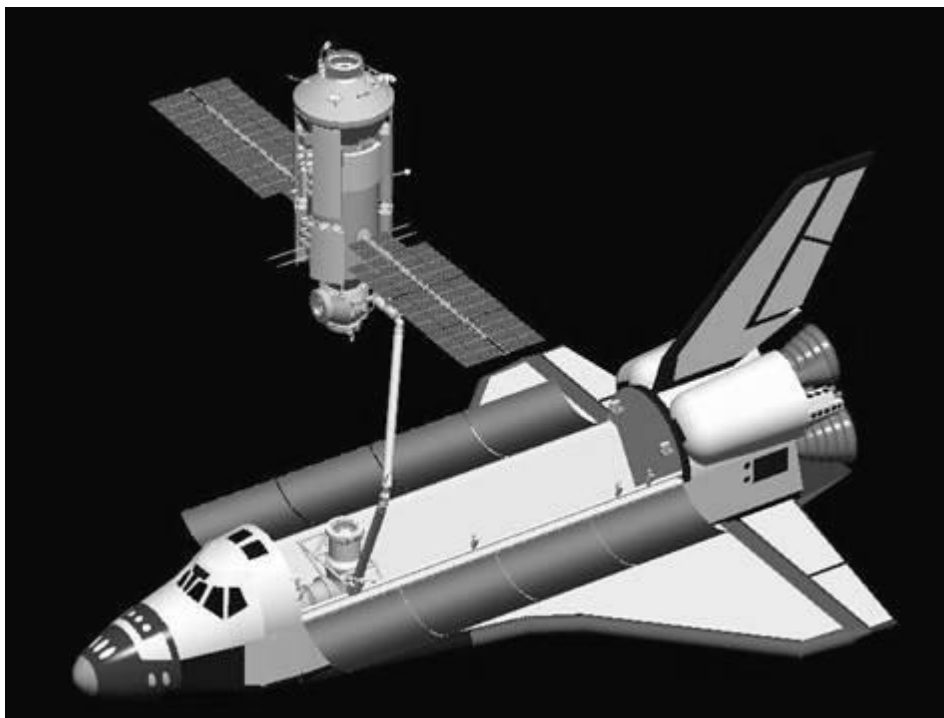


Рис. 2. Внешний вид многоразового транспортного космического корабля «Спейс Шаттл»

Использование роботов в открытом космосе не ограничивается погрузочно-разгрузочными работами. Одно из самых перспективных направлений развития космонавтики связано с дистанционным обслуживанием орбитальных объектов (ОО) с помощью космических роботов. Такие аппараты в технической литературе получили название КА-инспекторов, хотя их использование гораздо шире инспекции. Они могут использоваться для осуществления ремонтных и строительных работ, дозаправки компонентами топлива космических аппаратов, борьбы с космическим мусором и др. К настоящему времени известен ряд успешно реализованных проектов КА-инспекторов. К ним относятся малые КА «XSS-10» и «XSS-11», КА системы «SBSS» (США), аппараты «ВХ-1» и «Шицзянь-12» (Китай), проект «PRISMA» (Швеция), наноспутник «SNAP-1» (Великобритания) и др.

Космическая инспекция понимается как комплекс операций, осуществляемый с помощью средств космического базирования и направленный на получение информации об орбитальных объектах искусственного происхождения путем наблюдения, в том числе при сближении с ними, с целью решения одной из прикладных задач. К числу таких задач относятся фотографирование или проведение видеосъемки ОО для получения в различных диапазонах электромагнитного спектра портретов инспектируемых КА в интересах определения их целевого назначения, оценки технического состояния и степени угрозы для собственных космических средств.

Третье направление использования робототехнических систем в космосе связано с работами снаружи и внутри космических кораблей и станций. Обслуживание космических кораблей с помощью роботов началось в 1997 году. Членами экипажа МТКК «Columbia» 18 ноября 1997 года был проведен «ручной» запуск дистанционно управляемого КА «AERCam-Sprint». Этот КА в форме сферы диаметром 0,36 м и массой 16 кг имел на борту две телекамеры цветного изображения. В ходе эксперимента КА провел серию различных маневров в окрестности и внутри грузового отсека МТКК с целью регистрации действий

астронавтов в открытом космосе и получения изображений МТКК с различных ракурсов в режиме реального времени. Управление роботом осуществлялось дистанционно астронавтом с борта МТКК.

Следует обратить внимание, что в рассматриваемом случае мы имеем пример использования космического робота («AERCam-Sprint») для обслуживания другого, более сложного и дорогого, робототехнического устройства, каким, безусловно, является МТКК.

Аналогичные цели обслуживания планировались на станции «Мир» с использованием КА «X-Mir-Inspector» разработки фирмы OHB Systems (Германия).

Для дальнейшего развития Международной космической станции (МКС) учеными NASA разработан проект «Миниатюрная автономная внешняя робот-камера» («Mini AERCam»). Диаметр аппарата – 19 см, масса – 5 кг, т. е. аппарат относится к классу наноспутников. Предполагается, что эта летающая камера сможет осматривать теплозащитное покрытие станции или различные элементы конструкции МКС без необходимости выхода человека в открытый космос. Внешний вид аппарата «Mini AERCam» показан на рис. 3.



Рис. 3. Внешний вид КА «Mini AERCam»

Главное отличие нового аппарата от предшественника не в его размерах. Роботизированный аппарат существенно «поумнел». В грузовом отсеке корабля он будет иметь докинг-станцию, с которой будет состыковываться в автоматическом режиме. Через специальный разъем наноспутник будет пополнять свой запас электроэнергии и топлива для ракетных двигателей (ксенона).

Если его предшественник «AERCam-Sprint» имел дистанционное управление, то наноспутник функционирует автономно, огибает препятствия и избегает столкновения с элементами конструкций космического корабля. Робот имеет двенадцать миниатюрных ракетных двигателей для перемещения вокруг корабля и ориентации. Он оборудован собственной системой навигации с приемником GPS и микроэлектромеханическими гироскопами, а также системой связи. Информационную систему «Mini AERCam» составляют две цветные видеокамеры, расположенные под углом 90° друг к другу.

Одним из перспективных проектов последнего времени является разрабатываемая США космическая система «Orbital Express», предназначенная для проведения ремонтно-восстановительных и заправочных операций.

Первый запуск КА системы «Orbital Express» был осуществлен 8 марта 2007 года. На околокруговую орбиту высотой 450 км и наклоном 38° были выведены два космических аппарата: КА «ASTRO» с роботизированным манипулятором и имитатор обслуживаемого объекта – КА «NextSat» (рис. 4).

Спутник «ASTRO» в форме восьмигранной призмы (поперечный размер 1,75 м и высота 1,78 м) имеет массу около 700 кг. В системах маневрирования и стабилизации задействованы 16 микродвигателей на гидразине.



*Рис. 4. Внешний вид КА системы «Orbital Express», слева – КА «ASTRO»
справа – КА «NextSat»*

На борту спутника «ASTRO» установлена оптико-электронная (видимого и инфракрасного диапазонов) и радионавигационная аппаратура для обеспечения автономного сближения (с дальностью не менее 200 км) и последующей стыковки с КА «NextSat», в том числе датчик «AVGS» ближнего радиуса действия (от 500 м). Датчик включает в себя лазерный дальномер, работающий на двух длинах волн по сигналам, отраженным рефлекторами на борту КА «NextSat». С помощью датчика определяются азимут, угол места и дальность до КА «NextSat», а также относительная ориентация обоих аппаратов для обеспечения проведения всех необходимых маневров и операций с роботизированным манипулятором и имитатором обслуживаемого объекта – КА «NextSat».

КА «ASTRO», будучи в сцепке с КА «NextSat», впервые осуществил его заправку гидразином. Было перекачено 14,5 кг топлива, а на следующий день – еще 8,6 кг. Через несколько дней была осуществлена обратная операция. Затем с помощью руки-манипулятора КА «ASTRO» установил аккумуляторную батарею на КА «NextSat» и подключил ее к системе электроснабжения. Впоследствии КА «ASTRO» успешно захватил КА «NextSat» и при помощи роботизированной руки провел замену его резервного бортового компьютера.

Все рассмотренные выше космические робототехнические устройства обладают свойством локомоции. При этом орбитальное движение этих устройств и маневры поддержания параметров орбиты не являются локомоцией. Движение по орбите лишь относит данный объект к космическим аппаратам. Локомоцией же является их движение, связанное с орбитальным маневрированием для сближения с другим орбитальным объектом при выполнении целевых задач.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА РОБОТА

Для того чтобы конкретизировать особенности и технические возможности космических роботов, определить состав основных систем, проанализируем функциональную схему робота. Функциональная схема робота показана на рис. 5 [2].

Робот состоит из следующих основных компонентов:

- двигательная система (ДС);
- информационная (или сенсорная) система (ИС);
- управляющая система (УС);
- коммуникационная система (КС).

Известно, что человек совершает во внешней среде два вида движений – манипуляции и локомоции. Манипуляция – это движение рук при выполнении какой-либо работы. Локомоция – движение всего тела для осуществления перемещения во внешней среде. Человек выполняет его с помощью ног, но иногда использует и руки (ползание, лазанье, плавание).

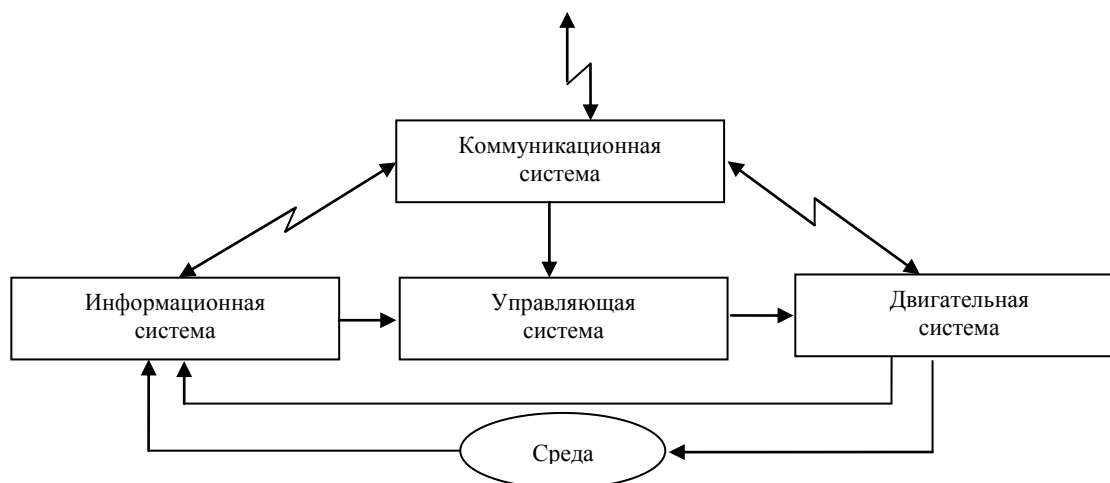


Рис. 5. Функциональная схема робота

В соответствии со сказанным выше *двигательная система* робота включает в себя:

- исполнительные механизмы (манипуляторы, движители различного типа);
- рабочие органы (схваты, инструменты);
- двигатели (электрические, гидравлические, пневматические);
- механизмы передачи движения;
- источники и преобразователи энергии.

Ключевыми элементами двигательной системы являются манипуляторы, предназначенные для перемещения громоздких и опасных грузов, и движители, осуществляющие перемещение робота во внешней среде. Наличие или отсутствие манипуляторов и движителей во многих случаях является принципиальным вопросом, определяющим можно ли данное техническое устройство отнести к роботам или нет.

Информационная система включает датчики внутренней информации, конструктивно встроенные в двигательную систему, и датчики внешней информации (сенсоры), сигнализирующие о состоянии внешней среды.

Управляющая система включает в себя микропроцессоры или компьютеры для обработки информации, поступающей от информационной системы, и формирования сигналов управления на ДС с использованием встроенного программного обеспечения, а также электронные преобразователи цифровых и аналоговых сигналов, усилители, другие электронные блоки.

Коммуникационная система состоит из каналов прямой и обратной связи внутри робота и внешнего интерфейса для связи робота с оператором и другими роботами для организации группового (коллективного) поведения роботов.

Понятия «среда» или «внешняя среда» включают, например, объекты манипулирования, препятствия, параметры температуры, уровень радиоактивности и т. п.

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ РОБОТОТЕХНИКИ

Приведя наиболее характерные примеры использования роботов в космосе, рассмотрев структуру робота, его основные компоненты, назначение всех подсистем, а также базируясь на положениях ГОСТ [3], можно сформулировать основные термины и определения.

Космический робот – техническое устройство, предназначенное для функционирования в космическом пространстве и способное за счет воспроизведения (имитации) сенсорных, управляющих, двигательных и коммуникационных функций человека, выполнять целевые задачи в соответствии с назначением космического робототехнического комплекса.

Космический робототехнический комплекс – совокупность функционально взаимосвязанных элементов: космических роботов, наземных технических средств и сооружений, предназначенных для технического обслуживания, транспортирования, хранения, приведения и поддержания в готовности к выведению на орбиту космических роботов и управления ими в полете.

Космическая робототехническая система – совокупность нескольких космических робототехнических комплексов, взаимодействующих между собой для достижения поставленной цели.

Космическое роботизированное устройство – техническое устройство, предназначенное для функционирования в космическом пространстве и способное за счет воспроизведения (имитации) некоторых функций человека, выполнять некоторый перечень целевых задач.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Космическая робототехника открывает возможности для создания принципиально новых КА, совмещающих достоинства пилотируемых и беспилотных аппаратов, позволяет повысить эффективность космических систем, снизить расходы на их эксплуатацию, увеличить ресурс и надежность. Перспективные направления совершенствования структур космических робототехнических систем просматриваются в унификации функциональных компонентов средств робототехники в виде системы модулей, а также в реконфигурируемости робототехнических систем, т. е. в возможности изменения состава системы непосредственно в ходе ее использования. Особые возможности открываются для использования космических роботов в военном деле.

Список используемых источников

1. Робототехнические системы и комплексы: учеб. пособие для вузов / И.И. Мачульский и др.; под ред. И.И. Мачульского. – М.: Транспорт, 1999. – 466 с.
2. Тимофеев А.В. Роботы и искусственный интеллект. – М.: Наука, 1978. – 192 с.
3. ГОСТ Р 53802-2010. Системы и комплексы космические. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2011. – 32 с.

С.В. Буриков,
кандидат техн. наук

АЛГОРИТМ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДИКИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ БОРТОВЫХ ПРИЕМНО-ПЕРЕДАЮЩИХ ТЕРМИНАЛОВ КОСМИЧЕСКИХ ЛАЗЕРНЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Представлен алгоритм реализации методики параметрической оптимизации бортовых приемно-передающих терминалов космических лазерных систем передачи информации, позволяющий графоаналитическим методом выбирать их параметры, существенные для достижения их наилучших показателей для заданных (ожидаемых) условий функционирования. Рассмотрена структурная схема алгоритма и рассмотрены особенности сплайн-интерполяции и аппроксимации зависимостей оптимальных параметров.

Ключевые слова: лазерная система передачи информации, оптимизация параметров бортовых приемно-передающих терминалов, графоаналитический метод.

ВВЕДЕНИЕ

Применение космических систем и комплексов независимо от их целевого назначения неразрывно связано с использованием радиоканалов информационного обмена с космическими аппаратами (КА) при общей тенденции увеличения их пропускной способности и объемов передаваемой информации. Однако как в существующих, так и в перспективных радиоканалах информационного обмена с КА скорость передачи информации приближается к предельно возможной для радиотехнического диапазона пропускной способности в несколько сотен мегабит в секунду. Серьезной проблемой в организации информационного обмена с КА военного и двойного назначения по радиоканалам является также обеспечение их помехоустойчивости и скрытности.

Повышение пропускной способности и скрытности каналов информационного обмена с КА возможно при использовании космических лазерных систем передачи информации (КЛСПИ). Областью применения перспективных КЛСПИ может быть как высокоскоростная, так и низкоскоростная передача различных видов информации. При этом в качестве основной области применения КЛСПИ рассматривается ретрансляция больших объемов специальной информации со скоростями передачи информации до сотен мегабит – единиц гигабит в секунду.

Однако существует ряд проблем, связанных с внедрением КЛСПИ. Среди технических проблем одной из центральных является проблема наведения узких оптических пучков и углового сопровождения ими КА. Узкие диаграммы направленности оптических антенн усложняют процессы поиска и слежения, осуществляемые при дальности связи до нескольких десятков тысяч километров, а технические ограничения при создании бортовых лазерных терминалов не позволяют обеспечить пренебрежимо малую величину ошибок наведения, и они остаются соизмеримыми с шириной оптического пучка θ_0 . В результате ошибки наведения приводят к флуктуациям интенсивности принимаемых оптических сигналов – мультипликативной помехе – и срывам слежения, что в сочетании с ограничениями на увеличение мощности бортовых лазерных передатчиков существенно снижает качество связи по межспутниковым лазерным каналам.

Мультипликативная помеха, возникающая вследствие ошибок наведения бортовых оптических антенн, может приводить к значительному снижению помехоустойчивости высокоскоростных КЛСПИ. Как показывает анализ, снижение вероятности ошибочного приема

информационного символа p_0 в условиях действия аддитивных и мультипликативных помех, связанных с ошибками взаимного наведения бортовых оптических антенн, может составлять до двух-трех порядков и сопровождается эффектом «насыщения» помехоустойчивости, когда повышение энергетического потенциала лазерного канала оказывается неэффективно. Существенное влияние на помехоустойчивость КЛСПИ оказывает также ширина полосы захвата устройства слежения $\Delta\theta$, от которой противоположным образом зависят вероятность срыва слежения P_{cc} и вероятность ошибочного приема информационного символа p_0 в моменты поддержания связи. Поэтому развитие и внедрение высокоскоростных КЛСПИ должно сочетаться с разработкой методов повышения их помехоустойчивости в условиях действующих аддитивных и мультипликативных помех и срывов слежения.

При выбранных принципах построения бортовых приемно-передающих терминалов КЛСПИ на первый план при их конструировании и выборе режимов функционирования выходит параметрическая оптимизация, направленная на обеспечение высоких показателей качества связи по лазерным каналам с учетом ограничений на техническую реализацию бортовой аппаратуры КА. В межспутниковых лазерных каналах КЛСПИ с ошибками наведения и срывами слежения такая оптимизация возможна для параметров подсистем формирования оптического пучка, наведения и слежения на физическом и канальном уровнях, описания процесса передачи информации. Их научно-обоснованный выбор позволяет при фиксированной выходной мощности бортового лазерного передатчика $P_{ПРД}$ уменьшить вероятность ошибочного приема информационного символа p_0 (физический уровень) в межспутниковых лазерных каналах и увеличить среднюю скорость передачи информации V (канальный уровень) в КЛСПИ с установлением связи по обратному каналу.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ БОРТОВЫХ ПРИЕМНО-ПЕРЕДАЮЩИХ ТЕРМИНАЛОВ КОСМИЧЕСКИХ ЛАЗЕРНЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

В качестве оптимизируемых показателей помехоустойчивости и скорости передачи информации в КЛСПИ выбраны вероятность ошибочного приема информационного символа p_0 и средняя скорость потоковой передачи информации V . Показатели p_0 и V характеризуют процесс передачи информации на физическом и канальном уровнях эталонной модели взаимодействия открытых систем (ЭМВОС).

Для межспутниковых лазерных каналов передачи информации в условиях совместного действия аддитивных и мультипликативных помех характерен сложный и нелинейный характер зависимостей показателей помехоустойчивости и скорости передачи информации от параметров бортовых приемно-передающих терминалов КЛСПИ, также ряд технических ограничений на выбор этих параметров, например по выходной мощности лазерного передатчика или по предельно достижимым ошибкам наведения оптических антенн. При этом в большинстве случаев параметры подсистем формирования пучка, наведения и слежения – ширина оптического пучка θ_0 , величина систематической $\delta\theta$ и случайной σ_θ ошибок наведения оптического пучка и ширина полосы захвата устройства слежения $\Delta\theta$ – влияют на качество связи по межспутниковым лазерным каналам совместно, в том числе за счет действия различных физических механизмов.

Таким образом, при проектировании и обосновании режимов функционирования КЛСПИ в общем случае необходимо решение многопараметрических задач анализа и синтеза, являющихся сложными научными задачами, зачастую не имеющими строгого решения [1, 2]. Существует большое число методов многопараметрической оптимизации, большая часть которых основана на поиске экстремумов функции многих переменных, заданной аналитически. Аналитические методы оптимизации позволяют достичь наилучших значений показателей качества функционирования исследуемой системы, однако имеют ряд ограниче-

ний, к числу которых относятся: необходимость задания параметров системы в непрерывных пространствах и в диапазонах допустимых значений, требование непрерывного монотонного характера оптимизируемой целевой функции и др. [3].

Возможности решения задач многопараметрической оптимизации систем передачи информации, в том числе КЛСПИ, чисто аналитическими методами ограничены. При описании процессов передачи информации на физическом и канальном уровнях ЭМВОС с помехоустойчивым кодированием и с различными протоколами передачи информации функции показателей эффективности информационного обмена – помехоустойчивости и скорости передачи информации – имеют дискретный характер, так как зависят от дискретных параметров принимаемых сигналов и используемого корректирующего кода. В лазерных системах передачи информации эти зависимости дополнительно усложняются учетом квантового шума и мультипликативных помех [4].

Сложность решения оптимизационных задач в полной мере относится к поставленным задачам оптимизации параметров подсистем формирования, наведения и слежения бортовых приемно-передающих терминалов КЛСПИ, а также к задачам оптимизации параметров других подсистем приемно-передающих терминалов, в частности, приемного устройства [4, 5]. Указанные оптимизационные задачи решаются при проектировании КЛСПИ и выборе параметров бортовых приемно-передающих терминалов, относящихся к физическому и канальному уровням ЭМВОС, включая выбор возможных диапазонов изменения и управления значениями этих параметров в процессе функционирования КЛСПИ.

На физическом уровне ЭМВОС описание процесса передачи информации в КЛСПИ сводится к описанию процессов передачи и приема оптических сигналов с выбранной структурой (методом модуляции), соответствующих информационным символам «0» и «1» бинарного потока. Наиболее значимыми параметрами, характеризующими функционирование бортовых приемно-передающих терминалов КЛСПИ на физическом уровне, являются:

- параметры, характеризующие энергетический потенциал лазерного канала: среднее число сигнальных фотоотчетов n_{co} , соответствующее мощности сигнала принимаемого в отсутствие ошибок наведения оптического пучка, и среднее число фоновых фотоотчетов n_{ϕ} ;
- параметры подсистем формирования оптического пучка, наведения и слежения: ширина оптического пучка θ_0 , систематическая ошибка наведения оптического пучка $\delta\theta$, среднеквадратическое значение случайной ошибки наведения оптического пучка σ_{θ} , ширина полосы захвата устройства слежения $\Delta\theta$;
- параметры приемного устройства: шумовая температура фотоприемника T ; сопротивление нагрузки R ; полоса пропускания цепи нагрузки ΔF ; коэффициент внутреннего усиления G ; коэффициент избыточных шумов $F(G)$; коэффициент ионизации полупроводникового перехода k_i .

На канальном уровне ЭМВОС описание процесса передачи информации в КЛСПИ сводится к описанию процессов передачи и приема потока сообщений с учетом используемых методов помехоустойчивого кодирования и протоколов передачи информации канального уровня, в частности ARQ-протоколов. Наиболее значимыми параметрами, характеризующими функционирование бортовых приемно-передающих терминалов КЛСПИ на канальном уровне, являются:

- параметры, характеризующие информационный поток передаваемых сообщений: общее число сообщений N в запланированном к передаче информационном массиве; общее количество разрядов сообщения n ; количество информационных разрядов k в кодовых комбинациях передаваемых сообщений и количество разрядов адресной части сообщений l ;
- параметры используемого корректирующего кода для используемых в ARQ-протоколах кодов с обнаружением ошибок – кратность обнаруживаемых ошибок q_o ;
- существенные с точки зрения скорости передачи информации параметры подсистем поиска и слежения – вероятность срыва слежения P_{cc} и среднее время повторного вхождения в связь T_{cp} .

В качестве критериев параметрической оптимизации бортовых приемно-передающих терминалов КЛСПИ используются: минимум вероятности ошибочного приема информационного символа $\min p_0$ на физическом уровне ЭМВОС и максимум средней скорости потоковой передачи информации $\max V$ на канальном уровне ЭМВОС.

Формализованная постановка задачи оптимизации ширины оптического пучка $2\theta_0$ по критерию минимума вероятности ошибочного приема информационного символа $\min p_0$ при фиксированных мощности лазерного передатчика $P_{ПРД}$, систематической $\delta\theta$ и среднеквадратической σ_θ ошибках наведения передающей оптической антенны и характеристиках лазерного канала передачи информации имеет вид:

$$\theta_{0opt} = \arg_{\theta_0} \min p_0(\theta_0, \sigma_\theta, \delta\theta, \Delta\theta, III) \Big|_{P_{ПРД}=\text{const}},$$

где III – вектор параметров шумов, действующих в канале передачи информации, описывающий внутренние (тепловой и избыточный) и внешние (фоновые) шумы фотоприемника.

Поставленная задача относится к физическому уровню описания процесса передачи информации и может решаться применительно к межспутниковым каналам КЛСПИ независимо от используемого протокола передачи информации канального уровня. Отмечено принципиальное значение оптимизации ширины оптического пучка $2\theta_0$ с точки зрения закономерностей, характеризующих помехоустойчивость лазерных каналов передачи информации с ошибками наведения [4]. При наличии ошибок наведения и связанных с ними мультипликативных помех при фиксированной $P_{ПРД}$ оптимальная ширина оптического пучка $2\theta_{0opt}$ всегда превышает дифракционную, хотя это и ведет к снижению энергетического потенциала лазерного канала.

Формализованная постановка задачи оптимизации ширины полосы захвата устройства слежения $\Delta\theta$ по критерию максимума средней потоковой скорости передачи информации $\max V$ при фиксированных мощности лазерного передатчика $P_{ПРД}$, ширине оптического пучка $2\theta_0$, систематической $\delta\theta$ и среднеквадратической σ_θ ошибках наведения передающей оптической антенны, характеристиках лазерного канала и потока передаваемой информации имеет вид:

$$\Delta\theta_{opt} = \arg_{\Delta\theta} \max V(\theta_0, \sigma_\theta, \delta\theta, \Delta\theta, T_{cp}, III, II, A) \Big|_{\substack{P_{ПРД}=\text{const} \\ V_m=\text{const}}},$$

где III – вектор параметров шумов, действующих в канале передачи информации;

II – вектор параметров передаваемого информационного массива и используемого для его передачи корректирующего кода;

A – тип используемого ARQ-протокола передачи информации.

Поставленная задача относится к канальному уровню описания процесса передачи информации и решается применительно к межспутниковым каналам КЛСПИ с использованием ARQ-протоколов передачи информации канального уровня с установлением связи по обратному каналу. Проведенный анализ показал, что наличие оптимальной конечной ширины полосы захвата $\Delta\theta_{opt}$ свойственно КЛСПИ с установлением связи по обратному каналу, позволяющей при срыве слежения прекращать передачу информации на время повторного вхождения в связь. При этом за счет выбора оптимальной ширины полосы захвата $\Delta\theta_{opt}$ достигается компромисс между вероятностями ошибок, приводящих к переспросу искаженных сообщений, и срывов слежения, приводящих к временному прекращению передачи информации.

Зависимость показателей p_0 и V межспутниковых лазерных каналов передачи информации от целого ряда дискретных параметров приводит к тому, что использование аналитических методов для исследования и параметрической оптимизации приемно-передающих термина-

лов КЛСПИ становится практически невозможным. Это приводит к необходимости разработки практических методик параметрической оптимизации, позволяющих для реальных условий функционирования КЛСПИ научно обоснованно выбирать параметры бортовых приемно-передающих терминалов, существенные для достижения наилучших показателей помехоустойчивости и скорости передачи информации.

Невозможность получения аналитических результатов приводит к тому, что единственно возможными методами решения задач многопараметрической оптимизации являются методы, использующие перебор и варьирование возможных вариантов значений интересующих параметров. Поэтому для решения поставленных задач параметрической оптимизации бортовых приемно-передающих терминалов КЛСПИ по критериям $\min p_0$ и $\max V$ был использован подход к выбору характеристик терминальной аппаратуры путем вариантного перебора наиболее значимых параметров подсистем формирования пучка, наведения и слежения, направленного на определение оптимальных (наилучших) из комбинаций интересующих параметров по заранее сформулированным критериям оценки.

АЛГОРИТМ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ БОРТОВЫХ ПРИЕМНО-ПЕРЕДАЮЩИХ ТЕРМИНАЛОВ КОСМИЧЕСКИХ ЛАЗЕРНЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Разработан графоаналитический метод вариантного перебора, позволяющий выбирать оптимальные значения параметров бортовых приемно-передающих терминалов КЛСПИ, обеспечивающие наилучшие показатели помехоустойчивости и скорости передачи информации в межспутниковых лазерных каналах при заданных диапазонах значений интересующих параметров и ограничениях на техническую реализацию. Предлагаемый метод вариантного перебора основан на анализе семейств зависимостей показателей помехоустойчивости, скорости передачи информации и других характеристик КЛСПИ от параметров бортовых приемно-передающих терминалов для определения оптимальных или рациональных значений интересующих параметров в заданных условиях. В зависимости от решаемой оптимизационной задачи и накладываемых ограничений могут выбираться параметры, обеспечивающие наилучшие значения выбранных показателей.

Решение оптимизационных задач методом вариантного перебора получается в результате совместного анализа взаимного сопоставления графиков и аналитических зависимостей показателей помехоустойчивости и средней скорости передачи информации по межспутниковым лазерным каналам от параметров бортовых приемно-передающих терминалов. При этом оптимальное решение может быть получено при учете взаимного влияния всех параметров, а рациональное решение – при сопоставлении наиболее значимых.

В первую очередь осуществляется оптимизация параметров терминалов по критерию $\min p_0$, поскольку величина вероятности ошибочного приема информационного символа p_0 характеризует канал передачи информации на нижнем физическом уровне, и обеспечение минимальной величины p_0 необходимо при использовании любых протоколов передачи информации более высокого канального уровня – как с установлением, так и без установления связи по обратному каналу. При необходимости в случае использования в КЛСПИ ARQ-протоколов передачи информации с установлением связи по обратному каналу осуществляется оптимизация параметров терминалов по критерию $\max V$.

При решении поставленных оптимизационных задач графоаналитическим методом вариантного перебора предварительно определяются представляющие интерес диапазоны значений оптимизируемых параметров и ожидаемые условия связи. Для этих диапазонов изменения параметров и условий связи с учетом заданных требований к помехоустойчивости и скорости передачи информации и ограничений осуществляется выбор оптимальных параметров ширины оптического пучка и ширины полосы захвата устройства слежения. Расчеты

величин p_0 и V выполняются с использованием выбранной математической модели межспутникового лазерного канала передачи информации. По результатам анализа полученных семейств зависимостей p_0 и V от интересующих значений параметров приемно-передающих терминалов определяются условия достижения наилучших показателей помехоустойчивости и скорости передачи информации, оценивается их соответствие требованиям и выполнение заданных ограничений.

Реализация метода вариантного перебора при параметрической оптимизации приемно-передающих терминалов КЛСПИ предполагает выполнение следующих шагов (этапов) исследований и анализа полученных результатов [6]:

1. Задание условий функционирования КЛСПИ и основных технических характеристик приемно-передающих терминалов.

2. Подготовка исходных данных для расчетов и ввод параметров математической модели межспутникового лазерного канала передачи информации, существенных с точки зрения решаемой оптимизационной задачи.

3. Расчет и построение семейств графиков зависимостей интересующих показателей для варьируемых значений параметров бортовых приемно-передающих терминалов при заданных ограничениях.

4. Определение по полученным графическим зависимостям точек экстремума и оптимальных по выбранному критерию дискретных значений интересующих параметров приемно-передающих терминалов.

5. Построение по найденным дискретным значениям оптимальных параметров приемно-передающих терминалов интерполирующих зависимостей для оптимальных значений параметров в диапазоне их изменения методом сплайн-интерполяции.

6. Аппроксимация зависимостей, построенных методом сплайн-интерполяции, аналитическими выражениями и оценка точности аппроксимации.

7. Выбор на основе полученных аппроксимирующих выражений параметров бортовых приемно-передающих терминалов, обеспечивающих оптимальные по выбранному критерию показатели качества функционирования КЛСПИ.

8. Проверка, удовлетворяют ли полученные значения показателей качества функционирования КЛСПИ заданным ограничениям, если нет, перейти к шагу 3.

9. Проверка, удовлетворяют ли полученные значения показателей качества функционирования КЛСПИ заданным требованиям, если нет, перейти к шагу 1.

10. Разработка рекомендации по выбору оптимальных параметров бортовых приемно-передающих терминалов КЛСПИ с учетом выбранного критерия оптимизации.

С учетом [6] разработана структурная схема алгоритма, реализующего рассмотренную методику вариантного перебора, обеспечивающая нахождение наилучших по выбранному критерию показателей качества функционирования межспутниковых лазерных каналов КЛСПИ при заданных ограничениях графоаналитическим методом (рис. 1).

Подготовка и ввод исходных данных, расчет семейств графиков зависимостей интересующих показателей для варьируемых значений параметров бортовых приемно-передающих терминалов на шагах 2 и 3 алгоритма осуществляется с помощью выбранной математической модели межспутникового лазерного канала передачи информации. Сравнение графиков зависимостей, полученных для различных наборов значений оптимизируемых параметров, позволяет определить значения параметров, отвечающие выбранному критерию оптимальности. Построение интерполирующих зависимостей для оптимальных значений параметров в диапазоне их изменения и аппроксимация интерполирующих зависимостей аналитическими выражениями осуществляются на шагах 5 и 6 алгоритма с помощью стандартных программ сплайн-интерполяции и аппроксимации экспериментальных зависимостей.

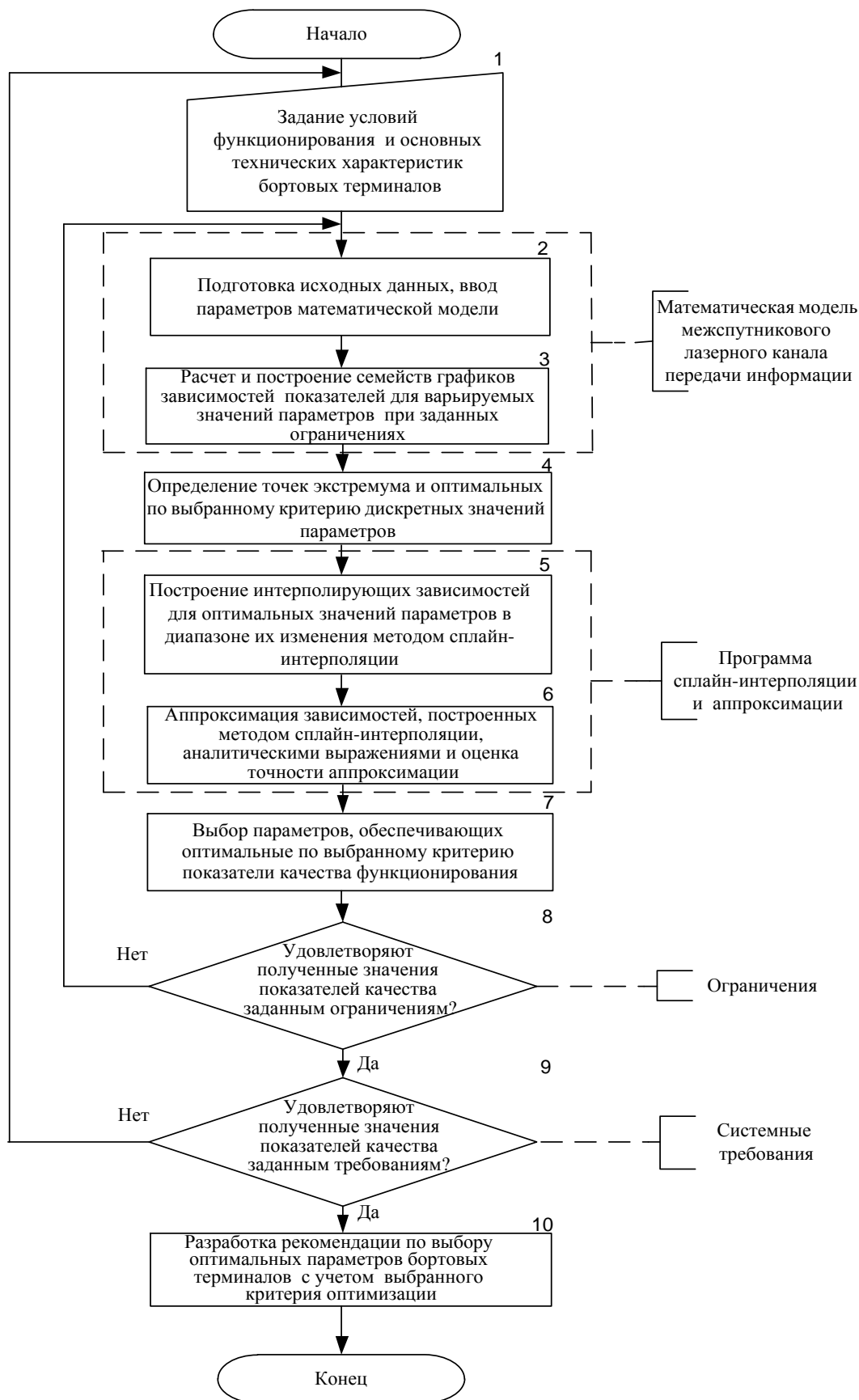


Рис. 1. Структурная схема алгоритма параметрической оптимизации

Проверка полученных результатов параметрической оптимизации на шагах 8 и 9 алгоритма осуществляется с точки зрения соответствия достижимых показателей заданным ограничениям и системным требованиям.

При использовании разработанного алгоритма для выбора оптимальной ширины оптического пучка θ_0 в условиях ошибок наведения по критерию $\min p_0$ используются расчетные данные семейств графиков зависимостей вероятностей ошибочного приема информационного символа p_0 от интересующих параметров, описывающих процесс передачи информации на физическом уровне ЭМВОС. А при использовании разработанного метода для выбора ширины полосы захвата устройства слежения $\Delta\theta$ в условиях срывов слежения по критерию $\max V$ используются расчетные данные семейств графиков зависимостей вероятностей средней скорости передачи информации V от интересующих параметров, описывающих процесс передачи информации на канальном уровне ЭМВОС с учетом их зависимости от параметров физического уровня. Ограничения и системные требования задаются со стороны более высоких иерархических уровней организации применения КЛСПИ в интересах решения целевых задач передачи СИ с КА.

Расчет с помощью математической модели межспутникового лазерного канала передачи информации семейств зависимостей интересующих показателей от оптимизируемых параметров по сути представляет собой вычислительный эксперимент. В результате анализа полученных семейств графических зависимостей p_0 и V от оптимизируемых параметров формируется набор оптимальных значений параметров $\Delta\theta_{\text{opt}}$ и θ_{opt} , найденных в результате вычислительного эксперимента, который интерполируется методом сплайн-интерполяции [7], после чего полученные зависимости оптимальных значений параметров аппроксимируются в выбранном классе аналитических функций [8]. Сплайн-интерполяция позволяет получить графические зависимости оптимальных значений параметров θ_{opt} и $\Delta\theta_{\text{opt}}$ от различных параметров межспутниковых лазерных каналов и потоков передаваемой информации. Аппроксимация позволяет получить аналитические выражения для выбора значений параметров θ_{opt} и $\Delta\theta_{\text{opt}}$ в диапазоне изменения параметров межспутниковых лазерных каналов и потоков передаваемой информации.

Наиболее эффективным и устойчивым способом интерполяции функций является интерполяция сплайнами третьего порядка [7, 9]. В основе сплайн-интерполяции лежит следующий принцип. Интервал интерполяции разбивается узловыми точками на небольшие отрезки, на каждом из которых функция задается полиномом третьей степени. В рассматриваемом случае отрезки интервала интерполяции определяются шагом изменения варьируемого параметра – аргумента, в зависимости от которого строится график функции оптимизируемого параметра. Коэффициенты полинома подбираются таким образом, чтобы выполнялись определенные условия (какие именно, зависит от способа интерполяции). Так называемая сплайновая функция представляет собой кусочную функцию, определяемую на каждом отдельном интервале. При этом на каждом участке такая функция описывается отдельным полиномом соответствующей степени, а в узловых точках совпадает с исходными (экспериментальными) значениями оптимизируемого параметра.

Аппарат сплайн-интерполяции реализован в современных математических пакетах (MathCAD, MATLAB и других) и позволяет получить интерполирующие функции, которые дают в узловых точках непрерывность не только представляемой ими функции, но и ее первых и даже вторых производных [9, 10]. Системы линейных уравнений, которые требуется решать для построения сплайн-кривых, очень хорошо обусловлены, что позволяет получать коэффициенты полиномов с высокой точностью. В то же время получаемая в результате сплайн-интерполяции функция, описывающая построенный график зависимости, сложна для использования при последующих вычислениях. Так, при сплайн-интерполяции функции $y(x)$ сплайнами третьего порядка в общем случае получается интерполирующая функция $y_{\text{инт}} = \text{interp}(S, X, Y, x)$, где S – вектор, содержащий значения вторых производных сплайна в экспериментальных точках; X и Y – векторы с соответствующими значениями аргумента и функции; x – аргумент, в зависимости от которого строится создаваемая функция.

Возможности, предоставляемые современными математическими пакетами, позволяют достаточно просто получить аналитические выражения для аппроксимирующей упрощенной функции, описывающей исходную функцию, полученную методом сплайн-интерполяции экспериментальных данных, и оценивать точность аппроксимации [9, 10]. В результате функция $y(x)$ аппроксимируется в выбранном классе аналитических функций некоторой аппроксимирующей функцией. Так, при сплайн-интерполяции функции $y(x)$ сплайнами третьего порядка получается аппроксимирующая функция $y_{\text{appr}}=f[\text{interp}(S,X,Y,x)]$. Для гладких зависимостей высокая точность аппроксимации в большинстве случаев достигается при использовании в качестве аппроксимирующих степенных функций до третьего порядка включительно [8].

Результатом решения оптимизационных задач является определение закономерностей влияния критичных параметров бортовых приемно-передающих терминалов на показатели помехоустойчивости и скорости передачи информации по межспутниковым лазерным каналам и разработка рекомендаций по выбору значений параметров с учетом выбранного критерия оптимизации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье представлен алгоритм реализации методики параметрической оптимизации бортовых приемно-передающих терминалов КЛСПИ, позволяющий графоаналитическим методом выбирать их параметры, существенные для достижения их наилучших показателей для заданных (ожидаемых) условий функционирования. В основу алгоритма положен вариантный перебор наиболее значимых параметров подсистем формирования оптического пучка, наведения и слежения, направленный на определение с помощью разработанной математической модели межспутникового лазерного канала оптимальных (наилучших) комбинаций интересующих параметров по сформулированным критериям оценки помехоустойчивости и скорости передачи информации.

Список используемых источников

1. Галлеев Э.М. Оптимизация. Теория. Примеры. Задачи. – М.: УРСС, 2006. – 234 с.
2. Поллак Б.Т. Введение в оптимизацию. – М.: Наука, 1983. – 384 с.
3. Андронов С.А. Методы оптимального проектирования: текст лекций. – СПб.: СПбГУАП, 2001. – 169 с.
4. Мальцев Г.Н., Подрезов С.В. Влияние ошибок наведения лазерных пучков на вероятность обнаружения оптических сигналов // Оптический журнал. – 1998. – Т.65, №4. – С. 48–52.
5. Мальцев Г.Н., Подрезов С.В. Оптимизация режима работы лавинного фотодиода при приеме оптических сигналов // Оптический журнал. – 2000. – №6. – С. 50–55.
6. Буриков С.В. Метод анализа алгоритмов передачи информации в перспективных космических лазерных системах // Сборник алгоритмов и программ. – Вып. 27. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2008. – С. 241–248.
7. Загоруйко Н.Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. – Новосибирск: Институт математики, 1999. – 270 с.
8. Браверман Э.М., Мучник И.Б. Структурные методы обработки эмпирических данных. – М.: Наука, 1983. – 464 с.
9. Кривилев А.В. Основы компьютерной математики с использованием системы MATLAB. – М.: Лекс-Книга, 2005. – 496 с.
10. Гурский Д.А. Вычисления в MathCAD. – Мн.: Новое знание, 2003. – 814 с.

С.В. Буриков,
кандидат техн. наук;
Г.Н. Мальцев,
доктор техн. наук, профессор

СТАТИСТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССОВ СРЫВА СЛЕЖЕНИЯ И ВХОЖДЕНИЯ В СВЯЗ ПО МЕЖСПУТНИКОВОМУ ЛАЗЕРНОМУ КАНАЛУ В УСЛОВИЯХ ОШИБОК ВЗАИМНОГО НАВЕДЕНИЯ БОРТОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ АНТЕНН

Выполнено статистическое описание процессов срыва слежения и входа в связь по межспутниковому лазерному каналу в условиях ошибок наведения. На основе плотности распределения ошибок наведения и марковской модели входа в связь в условиях ошибок наведения получены аналитические выражения для вероятности срыва слежения и среднего времени входа в связь в зависимости от параметров подсистем наведения оптического пучка, поиска и слежения бортовых приемно-передающих терминалов. Представлены результаты расчетов вероятности срыва слежения и среднего времени входа в связь для типичных условий функционирования космических лазерных систем передачи информации.

Ключевые слова: лазерная система передачи информации, подсистема поиска и слежения, срыв слежения, время входа в связь.

ВВЕДЕНИЕ

Успехи в области лазерных технологий привели к возрастанию интереса к использованию лазерных каналов передачи информации для реализации высокоскоростного защищенного информационного обмена с космическими аппаратами (КА) в перспективных космических комплексах [1, 2]. Однако существует ряд технических проблем применения космических лазерных систем передачи информации. К их числу относится проблема наведения узких оптических пучков, ширина которых соизмерима с величиной ошибок наведения и углового сопровождения КА на дальностях до нескольких десятков тысяч километров.

Проблема наведения бортовых оптических антенн является ключевой технической проблемой внедрения лазерных систем передачи информации в космические комплексы. Ошибки взаимного наведения бортовых оптических антенн и углового сопровождения КА могут приводить к срывам слежения в межспутниковых лазерных каналах, а при поддержании связи – к флуктуациям интенсивности принимаемых оптических сигналов и эффекту «насыщения» помехоустойчивости [3, 4]. В силу существующих технических ограничений имеются объективные трудности полного устранения влияния ошибок наведения бортовых оптических антенн на качество связи по межспутниковым лазерным каналам. В сочетании с характерным для бортовой аппаратуры КА ограничением на выходную мощность передатчика это не позволяет уменьшить влияние ошибок наведения простым улучшением соответствующих параметров лазерных терминалов.

В условиях неустраняемых ошибок наведения для устойчивой работы космических лазерных систем передачи информации (КЛСПИ) в составе ее приемно-передающих терминалов необходимо использовать подсистему поиска и входа в связь, характеристики которой должны обеспечивать минимизацию ошибок наведения бортовых оптических антенн до уровня, соответствующего допустимой величине вероятности срыва слежения, и оперативное восстановление связи и передачи информации по межспутниковому лазерному каналу после срыва слежения.

Для анализа влияния на процесс передачи информации по межспутниковому лазерному каналу всех наиболее значимых факторов, имеющих место при функционировании КЛСПИ,

необходимо установить взаимосвязь статистических характеристик процессов срыва слежения и вхождения в связь с параметрами подсистем наведения оптического пучка, поиска и слежения бортовых приемно-передающих терминалов. В качестве таких статистических характеристик будем рассматривать вероятность срыва слежения и среднее время вхождения в связь и проведем их расчеты для типичных условий функционирования КЛСПИ.

СТАТИСТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА СРЫВА СЛЕЖЕНИЯ

Процесс функционирования подсистем поиска и слежения бортовых приемно-передающих терминалов КЛСПИ в общем случае включает поиск, захват и слежение за КА, с которым устанавливается связь. Вхождение в связь осуществляется после захвата и перехода в режим слежения. Среднее время вхождения в связь $T_{ср}$ определяется параметрами подсистемы поиска и характеризует интервал времени между началом процесса поиска и переходом в режим слежения. Срыв слежения приводит к началу повторного поиска и вхождения в связь. Организация повторного поиска технически может несколько отличаться от начального поиска, однако с точки зрения формализованного описания процесса поиска характеристики подсистемы поиска в обоих случаях можно считать одинаковыми.

Вероятность срыва слежения $P_{ср}$ определяется параметрами подсистем наведения и слежения и характеризует частоту срывов связи в условиях ошибок наведения бортовых оптических антенн. При известной статистике ошибок наведения оптических антенн вероятность срыва слежения зависит от ширины полосы захвата устройства слежения и определяется методами теории вероятностей [3]. В предположении, что в бортовых приемно-передающих терминалах используются приемники с широким угловым полем, срыв слежения происходит при превышении абсолютной величины текущей ошибки наведения передающей оптической антенной θ полуширины полосы захвата устройства слежения $\Delta\theta$. Тогда вероятность срыва слежения определяется в соответствии с выражением

$$P_{ср} = \int_{\Delta\theta}^{\infty} w(\theta) d\theta, \quad (1)$$

где $w(\theta)$ – функция плотности распределения ошибок наведения. Бесконечной полосе захвата соответствует $\Delta\theta \rightarrow \infty$ и $P_{ср} = 0$. Без учета систематической ошибки наведения ($\delta\theta = 0$) суммарная ошибка наведения θ описывается законом Рэлея с плотностью распределения

$$w(\theta) = \frac{\theta}{\sigma_{\theta}^2} \exp\left(-\frac{\theta^2}{2\sigma_{\theta}^2}\right), \quad (2)$$

где σ_{θ} – среднеквадратическое отклонение случайной ошибки наведения по одной угловой координате.

При описании ошибок наведения законом распределения Рэлея с функцией плотности распределения (2) интегрирование в выражении (1) выполняется аналитически и дает выражение

$$P_{ср} = \exp\left(-\frac{\gamma^2}{2\nu^2}\right), \quad (3)$$

где γ , ν – относительные параметры, характеризующие случайную составляющую ошибки наведения и ширину полосы захвата, $\gamma = \theta/\sigma_{\theta}$, $\nu = \theta_0/\Delta\theta$ ($2\theta_0$ – ширина оптического пучка).

При наличии систематической ошибки наведения $\delta\theta \neq 0$ абсолютная величина суммарной ошибки наведения θ описывается законом Рэлея – Райса с плотностью распределения

$$w(\theta) = \frac{\theta}{\sigma_{\theta}^2} \exp\left(-\frac{\theta^2 + \delta\theta^2}{2\sigma_{\theta}^2}\right) I_0\left(\frac{\theta \cdot \delta\theta}{\sigma_{\theta}^2}\right), \quad (4)$$

где $I_0(x)$ – модифицированная функция Бесселя нулевого порядка. Тогда интегрирование в выражении (1) выполняется численными методами, а результирующие значения величины P_{cc} зависят от относительных параметров $\alpha=\delta\theta/\theta_0$, $\gamma=\theta_0/\sigma_\theta$ и $\nu=\theta_0/\Delta\theta$, характеризующих подсистему наведения и слежения бортового приемно-передающего терминала.

На рис. 1 и 2 показаны графики расчетных зависимостей вероятности срыва слежения P_{cc} от относительных параметров ν и γ . На рис. 1 – зависимости P_{cc} от относительного параметра ν при различных значениях параметра γ . Кривая 1 соответствует $\gamma=4$, кривая 2 – $\gamma=3$, кривая 3 – $\gamma=2$. На рис. 2 – зависимости P_{cc} от относительного параметра γ при различных значениях ν . Кривая 1 соответствует $\nu=0,1$, кривая 2 – $\nu=0,2$, кривая 3 – $\nu=0,3$. На обоих рисунках штриховые линии соответствуют наличию систематических ошибок наведения ($\delta\theta \neq 0$) и рассчитаны методом численного интегрирования по формуле (1) при $\alpha=0,2$ с использованием плотности распределения $w(\theta)$ вида (4), сплошные линии соответствуют отсутствию систематических ошибок наведения ($\delta\theta=0$) и рассчитаны по формуле (3).

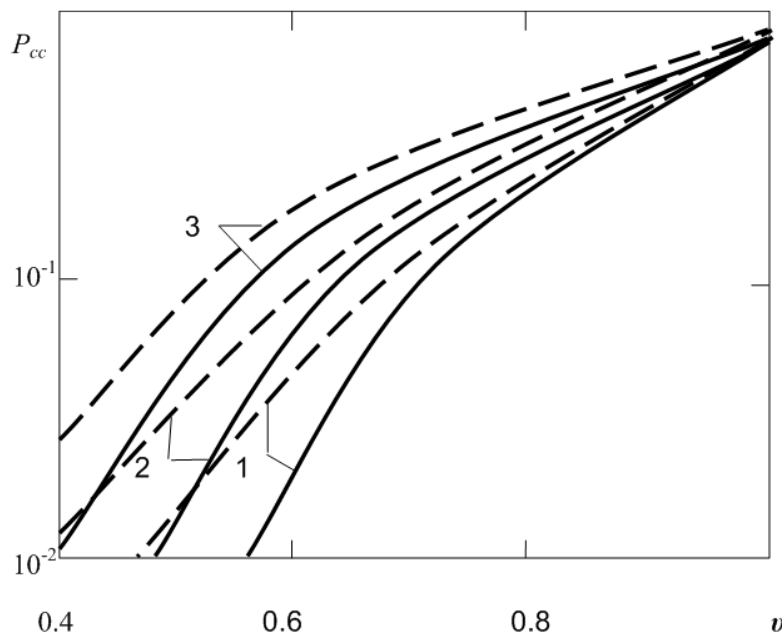


Рис. 1. Зависимость вероятности срыва слежения P_{cc} от параметра ν

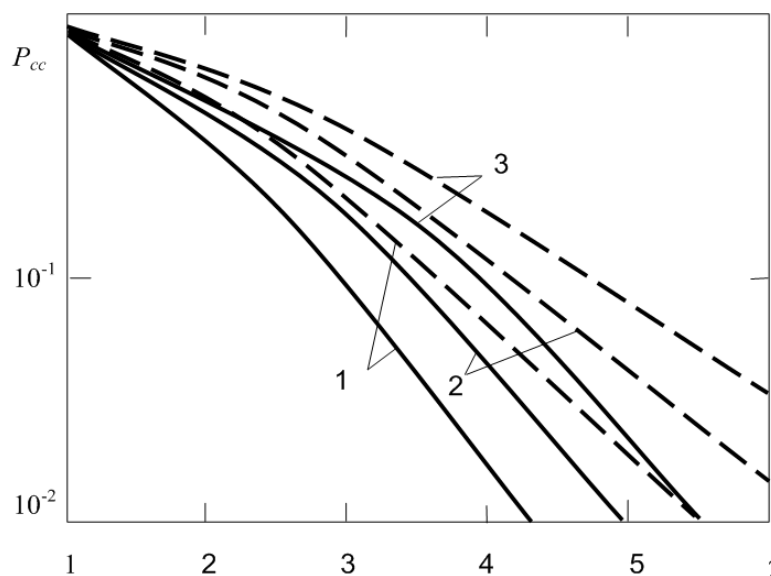


Рис. 2. Зависимость вероятности срыва слежения P_{cc} от параметра γ

Как и следовало ожидать, ширина полосы захвата подсистемы слежения $2\Delta\theta$, характеризующая относительным параметром ν , оказывает значительное влияние на вероятность срыва слежения P_{cc} . Уменьшение ν соответствует уменьшению ширины полосы захвата и приводит к увеличению величины P_{cc} . Вероятность срыва слежения также увеличивается с увеличением случайных σ_θ и систематических $\delta\theta$ ошибок наведения, характеризующих относительными параметрами α и γ . При типичных для КЛСПИ значениях параметров подсистем наведения и слежения $\delta\theta=2\cdot 10^{-6}$ рад, $\sigma_\theta=3\cdot 10^{-6}$ рад, $\Delta\theta=10^{-4}$ рад [2, 5] вероятность срыва слежения составляет около $P_{cc}=10^{-2}$.

СТАТИСТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ВХОЖДЕНИЯ В СВЯЗЬ

Определение среднего времени вхождения в связь по межспутниковому лазерному каналу требует описания процесса поиска как двухсторонней многошаговой процедуры, когда бортовые терминалы производят одновременный поиск в своих областях неопределенности [1, 2]. При этом зоны неопределенности разбиваются на ячейки, угловые размеры которых определяются угловой разрешающей способностью системы поиска. Широкое распространение при решении подобных задач получает описание состояний процесса поиска и вероятностей переходов из одного состояния в другое, базирующееся на теории марковских процессов, позволяющей с высокой степенью приближения описать процессы установления связи между бортовыми приемно-передающими терминалами КЛСПИ [6, 7].

При разработке марковской модели вхождения в связь по межспутниковому лазерному каналу необходимо задать пространство всех возможных состояний системы, составить граф состояний и определить функциональные зависимости, характеризующие влияние параметров отдельных элементов системы на вероятности переходов. При этом в соответствии с основным свойством марковских процессов переход к любому из возможных состояний зависит лишь от того, в каком из них система находится в данный момент и не зависит от предыдущих состояний. По найденным значениям вероятностей переходов между состояниями можно вычислять временные параметры переходов системы в интересующие состояния и вероятностно-временные характеристики процесса вхождения в связь.

Рассмотрим марковскую модель процесса установления связи в КЛСПИ по межспутниковому лазерному каналу между двумя КА. Полагаем время вхождения в связь случайной величиной, зависящей от вероятностей обнаружения в зоне неопределенности одного бортового терминала другим бортовым терминалом, осуществляющим поиск. Вхождение в связь в каждом из направлений происходит при попадании оптического пучка, излучаемого оптической антенной передающего терминала, в пределы углового поля полосы захвата приемного терминала и обнаружении сигнала оптическим приемником. При этом учитывается то обстоятельство, что для поиска и вхождения в связь в КЛСПИ используются специальные лазерные маяки, входящие в состав бортовых приемно-передающих терминалов. При сканировании зоны неопределенности по излучению этих маяков наводятся пучки информационных лазеров, по которым непосредственно передается информация [5, 8].

При установлении связи по межспутниковому лазерному каналу между двумя КА (КА-1 и КА-2) в КЛСПИ со сканированием зоны неопределенности возможны следующие состояния процесса поиска и вхождения в связь:

1. КА-1 и КА-2 осуществляют поиск в угловой зоне неопределенности.
2. КА-1 осуществил ложное обнаружение КА-2, КА-2 осуществляет поиск в угловой зоне неопределенности.
3. КА-1 осуществил правильное обнаружение КА-2, КА-2 осуществляет поиск в угловой зоне неопределенности.
4. КА-2 осуществил ложное обнаружение КА-1, КА-1 осуществляет поиск в угловой зоне неопределенности.

5. КА-2 осуществил правильное обнаружение КА-1, КА-1 осуществляет поиск в угловой зоне неопределенности.

6. КА-1 осуществил ложное обнаружение КА-2, КА-2 осуществил ложное обнаружение КА-1.

7. КА-1 осуществил правильное обнаружение КА-2, КА-2 осуществил ложное обнаружение КА-1.

8. КА-2 осуществил правильное обнаружение КА-1, КА-1 осуществил ложное обнаружение КА-2.

9. КА-1 осуществил правильное обнаружение КА-2, КА-2 осуществил правильное обнаружение КА-1.

Состояния 1–9 образуют полную группу событий процесса поиска и вхождения в связь. Соответствующий граф состояний марковской модели вхождения в связь по межспутниковому лазерному каналу изображен на рис. 3. Состояния модели (узлы графа) и переходы между ними (ребра графа) соответствуют логике работы подсистем поиска и вхождения в связь КЛСПИ со сканированием зоны неопределенности. Процесс поиска начинается в состоянии 1, которое является исходным, и завершается в состоянии 9, которое является конечным (поглощающим). Вероятности переходов между состояниями обозначаются в виде P_{ij} , что соответствует переходу между состояниями i и j , $i=1, \dots, 8$, $j=1, \dots, 9$, и полагаются постоянными на анализируемом интервале времени.

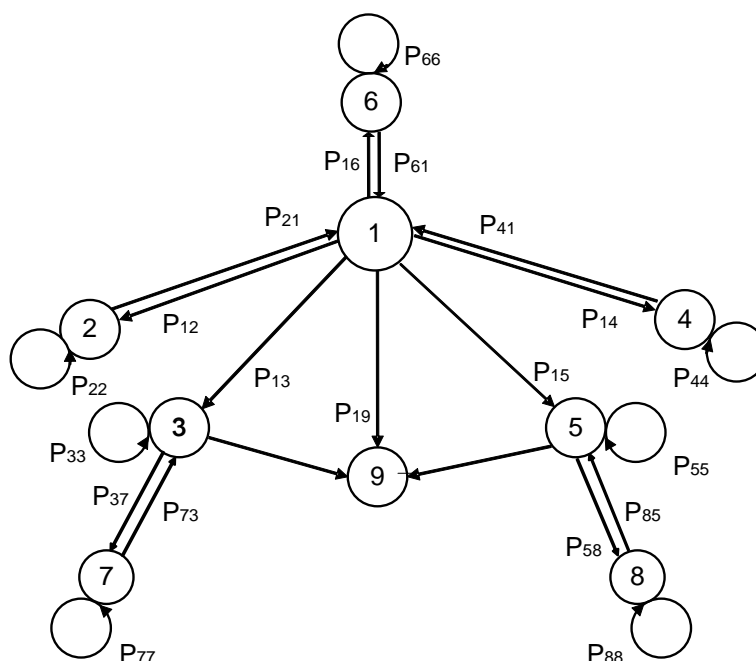


Рис. 3. Граф состояний марковской модели вхождения в связь по межспутниковому лазерному каналу

В соответствии с логикой работы подсистем поиска и вхождения в связь КЛСПИ при правильном обнаружении одного бортового терминала другим бортовым терминалом происходит переход соответствующего терминала в режим слежения, из которого он может выйти только при срыве слежения с вероятностью P_{cc} , в общем случае определяемой в соответствии с выражением (1). Поэтому в графе состояний процесса вхождения в связь, изображенном на рис. 3, возврат из состояний 3, 5 и 9 в исходное состояние 1 и из состояния 9 в состояния 3 и 5 невозможен. При этом невозможность выхода из конечного (поглощающего) состояния делает марковскую цепь, соответствующую анализируемому графу состояний, невозвратной.

При ложном обнаружении одного бортового терминала другим бортовым терминалом переход соответствующего терминала в режим слежения невозможен, и он возвращается в режим поиска в области неопределенности. Поэтому из состояний 2, 4 и 6 возможен возврат в исходное состояние 1, из состояния 7 – в состояние 3, из состояния 8 – в состояние 5. Кроме того, процесс вхождения в связь может в течение нескольких шагов оставаться в состояниях 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, в которых хотя бы на одном из терминалов не произошло правильное обнаружение, что соответствует продолжению поиска или повторному ложному обнаружению. При делении всей области неопределенности на M ячеек вероятность ложного обнаружения (ложной тревоги) в каждой ячейке составляет $P_{лт}$. Если в составе КЛСПИ применяются унифицированные бортовые приемно-передающие терминалы, обладающие одинаковыми техническими характеристиками, то для КА-1 и КА-2 параметры M и $P_{лт}$ можно полагать одинаковыми.

Стандартной формой представления марковской цепи, описывающей математическую модель процесса вхождения в связь, является матричное описание, позволяющее в сочетании с графом состояний модели рассчитать вероятностно-временные характеристики этого процесса. Рассмотрим матричное описание математической модели процесса вхождения в связь по межспутниковому лазерному каналу КЛСПИ. Поскольку число состояний процесса конечно, то можно составить переходную матрицу \mathbf{P} , представляющую собой стохастическую матрицу переходных вероятностей P_{ij} , описывающую процесс вхождения в связь в дискретном времени с длительностью одного шага процедуры установления связи по межспутниковому лазерному каналу между двумя КА Δt .

Переходная матрица является квадратной, содержит в качестве элементов вероятности переходов между состояниями системы и имеет размерность, соответствующую числу состояний системы. Составление переходной матрицы осуществляется на основе графа состояний. В случае отсутствия переходов между отдельными состояниями ребра графа имеют нулевой вес, и соответствующий элемент переходной матрицы полагается нулевым. Нулевым также является элемент матрицы, соответствующий исходному состоянию ($i=1, j=1$). Конечному (поглощающему) состоянию ($i=9, j=9$) соответствует единичный элемент переходной матрицы. Переходная матрица для графа состояний, изображенного на рис. 3, имеет следующий вид:

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} 0 & P_{12} & P_{13} & P_{14} & P_{15} & P_{16} & 0 & 0 & P_{19} \\ P_{21} & P_{22} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & P_{33} & 0 & 0 & 0 & P_{37} & 0 & P_{39} \\ P_{41} & 0 & 0 & P_{44} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & P_{55} & 0 & 0 & P_{58} & P_{59} \\ P_{61} & 0 & 0 & 0 & 0 & P_{66} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & P_{73} & 0 & 0 & 0 & P_{77} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & P_{85} & 0 & 0 & P_{88} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Для невозвратной поглощающей марковской цепи вероятность того, что траектория переходов из любого начального состояния заканчивается в каком-либо из поглощающих состояний, равна 1. Исходя из переходной матрицы (5) можно определить среднее число шагов поиска, необходимого для перехода в поглощающее состояние 9, соответствующее завершению процесса вхождения в связь при условии, что поиск начался в исходном состоянии 1. Для этого осуществляются следующие матричные преобразования.

Используя переходную матрицу \mathbf{P} , определяемую выражением (5), записывается матрица \mathbf{Q} , соответствующая непоглощающим состояниям марковской цепи:

$$\mathbf{Q} = \begin{pmatrix} 0 & P_{12} & P_{13} & P_{14} & P_{15} & P_{16} & 0 & 0 \\ P_{21} & P_{22} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & P_{33} & 0 & 0 & 0 & P_{37} & 0 \\ P_{41} & 0 & 0 & P_{44} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & P_{55} & 0 & 0 & P_{58} \\ P_{61} & 0 & 0 & 0 & 0 & P_{66} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & P_{73} & 0 & 0 & 0 & P_{77} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & P_{85} & 0 & 0 & P_{88} \end{pmatrix}. \quad (6)$$

С матрицей \mathbf{Q} , определяемой выражением (6), связана так называемая фундаментальная матрица:

$$\mathbf{Z} = [\mathbf{I} - \mathbf{Q}]^{-1}, \quad (7)$$

где $\mathbf{I} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}$ – единичная матрица, соответствующая поглощающим состояниям

цепи. Каждый элемент фундаментальной матрицы \mathbf{Z} соответствует среднему числу попаданий анализируемого процесса в то или иное состояние до завершения (попадания в поглощающее состояние). Элементы матрицы \mathbf{Z} определяются в соответствии с выражением

$$z_{ij} = \frac{A_{ij}}{\text{Det}[\mathbf{I} - \mathbf{Q}]}, \quad \text{где } A_{ij} \text{ – алгебраическое дополнение } ij\text{-го элемента матрицы } [\mathbf{I} - \mathbf{Q}].$$

Для определения среднего времени вхождения в связь необходимо определить среднее число шагов прохождения процесса через состояния 1–8, которое определяется элементами $z_{11}, z_{12}, z_{13}, z_{14}, z_{15}, z_{16}, z_{17}, z_{18}$ первой строки фундаментальной матрицы \mathbf{Z} . Если время одного шага процедуры установления связи составляет Δt , то среднее время вхождения в связь определяется выражением

$$T_{\text{ср}} = \Delta t (z_{11} + z_{12} + z_{13} + z_{14} + z_{15} + z_{16} + z_{17} + z_{18}). \quad (8)$$

Время одного шага процедуры поиска Δt , входящее в выражение (8), определяется следующим выражением: $\Delta t = \tau_{\text{нак}} + \tau_{\text{пер}} + \tau_{\text{ожид}}$, где $\tau_{\text{нак}}$ – время накопления сигнала оптическим приемником подсистемы поиска и слежения; $\tau_{\text{пер}}$ – время, необходимое для переключения оптической антенны в новое положение при сканировании; $\tau_{\text{ожид}}$ – время ожидания принимаемого сигнала до перехода в следующее состояние. Величина $\tau_{\text{ожид}}$ должна удовлетворять условию $\tau_{\text{ожид}} \geq R_{\text{max}}/c$, где R_{max} – максимальное расстояние между устанавливаемыми связью КА, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света.

Для вычисления среднего времени вхождения в связь $T_{\text{ср}}$ по формуле (8) необходимо задать вероятности переходов P_{ij} , $i=1, \dots, 8$, $j=1, \dots, 9$. Эти вероятности зависят от технических характеристик устройств поиска и слежения бортовых приемно-передающих терминалов КЛСПИ, которые формализуются параметрами M – число ячеек поиска (элементов сканирования) в зоне неопределенности и $P_{\text{лт}}$ – вероятность ложного обнаружения в каждой ячейке. Величина M определяется соотношением между размерами области неопределенности и шириной оптического пучка $2\theta_0$. Величина $P_{\text{лт}}$ связана с энергетическим потенциалом КЛСПИ и величиной $\tau_{\text{нак}}$. В предположении, что в КЛСПИ применяются унифицированные бортовые приемно-передающие терминалы, вероятности переходов P_{ij} графа состояний процесса вхождения в связь, изображенного на рис. 3, определяются следующими выражениями:

$$P_{12} = P_{14} = P_{37} = P_{58} = \frac{M-1}{M} P_{\text{лт}}, \quad P_{13} = P_{15} = \frac{1}{M} (1 - P_{\text{лт}}), \quad P_{16} = \left(\frac{M-1}{M} \right)^2 P_{\text{лт}}^2,$$

$$P_{19} = 1 - 2P_{\text{лт}} - \frac{2}{M} - \left(\frac{M-1}{M} \right)^2 P_{\text{лт}}^2 + \frac{4}{M} P_{\text{лт}}, \quad P_{21} = P_{41} = P_{73} = P_{85} = 1 - P_{\text{лт}},$$

$$P_{22} = P_{33} = P_{44} = P_{55} = P_{77} = P_{88} = P_{\text{лт}}, \quad P_{39} = P_{59} = 1 - \frac{1}{M} P_{\text{лт}}, \quad P_{61} = 1 - P_{\text{лт}}^2, \quad P_{66} = P_{\text{лт}}^2.$$

Определяя с использованием приведенных выражений для вероятностей переходов P_{ij} , $i=1, \dots, 8$, $j=1, \dots, 9$, матрицу Q и элементы z_{lj} , $j=1, \dots, 8$, фундаментальной матрицы Z , удовлетворяющей выражению (7), можно в соответствии с выражением (8) рассчитать среднее время вхождения в связь $T_{\text{ср}}$.

На рис. 4 изображен график расчетной зависимости среднего времени вхождения в связь $T_{\text{ср}}$ от параметра M . Полагалось, что $P_{\text{лт}}=0$, это соответствует высокому энергетическому потенциалу КЛСПИ и затратам времени только на сканирование ячеек поиска до правильного обнаружения без ложных обнаружений. Кривая 1 соответствует $\Delta t=0,14$ с, кривая 2 – $\Delta t=0,17$ с, кривая 3 – $\Delta t=0,27$ с, где время ожидания $\tau_{\text{ожид}}$ определялось для значений $R_{\text{max}}=1000$ км, $R_{\text{max}}=10000$ км и $R_{\text{max}}=40000$ км соответственно. Среднее время вхождения в связь при принятых ограничениях и $M \leq 100$ составило $T_{\text{ср}} \approx 5$ с. Интересующее число ячеек сканирования зоны неопределенности M может быть определено исходя из того, что в реальных условиях угловой размер области неопределенности составляет $10^{-1} - 10^{-2}$ рад, а ширина сканирующего оптического пучка изменяется в пределах $10^{-2} - 10^{-3}$ рад [8].

Увеличение дальности межспутникового лазерного канала и сужение оптического пучка приводят к росту среднего времени, затрачиваемого на поиск и вхождение в связь. Следует отметить, что практически на величину среднего времени вхождения в связь существенным образом также влияет энергетический потенциал КЛСПИ, характеризуемый отношением сигнал/шум на входе оптического приемника. Уменьшение отношения сигнал/шум приводит к увеличению вероятности ложной тревоги $P_{\text{лт}}$, это приводит к необходимости увеличения времени накопления сигнала оптическим приемником $\tau_{\text{нак}}$. Как следствие, увеличиваются время Δt , затрачиваемое на один шаг процедуры поиска, и величина $T_{\text{ср}}$. Так, увеличение вероятности ложной тревоги от $P_{\text{лт}}=0$ до $P_{\text{лт}}=0,01$ ведет к увеличению среднего времени поиска и вхождения в связь $T_{\text{ср}}$ на несколько секунд.

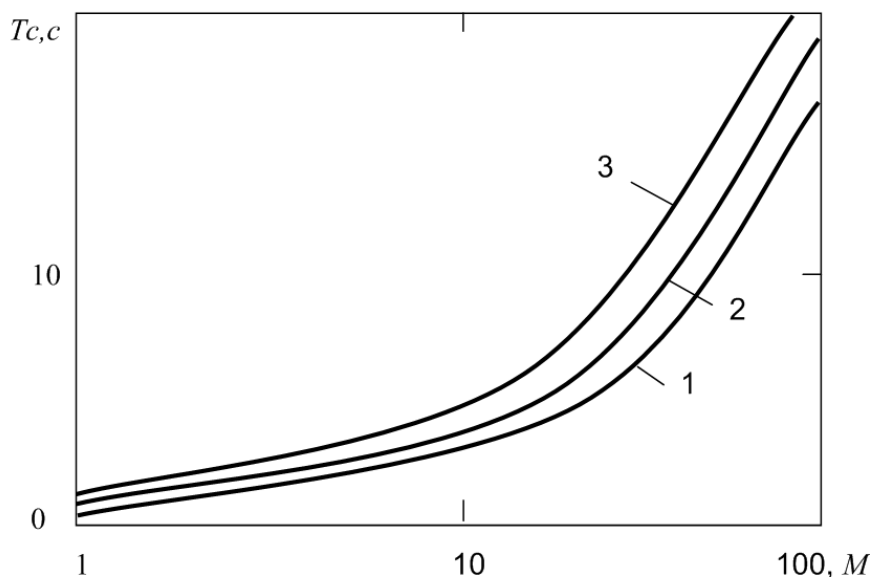


Рис. 4. Зависимость среднего времени вхождения в связь $T_{\text{ср}}$ от числа ячеек поиска M

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренное статистическое описание процессов вхождения в связь и срывов слежения позволяет исследовать вероятностно-временные характеристики процесса поиска и вхождения в связь КЛСПИ и оптимизировать технические характеристики системы поиска и сопровождения КА по критерию среднего времени поиска. Полученные результаты расчетов и моделирования согласуются с известными оценками требуемого среднего времени вхождения в КЛСПИ, приведенными в работах [2, 5].

Список используемых источников

1. *Минаев И.В., Мордовин А.А., Шереметьев А.Г.* Лазерные информационные системы космических аппаратов. – М.: Машиностроение, 1981. – 272 с.
2. Лазерная космическая связь / М. Кацман, Дж. Мейнард, М. Эттенберг и др. – М.: Радио и связь, 1993. – 240 с.
3. *Мальцев Г.Н.* Влияние ошибок наведения на характеристики оптических систем передачи информации // Радиоэлектроника.– 1990. – №11. – С. 88–91.
4. *Мальцев Г.Н., Подрезов С.В.* Математическая модель оптического канала передачи информации с прямым детектированием // Оптический журнал. – 2000. – Т.67, №7. – С. 43–51.
5. Оптическая связь в космосе с использованием лазера на АИГ:Nd / М. Росс, П. Фридмен, Дж. Абернейти и др. // ТИИЭР. – 1978. – Т.6., №3. – С. 58–89.
6. Математическая модель двухэтапного поиска случайно появляющихся целей / Козирацкий Ю.Л. и др. // Радиотехника – 1999. – №8.– С. 45–50.
7. Математическая модель двухэтапного поиска приемных каналов лазерной линии связи при вхождении в связь в условиях помех / А.Ю. Козирацкий, Д.В. Прохоров, В.Ф. Лысков, Касем Кифах Гази // Телекоммуникации. – 2006. – №8 – С. 27–32.
8. *Чуковский Н.Н., Крюкова И.В.* Состояние и перспективы межспутниковой оптической связи // Вестник МГТУ. Сер. Приборостроение.–М., 1998.– С. 67–74.

М.Ю. Зоткин;
В.И. Миронов,
доктор техн. наук, профессор;
Ю.В. Миронов,
доктор техн. наук, доцент

РАСЧЕТ ПРОГРАММЫ УПРАВЛЕНИЯ УГЛОВЫМ ДВИЖЕНИЕМ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА В РЕЖИМЕ СОПРОВОЖДЕНИЯ ОРБИТАЛЬНОГО ОБЪЕКТА ПО ПАРАМЕТРАМ РОДРИГА – ГАМИЛЬТОНА

Статья посвящена разработке методики и алгоритма расчета программ угловой ориентации космического аппарата (КА) в подвижной орбитальной системе координат в режиме углового сопровождения орбитального объекта (ОО) с использованием параметров Родрига – Гамильтона. Приводятся результаты численных исследований.

Ключевые слова: сжатие гравитационного поля Земли, направляющие косинусы, параметры Родрига – Гамильтона, подвижная орбитальная система координат.

Современный этап развития космической техники характеризуется интенсивным ростом числа создаваемых и запускаемых на орбиту космических аппаратов. При этом наземные средства не способны предоставить достаточную информацию о назначении запускаемых КА, их классификационных признаках и особенностях целевого функционирования. Возникают задачи, которые могут быть успешно решены средствами космического базирования. При создании таких КА важную роль занимают вопросы разработки автономных систем управления движением и их алгоритмического обеспечения.

Для определения углового положения КА используются следующие системы кинематических параметров:

- углы Эйлера;
- матрица направляющих косинусов;
- параметры Родрига – Гамильтона в форме кватернионов.

Выбор конкретного типа кинематических параметров при построении системы ориентации определяется видом кинематических уравнений и сложностью их интегрирования, а также наличием угловых положений, где кинематические уравнения вырождаются. С этой точки зрения предпочтение отдается параметрам Родрига – Гамильтона [1, 3–6].

Рассмотрим методику и алгоритм решения указанной задачи ориентации при прогнозировании движения.

Исходными данными при решении такой задачи являются: фазовые координаты КА и ОО $x_i, y_i, z_i, V_{xi}, V_{yi}, V_{zi}$, заданные на некоторый начальный момент времени движения t_0 , дальность действия аппаратуры наблюдения КА D_0 и интервал времени T исследования зон видимости и параметров относительного движения КА и ОО.

Методика решения задач ориентации КА на ОО включает следующие этапы:

- численное интегрирование систем дифференциальных уравнений движения КА и ОО на заданном интервале времени;
- расчет временных характеристик зон взаимной видимости КА и ОО: $T_{вх}$ – время входа в зону видимости (ЗВ); $T_{вых}$ – время выхода из ЗВ; $\Delta T_{ЗВ}$ – время нахождения ОО в ЗВ КА. Для

этого в процессе интегрирования вычисляются относительная дальность $D(t)$ КА и ОО и проверяется условие наблюдения орбитального объекта $D(t) \leq D_0$.

Далее для выбранного сеанса наблюдения производится интегрирование уравнения движения КА и ОО от $T_{\text{вх}}$ до $T_{\text{вых}}$ с уменьшенным шагом и определяются:

- относительная дальность $D(t)$ и скорость ее изменения $\dot{D}(t)$ в интервале наблюдения;
- расчет параметров траекторий относительного движения;
- расчет минимальной дальности D_{min} и времени ее наступления $\tau(D_{\text{min}})$;
- расчет углов ориентации линии визирования ОО;
- расчет программы управления угловым движением КА в режиме отслеживания ОО по параметрам Родрига – Гамильтона.

Для решения задачи использована следующая динамическая модель орбитального движения КА и ОО в абсолютной геоцентрической экваториальной системе координат (АГЭСК), учитывающая сжатие гравитационного поля Земли (ГПЗ) [2]:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= V_x; \quad \dot{y} = V_y; \quad \dot{z} = V_z; \\ \dot{V}_x &= \left(-\frac{\mu}{r^3} + p \right) x; \quad \dot{V}_y = \left(-\frac{\mu}{r^3} + p \right) y; \quad \dot{V}_z = \left(-\frac{\mu}{r^3} + p + \Delta p \right) z; \\ p &= \frac{3\mu}{2r^3} J_{20} \left(1 - 5 \frac{z^2}{r^2} \right) \left(\frac{R_e}{r} \right)^2 + \frac{15}{8} \frac{\mu}{r^3} J_{40} \left(-1 + 14 \frac{z^2}{r^2} - 21 \frac{z^4}{r^4} \right) \left(\frac{R_e}{r} \right)^4; \\ \Delta p &= 3 \frac{\mu}{r^3} J_{20} \left(\frac{R_e}{r} \right)^2 + \frac{15}{8} \frac{\mu}{r^3} J_{40} \left(\frac{28z^2}{3r^2} - 4 \right) \left(\frac{R_e}{r} \right)^2; \\ r &= \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}, \quad J_{20} = -1082627 \cdot 10^{-9}, \quad J_{40} = 2371 \cdot 10^{-9} \end{aligned}$$

где R_e – экваториальный радиус Земли;

μ – постоянная притяжения Земли.

Предложенный алгоритм расчета углов ориентации линии визирования и программы управления угловым движением КА в режиме отслеживания ОО позволяет определять программу ориентации КА с использованием параметров Родрига – Гамильтона. Предполагается, что аппаратура наблюдения жестко установлена на корпусе КА, а ее оптическая ось ориентирована по продольной оси КА.

Алгоритм предусматривает следующее:

1. Расчет векторов направляющих косинусов ориентации осей орбитальной системы координат КА относительно АГЭСК:

$$\begin{aligned} \bar{\alpha}_{\text{хорб}} &= \bar{\alpha}_{\text{юрб}} \times \bar{\alpha}_{\text{зорб}}; \quad \bar{\alpha}_{\text{юрб}} = \frac{\bar{r}_1}{r_1}; \quad \bar{\alpha}_{\text{зорб}} = \frac{\bar{r}_1 \times \bar{V}_1}{|\bar{r}_1 \times \bar{V}_1|}; \\ \bar{V}_1 &= \begin{pmatrix} V_{1x} \\ V_{1y} \\ V_{1z} \end{pmatrix}, \quad \bar{r}_1 = \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix}; \quad V_1 = \sqrt{V_{1x}^2 + V_{1y}^2 + V_{1z}^2}; \quad r_1 = \sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2}, \end{aligned}$$

где α_i – векторы направляющих косинусов ОСК.

2. Расчет направляющих косинусов линии визирования ОО относительно подвижной орбитальной системы координат КА:

$$\alpha_x^{\text{лб}} = \frac{\bar{D}}{D} \bar{\alpha}_{\text{хорб}}; \quad \alpha_y^{\text{лб}} = \frac{\bar{D}}{D} \bar{\alpha}_{\text{юрб}}; \quad \alpha_z^{\text{лб}} = \frac{\bar{D}}{D} \bar{\alpha}_{\text{зорб}};$$

$$D = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2},$$

где D – расстояние от КА до ОО.

3. Расчет программы ориентации продольной оси КА в режиме отслеживания ОО:

– по углу рыскания $\psi(t) = \arcsin \alpha_y^{jb}(t)$;

– по углу тангажа $\vartheta(t) = \arctg \frac{\alpha_z^{jb}(t)}{\alpha_x^{jb}(t)}$;

– по углу крена $\gamma(t) = 0$.

4. Расчет параметров Родрига – Гамильтона p_0, p_1, p_2, p_3 по следующим формулам:

$$p_0 = \cos \frac{\Psi}{2} \cos \frac{\vartheta}{2} \cos \frac{\gamma}{2} - \sin \frac{\Psi}{2} \sin \frac{\vartheta}{2} \sin \frac{\gamma}{2};$$

$$p_1 = \sin \frac{\Psi}{2} \sin \frac{\vartheta}{2} \cos \frac{\gamma}{2} + \cos \frac{\Psi}{2} \cos \frac{\vartheta}{2} \sin \frac{\gamma}{2};$$

$$p_2 = \sin \frac{\Psi}{2} \cos \frac{\vartheta}{2} \cos \frac{\gamma}{2} + \cos \frac{\Psi}{2} \sin \frac{\vartheta}{2} \sin \frac{\gamma}{2};$$

$$p_3 = \cos \frac{\Psi}{2} \sin \frac{\vartheta}{2} \cos \frac{\gamma}{2} - \sin \frac{\Psi}{2} \cos \frac{\vartheta}{2} \sin \frac{\gamma}{2}.$$

Приведем в качестве примера некоторые результаты численных расчетов параметров зон наблюдения и программы ориентации КА на ОО, полученные по исходным данным, приведенным в табл. 1, для квазикруговых орбит. В этой таблице H – высота орбит км; e – эксцентриситет; θ – долгота восходящего узла; i – наклонение; ω – аргумент перигея; u – аргумент широты. Угловые величины даны в градусах. Расчеты проводились на интервале полета $T = 2$ суток. Принималось, что дальность действия аппаратуры наблюдения КА $D_0 = 400$ км. За начало расчета принята условная дата 02.09.2015.

В табл. 2 приведены номера витков, на которых выполняется условие взаимной видимости КА и ОО по относительной дальности, а также временные параметры сеансов наблюдения ОО. В рассмотренных расчетных условиях ОО 2 раза попадает в зону видимости КА на 2-м и 27-м витках полета. Максимальная продолжительность нахождения в зоне видимости составляет 31 мин. 11 сек.

Таблица 1

Исходные данные

	H , км	e	θ	i	ω	u
КА	1000	0	61.0	63	0	0
ОО	1200	0	63.0	62	0	5

Таблица 2

Таблица сеансов наблюдения

№	ВИТОК	дата	$T_{вх}$	$T_{вых}$	$\Delta T_{набл}$
1	2	02.09.2015	00:25:41	00:56:53	00:31:11
2	27	03.09.2015	20:51:07	21:20:58	00:29:51

На рис. 1 и 2 показаны программы разворота КА в подвижной орбитальной системе координат по углам рыскания $\psi(t)$ и тангажа $\vartheta(t)$ соответственно в режиме углового сопровождения ОО. В данных условиях угол тангажа изменяется от 20° до -130° , а угол рыскания от 30° до 60° .

На рис. 3–6 приведены программы изменения параметров Родрига – Гамильтона P_0, P_1, P_2, P_3 :

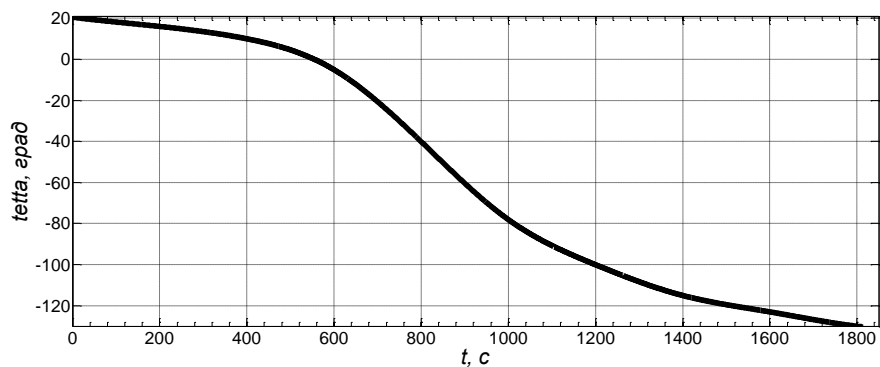


Рис. 1. Зависимость угла тангажа от времени

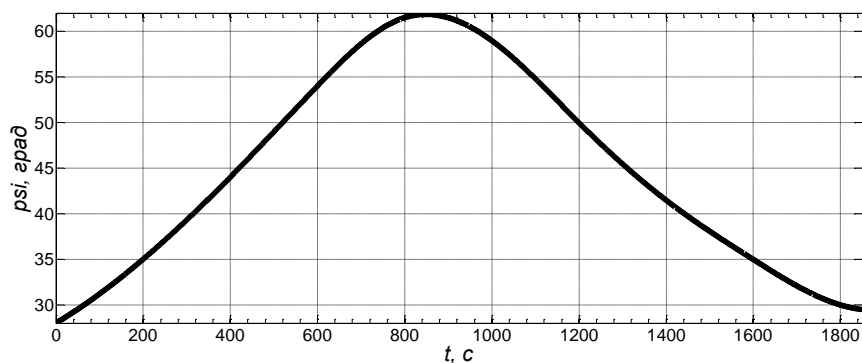


Рис. 2. Зависимость угла рысканья от времени

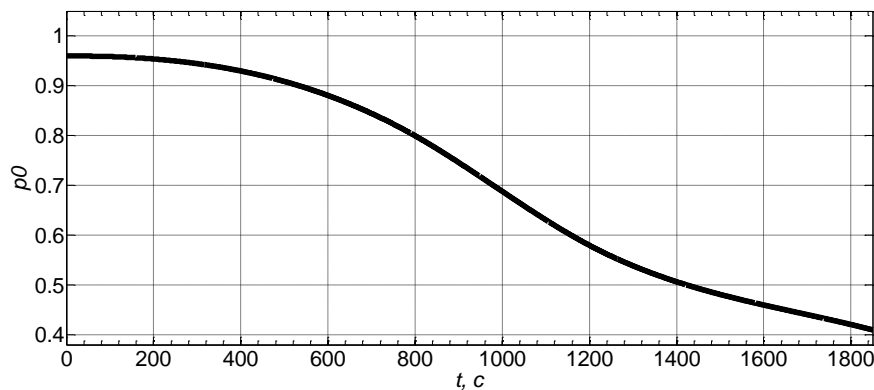


Рис. 3. Программа изменения параметра ρ_0

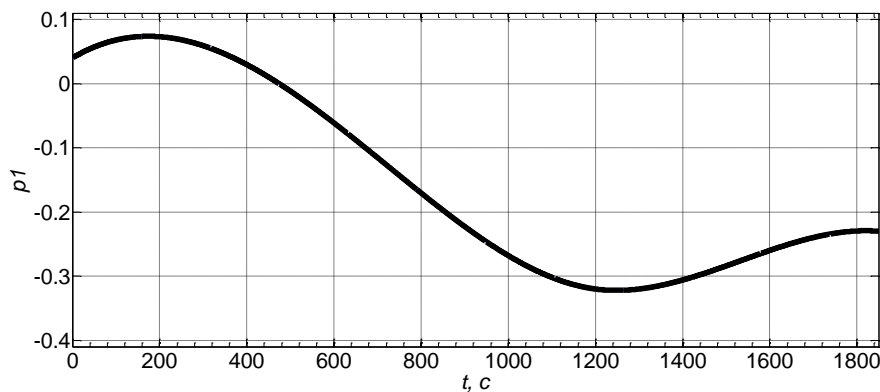


Рис. 4. Программа изменения параметра ρ_1

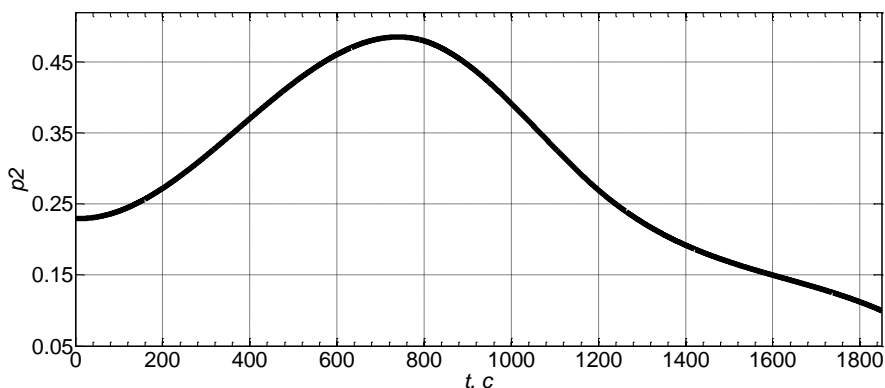


Рис. 5. Программа изменения параметра p_2

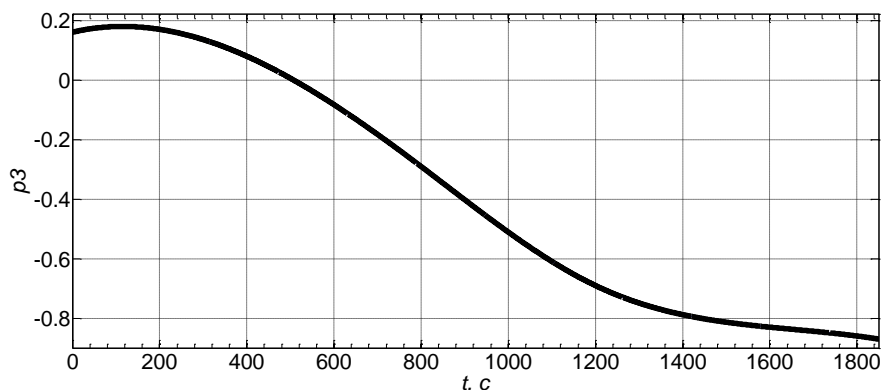


Рис. 6. Программа изменения параметра p_3

В целом расчеты подтвердили работоспособность предложенной методики и алгоритма расчета параметров зон наблюдения и программы ориентации КА на ОО в режиме его углового сопровождения. Они могут быть использованы как на этапе планирования операций наблюдения в пролетных вариантах, так и в полете для управления режимами работы аппаратуры наблюдения КА. Результаты моделирования, полученные с помощью данной методики, позволяют провести анализ влияния параметров относительного движения КА и ОО в зоне наблюдения на динамику углового движения при отслеживании ОО. Эта информация может оказаться полезной для обоснования требований к исполнительным органам системы ориентации перспективных КА наблюдения.

Список используемых источников

1. Алексеев К.Б. Экстенсивное управление ориентацией космических летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1964. – 402 с.
2. Власов С.А., Мамон П.А. Теория полета космических аппаратов. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2007. – 435 с.
3. Горбатенко С.А. Механика полета. – М.: Машиностроение, 1969. – 420 с.
4. Ефимов В.В., Миронов В.И., Силантьев С.Б. Механика полета. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2010. – Ч. 2: Системы управления космических аппаратов. – 529 с.
5. Лурье А.И. Аналитическая механика. – М.: Гос. изд-во физико-математической литературы, 1961. – 824 с.
6. Силантьев С.Б. Системы навигации и ориентации космических аппаратов. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2007. – 155 с.

В.В. Карагодин,
доктор техн. наук, профессор;
К.А. Полянский

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОТВЕТСТВЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ОБЪЕКТОВ КОСМИЧЕСКИХ ВОЙСК

Для систем электроснабжения ответственных потребителей объектов Космических войск наиболее важными являются экономические показатели и показатели надежности. Сформулирована оптимизационная задача, которая позволяет учесть значения этих показателей при построении системы бесперебойного питания. Решение данной задачи позволит выбрать оптимальный по капиталовложениям вариант построения системы бесперебойного питания, обеспечивающий требуемый уровень надежности электроснабжения ответственных потребителей.

Ключевые слова: оптимизация, система бесперебойного электроснабжения, надежность электроснабжения, ответственный потребитель.

ВВЕДЕНИЕ

Современные тенденции развития технологических и технических систем вооружения Космических войск (КВ) таковы, что большинство ответственных потребителей наземных комплексов (НК) для своей нормальной работы требуют не только высокой надежности и бесперебойности электроснабжения, но и высокого качества электроэнергии во всех режимах работы.

Нерешенность в настоящее время проблемы обеспечения надежности в электроэнергетике РФ [1] (системы внешнего электроснабжения объектов КВ не гарантируют требуемой надежности электроснабжения потребителей НК) приводит к существенному возрастанию роли систем автономного (резервного) электроснабжения, систем бесперебойного и гарантированного электроснабжения в обеспечении требуемого уровня надежности электроснабжения и качества электроэнергии.

Неотъемлемой частью современных автономных энергетических комплексов являются системы бесперебойного электроснабжения (СБЭ). СБЭ представляет собой электроустановку, которая предназначена для автономного электроснабжения потребителей в случаях отклонения показателей качества электрической энергии, поступающей от основных источников, за пределы допустимых значений [2]. Построение СБЭ может производиться по различным вариантам в зависимости от требований к надежности работы системы, а также количества и мощности ответственных потребителей.

Основным функциональным элементом СБЭ является источник бесперебойного питания (ИБП). СБЭ выполняются как на базе статических ИБП (двойного преобразования), так и на базе динамических ИБП (дизель-роторные, гибридные, маховичные).

Выбор ИБП двойного преобразования для построения СБЭ, рассматриваемых в статье, обусловлен рядом их преимуществ по сравнению с динамическими [5], прежде всего по показателям надежности и времени необслуживаемой работы. Также они имеют более высокий КПД в типичном режиме работы (при нагрузке менее 80 % от номинальной мощности), широкий диапазон поддерживаемой нагрузки, масштабируемость и ряд других преимуществ. Эти преимущества обусловлены появлением новой силовой микроэлектронной полупроводниковой элементной базы, развитием схмотехники, что позволило повысить технические и эксплуатационные характеристики статических ИБП и при этом сделать их более доступными [3]. По некоторым оценкам, решения, основанные на использовании динамических ИБП,

выгоднее, чем на статических, только в том случае, если мощность нагрузки превышает 1 МВА [4], что не характерно для большинства ответственных потребителей рассматриваемых объектов.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И РАЗРАБОТКА КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ

В зависимости от требований к бесперебойности и качеству электроснабжения, количества и мощности потребителей, условий размещения основного оборудования СБЭ и других факторов, построение систем бесперебойного электроснабжения может производиться по различным схемам, обеспечивающим генерирование требуемой электроэнергии. Очевидно, что в этом случае из большого числа возможных структур систем электроснабжения всегда возможно отобрать структуры СБЭ, имеющие лучшие в сравнении с другими техническими решениями показатели эффективности (массогабаритные и энергетические показатели, показатели надежности, качества электроэнергии и стоимости).

Большая номенклатура и широкий ряд номинальных мощностей ИБП двойного преобразования, значительное количество предложений, как от зарубежных, так и от отечественных производителей, отличающихся эксплуатационно-техническими характеристиками и стоимостями, возможность резервирования ИБП, нелинейный (как правило, экспоненциальный) характер зависимости стоимости данных устройств от их номинальной мощности (рис. 1) свидетельствуют о том, что задача построения СБЭ на базе ИБП двойного преобразования может быть сведена к оптимизационной задаче по какому-либо одному или нескольким критериям.

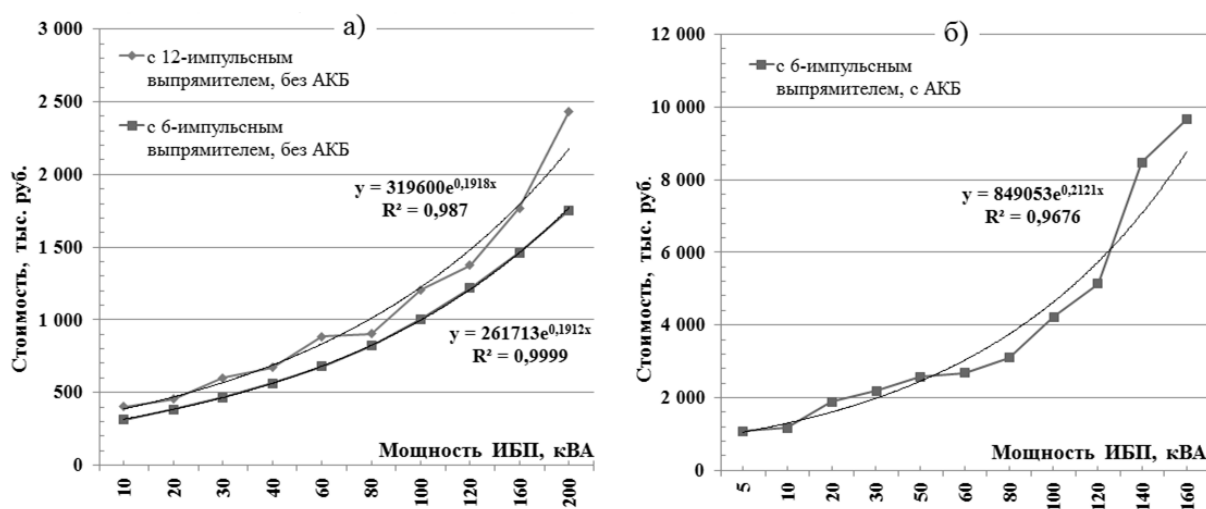


Рис. 1. Зависимости стоимости ИБП от их номинальной мощности:
а – серии СИП380 (ЗАО «Связь Инжиниринг»); б – серии GP (ОАО «Инвертор»)

Оптимизация СБЭ ответственных потребителей может осуществляться по различным показателям эффективности. К ним относят экономические показатели, показатели надежности, энергетические показатели, конструктивные показатели и др.

Наиболее часто задача оптимизации СБЭ сводится к отысканию минимума приведенных затрат на их создание.

Для систем электроснабжения наземных комплексов объектов КВ доминирующее значение по сравнению с их экономическими показателями имеют технические показатели, обеспечивающие соответствующую назначению объекта надежность. Однако оптимальным следует считать такой вариант СБЭ, который, обеспечивая заданные технические показатели, имеет к тому же и наилучшие экономические показатели.

Учитывая данное обстоятельство, при построении математической модели задачи оптимизации СБЭ будем учитывать два главных показателя эффективности: в качестве экономического показателя – капитальные затраты, т. е. затраты на приобретение оборудования СБЭ, и в качестве показателя надежности – вероятность безотказной работы. В этом случае возможны два варианта постановки однокритериальной оптимизационной задачи.

Первый вариант – при заданном ограничении $Z_{\text{зад}}$ на капитальные затраты $Z(X)$ на приобретение ИБП для СБЭ максимизировать надежность системы (вероятность безотказной работы) $P(X)$ на дискретном (конечном или счетном) множестве D вариантов построения СБЭ, имеющих различные показатели надежности и стоимости:

$$\begin{cases} P(X) \rightarrow \max; \\ X \in D \\ Z(X) \leq Z_{\text{зад}} \end{cases}$$

где X – n -мерный векторный аргумент, $X \in D$.

Второй вариант – минимизировать капитальные затраты $Z(X)$ на приобретение ИБП для СБЭ при заданном ограничении $P_{\text{треб}}$ на показатель безотказности ее функционирования $P(X)$:

$$\begin{cases} Z(X) \rightarrow \min; \\ X \in D \\ P(X) \geq P_{\text{треб}} \end{cases}$$

В статье ограничимся рассмотрением второго варианта постановки задачи оптимизации структуры СБЭ, в котором в качестве критерия оптимальности принят экономический критерий.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

При построении математической модели рассматриваемой задачи оптимизации будем учитывать ряд *допущений*:

– капитальные затраты на построение СБЭ равны сумме стоимостей ИБП, входящих в ее состав;

– возможна параллельная работа ИБП одинаковой номинальной мощности. Средствами объединения «в параллель» оснащены ИБП всего ряда номинальных мощностей;

– допускается объединение одиночных ответственных потребителей в отдельные группы.

При математической постановке задачи оптимизации должны быть определены переменные, фиксированные значения которых определяют отдельное решение задачи, целевая функция, представляющая собой математическую запись критерия оптимальности, и набор ограничивающих условий.

Введем в рассмотрение следующие *переменные*:

$$x_{ijn} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й потребитель (группа) запитан} \\ & \text{от группы из } n \text{ параллельно работающих} \\ & \text{основных ИБП } j\text{-й номинальной мощности;} \\ 0, & \text{иначе;} \end{cases}$$

$$x'_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й потребитель (группа) запитан} \\ & \text{от группы из } k \text{ параллельно работающих} \\ & \text{резервных ИБП } j\text{-й номинальной мощности;} \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

Переменные являются булевыми переменными: $x_{ijn}, x'_{ijk} \in B$.

Целевая функция, представляющая собой суммарные капитальные затраты на построение СБЭ всех ответственных потребителей и/или групп этих потребителей, предполагается линейной относительно своих переменных и может быть представлена в следующем виде:

$$Z = \sum_{i=1}^g Z_i = \sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^l \left[c_j \left[\sum_{n=1}^m n x_{ijn} + \sum_{k=1}^{m-1} k x'_{ijk} \right] \right] \rightarrow \min, \quad (1)$$

где $\sum_{n=1}^m n x_{ijn}, \sum_{k=1}^{m-1} k x'_{ijk}$ – суммарное количество основных и резервных ИБП j -й номинальной мощности для питания i -го потребителя (группы потребителей) соответственно;

Z_i – капитальные затраты на построение СБЭ для питания i -го потребителя (группы), руб.;

g – общее количество одиночных потребителей (h) и отдельных групп потребителей (s), $g = s + h$;

$s = \sum_{i=2}^h c_h^i$ – количество возможных вариантов объединения h одиночных потребителей в отдельные группы;

l – номер ИБП максимальной номинальной мощности;

c_j – стоимость ИБП j -й номинальной мощности, руб.;

m – максимальное количество ИБП, включаемых на параллельную работу (в соответствии с техническими характеристиками);

n – количество основных ИБП;

k – количество резервных ИБП.

Множество допустимых альтернатив (вариантов построения) формируется следующей системой **ограничений**:

а) переменные могут принимать только одно из двух значений:

$$x_{ijn}, x'_{ijk} = \{0, 1\}, \quad (2)$$

при этом $i \in 1, 2, \dots, h, \dots, g$; $j \in 1, 2, \dots, l$; $n \in 1, 2, \dots, m$; $k \in 1, 2, \dots, m-1$;

б) ответственные потребители должны быть обеспечены электроэнергией в заданном количестве. Причем для обеспечения устойчивой работы ответственных потребителей необходимо, чтобы номинальная мощность СБЭ была больше требуемой на 10...20 %:

$$\sum_{j=1}^l \sum_{n=1}^m n S_j x_{ijn} \geq k_3 S_i, \quad (3)$$

где S_i – установленная мощность i -го потребителя (группы), кВА;

S_j – номинальная мощность j -го ИБП, кВА;

k_3 – коэффициент запаса, $k_3 = 1, 1.1 \dots 1.2$;

в) в оптимальное решение должен входить только один вариант электроснабжения каждого потребителя:

$$\sum_{j=1}^l \sum_{n=1}^m x_{ijn} \leq 1, \sum_{j=1}^l \sum_{k=1}^{m-1} x'_{ijk} \leq 1; \quad (4)$$

г) значение вероятности безотказной работы СБЭ не должно быть ниже значения требуемой вероятности безотказной работы:

$$P_{\text{СБЭ}}(X) \geq P_{\text{треб}}. \quad (5)$$

Вероятность безотказного функционирования СБЭ определяется в первую очередь вероятностью безотказной работы ИБП и кратностью резервирования ИБП, для осуществления которого может быть использован структурный вид резервирования с постоянно включенным и нагруженным режимом работы резерва (рис. 2).

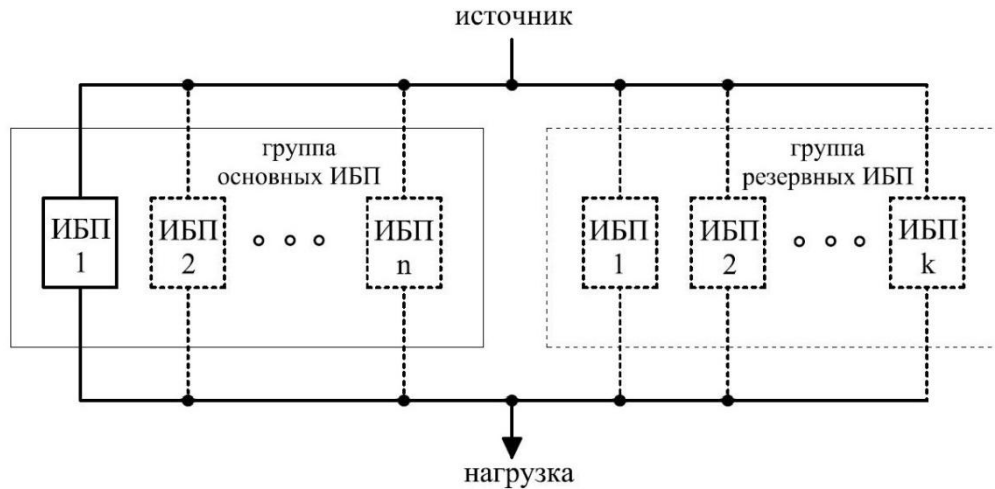


Рис. 2. Резервирование ИБП с дробной кратностью при нагруженном резерве

Современные ИБП допускают резервирование с дробной кратностью, что позволяет снизить стоимость СБЭ. Кратность резервирования определяется из соотношения [5]:

$$r = \frac{n}{k} = \frac{z - k}{k}. \tag{6}$$

Здесь z – общее количество ИБП, т. е. $z = n + k$.

Значение вероятности безотказной работы СБЭ с кратностью r при условии, что выбранные ИБП равнонадежны, определяется по формуле [5]

$$P_{СБЭ}(t) = \sum_{i=0}^{i=k} C_z^i [Q_{ИБП}(t)]^i [P_{ИБП}(t)]^{z-i} = \sum_{i=0}^{i=k} C_z^i [1 - P_{ИБП}(t)]^i [P_{ИБП}(t)]^{z-i}, \tag{7}$$

где $Q_{ИБП}(t)$ – вероятность отказа одного ИБП;

$P_{ИБП}(t)$ – вероятность безотказной работы одного ИБП;

C_z^i – число различных вариантов,

$$C_z^i = \frac{z!}{i!(z-i)!} = \frac{(n+k)!}{i!(n+k-i)!}. \tag{8}$$

Учитывая изложенное выше, ограничение (5) может быть записано следующим образом:

$$x_{ijn} \Delta P_n + \sum_{k=1}^{m-n} x'_{ijk} \Delta P_{n/k} \geq 0, \tag{9}$$

где ΔP_n – разность между значением вероятности безотказной работы системы из n основных агрегатов без резерва и значением требуемой вероятности безотказной работы, $\Delta P_n = P_{n/0} - P_{\text{треб}}$;

$\Delta P_{n/k}$ – разность между значениями вероятности безотказной работы системы, состоящей из n основных и k резервных агрегатов, и системы, не имеющей резервных агрегатов, $\Delta P_{n/k} = P_{n/k} - P_{n/0}$.

В общем виде решение задачи оптимизации структуры СБЭ (1), ..., (4), (9) может быть записано как

$$X^* = \arg \min_{X \in D} Z(X)$$

и представляет собой массив переменных, значения которых обеспечивают достижение минимума целевой функции при заданных ограничениях и позволяют определить оптимальный вариант построения СБЭ. Пример такого массива представлен в табл. 1.

Таблица 1

Общий вид массива переменных решения задачи оптимизации СБЭ

		Потребитель (группа)											
		$i=1$					$i=2$	...	$i=h$	...	$i=g$		
		Количество основных ИБП				Количество резервных ИБП			...	...	...	...
		$n=1$	$n=2$	...	$n=m$	$k=1$	...	$k=m-1$	...	...	...	...
Номинальная мощность ИБП	$j=1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$j=2$	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	$j=3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$j=l$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Полученная математическая модель относится к классу линейных булевых математических моделей. Задачи булевой линейной оптимизации являются частным случаем задач дискретной оптимизации. В задачах дискретного программирования область допустимых решений является невыпуклой и несвязной. Поэтому отыскание решения таких задач сопряжено со значительными трудностями. Из-за дискретности допустимого множества неприменимы многие приемы, разработанные в математическом программировании. Для решения задач дискретной оптимизации приходится использовать специальные методы. Из алгоритмических методов, обеспечивающих нахождение точного решения задачи булева программирования, наибольшее распространение получили методы типа «ветвей и границ» и динамического программирования [7].

В частности, методы типа «ветвей и границ» основаны на последовательном разбиении допустимого множества на подмножества (ветвлении) и вычислении оценок (границ), позволяющем отбрасывать подмножества, заведомо не содержащие решений задачи [8]. Алгоритмы, использующие данные методы, реализованы в программе MS Excel 2010, с помощью которой была успешно решена сформулированная задача оптимизации структуры СБЭ для различных исходных данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как правило, построение СБЭ ответственных потребителей объектов КВ ведется путем рассмотрения небольшого количества отдельных вариантов, выбираемых из множества возможных, зачастую на основе личного опыта лица, принимающего решения. Но развитие СБЭ, усложнение структуры и удорожание ее элементов говорит о необходимости создания эффективной методики обоснованного выбора оптимального варианта построения СБЭ. Создание такой методики возможно на основе поставленной в данной статье задачи оптимизации.

Список используемых источников

1. Концепция обеспечения надежности в электроэнергетике / Н.И. Воропай, Г.Ф. Ковалёв, Ю.Н. Кучеров и др. – М.: ООО ИД «ЭНЕРГИЯ», 2013. – 212 с.
2. Герасимов А.Н., Орлов А.В., Петрушин В.Ф. Системы бесперебойного электроснабжения: учеб. пособие. – МО РФ, 1997. – 203 с.
3. Леута А.А., Равин Б.Ц. Статические преобразователи как альтернатива электромашинным преобразователям в системах электропитания // Электрическое питание. – 2005. – № 3. – С. 65–66.

4. Барсков А. Тенденции бесперебойного питания // Журнал сетевых решений/LAN.– 2013. – № 2.– С. 18–25.
5. Коттули К. Сравнение статических и динамических ИБП // Информационные статьи Schneider Electric. – 2011. – № 92.– 17 с.
6. Аполлонский С.М., Куклев Ю.В. Надежность и эффективность электрических аппаратов.– СПб.: Лань, 2011. – 448 с.
7. Леоненков А.В. Решение задач оптимизации в среде MS Excel. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 704 с.
8. Сухарев А.Г., Тимохов А.В., Фёдоров В.В. Курс методов оптимизации. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1986. – 328 с.

С.Ю. Карасёв;
Г.С. Ладышкин;

Д.В. Сурин,
заслуженный деятель науки и техники, академик АВН, доктор техн. наук, профессор;

А.М. Шевчук,
кандидат техн. наук, доцент

МЕТОД ОЦЕНКИ ЖИВУЧЕСТИ МНОГОСЕКЦИОННЫХ СПЕЦИАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ОБЫЧНЫХ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ ПРОТИВНИКА

Предлагается впервые метод оценки живучести многосекционных специальных сооружений МО РФ при воздействии ОСП противника при прицеливании по центру плановой проекции и местном действии удара и взрыва боеприпасов.

Ключевые слова: средства поражения, высокоточное оружие, сооружения, секция, защищенность, вероятность поражения.

В системе объектов инфраструктуры военного и экономического потенциала имеется множество специальных сооружений и других объектов типа надводных кораблей и подводных лодок, внутренний объем которых разделен на секции. При воздействии современных обычных средств поражения (ОСП), относящихся к высокоточному оружию (ВТО), на подобные объекты-цели объективно возникает проблема оценки их живучести с учетом того, что во внутреннем объеме сооружения существуют определенное количество замкнутых защитными конструкциями (ЗК) секций, обусловленных пролетами и поперечными стенами в плане и по этажам.

Ранее все научно-методические разработки по оценке живучести объектов при воздействии ОСП – ВТО были посвящены объектам односекционным, примером которых являются простейшие по объемно-конструктивному решению сооружения и небольшие подводные корабли, имеющие общую внешнюю защиту.

Предложенный метод разработан на основе общей теории защищенности и живучести односекционных объектов-целей. Вероятность поражения объектов при воздействии средств поражения противника определяется по формуле вероятности пересечения двух событий: вероятности физического поражения (закона поражения) $G_{n(1)}$ и вероятности попадания средства поражения в область прицеливания объекта-цели по его центру $P_{(1)}$ при одном воздействии по формуле следующего вида:

$$P_{n(1)} = G_{n(1)} P_{(1)}. \quad (1)$$

Живучесть объекта-цели как вероятностная мера измерения обратного события определяется по формуле

$$Q_{(1)} = 1 - P_{n(1)}. \quad (2)$$

При воздействии наряда средств поражения в количестве n ударов живучесть определяется по формуле

$$Q_{(1)} = Q_{(1)}^n. \quad (3)$$

Представляемый методический подход правомерен для оценки защищенности объекта-цели при условии независимости последовательных ударов и пренебрежения накоплением физического ущерба от предшествующих ударов.

Закон поражения $G_{n(1)}$ предложен в работах Д.В. Сурина [1] в виде следующего выражения:

$$G_{n(1)} = 0,5^{\bar{h}_3^9}, \quad (4)$$

где \bar{h}_3 – показатель относительной защищенности объекта-цели при местном действии ОСП.

При прямом попадании в объект-цель, физическом поражении взрывом боеприпаса защитной конструкции и ее разрушении прониканием боеприпаса (для ОСП проникающего типа), \bar{h}_3 определяется по формуле следующего вида:

$$\bar{h}_3 = \frac{h_{3К}}{r_{МД}}, \quad (5)$$

Здесь $h_{3К}$ – толщина защитной конструкции (ЗК), м;

$r_{МД}$ – радиус разрушения ЗК местным действием удара (проникания) и взрыва объекта-цели боеприпасом ОСП, м:

$$r_{МД} = 10m_3 K_{P(ЗК)} K_{P(пр)} q^{1/3} \text{ [м]}, \quad (6)$$

где m_3 – коэффициент забивки заряда боеприпаса ОСП [1]; $K_{P(ЗК)}$ – коэффициент сопротивления материала ЗК разрушению взрывом боеприпаса ОСП ($K_{P(ЗК)} = 0,12$ для железобетона; $K_{P(ЗК)} = 0,010$ для металла); $K_{P(пр)}$ – коэффициент вклада в разрушение ЗК объекта-цели прониканием ($K_{P(пр)} = 1$ для ОСП фугасного типа; $K_{P(пр)} = 1,85$ для ОСП проникающего типа); q – мощность в тротиловом эквиваленте взрыва боеприпаса ОСП, тс.

При многоэтажности объектов-целей, когда количество этажей ($K_{эт}$) больше одного, учитывается влияние перекрытий как дополнительных внутренних защитных конструкций. Тогда общая толщина ЗК многоэтажного объекта-цели определяется по формуле

$$h_{3К} = h_{3К(покр)} + (K_{эт} - 1)h_{3К(пер)}, \quad (7)$$

где $h_{3К(покр)}$ – толщина защитной конструкции покрытия сооружения, м;

$h_{3К(пер)}$ – толщина защитной конструкции перекрытия сооружения, м.

Вероятность попадания в односекционный объект-цель определяется по формуле

$$P_{(1)} = 1 - e^{-\alpha}, \quad (8)$$

где α – показатель попадаемости в функции Релея для круговых целей:

$$\alpha = 0,2274 \left(\frac{R_y}{E} \right)^2, \quad (9)$$

где R_y – радиус объекта-цели, приведенного к кругу, м;

E – круговое вероятное отклонение, м.

Радиус объекта-цели определяется выражением

$$R_y = \sqrt{\frac{F_y}{\pi}}, \quad (10)$$

где F_y – фактическая площадь плановой проекции объекта-цели, m^2 .

При устройстве секций в плане для объектов-целей предполагается их разделение на секции осуществлять разделением плановой проекции по пролетам в количестве $n=1; 2; 3$ и т.д. и поперечными внутренними секциями в количестве $m=1; 2; 3$ и т.д. Таким образом, по плановой проекции получим количество секций $n_0 = nm$.

Далее воспользуемся зависимостью, полученной Д.В. Суриным [1], в которой присутствует систематическая ошибка прицеливания ОСП d , образуемая расстоянием от центра прицеливания до центра какой-либо секции:

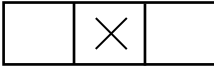
$$P_{(1)} = \frac{1}{4\bar{d}} e^{-\alpha(1-\bar{d})^2} - e^{-\alpha(1+\bar{d})^2}, \quad (11)$$

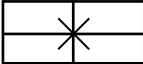
где \bar{d} – приведенная систематическая ошибка прицеливания:

$$\bar{d} = \frac{d}{R_y}. \quad (12)$$

Имеются следующие варианты разбивки на секции плановой проекции объекта-цели:

1. Две секции:  (\times – центр прицеливания ОСП);

2. Три секции: 

3. Четыре секции: 

При приведении каждой секции к кругу, сопряжения множества кругов-секций образуют круговую цель, где прицеливание ОСП осуществляется по центру объекта.

В итоге с использованием зависимости (11) получим следующие зависимости для определения вероятности попадания ОСП в объект-цель:

1. Две секции:

$$P_{(1)} = \frac{1}{4} 1 - e^{-4\alpha}. \quad (13)$$

2. Три секции:

$$P_{(1)} = \frac{1}{10} 1 - e^{-\alpha} 1 - e^{-4\alpha}^2. \quad (14)$$

3. Четыре секции:

$$P_{(1)} = \frac{1}{2304} 1 - e^{-4\alpha} e^{-4\alpha} - e^{-10\alpha}^2. \quad (15)$$

Анализ зависимости (15) показывает, что вероятность $P_{(1)}$ стремится при трех секциях к нулю. Поэтому при количестве секций в плане более трех ($K_c \geq 3$) имеем $P_{(1)} = 0$, то есть объект-цель не поражается одним ударом.

Таким образом, при прицеливании ОСП в центр объекта-цели с количеством секций более трех, объект-цель будет иметь вероятность поражения, близкую к нулю ($P_{(1)} = 0$), и для по-

ражения многосекционных объектов-целей противнику придется планировать несколько центров прицеливания для последовательных ударов, а именно – приблизительно по центрам секций.

На основе данной методики можно сделать вывод, что сооружения, имеющие более трех секций в плане, имеют обоснованно высокую живучесть. Таким образом, при проектировании специальных фортификационных сооружений количество секций во внутреннем объеме сооружения должно стремиться к максимальному значению, также обусловленному технологическим процессом, который в нем происходит.

Список используемых источников

1. *Сурин Д.В.* Аналитические методы оценки защищенности и живучести объектов и комплексов: монография. – МО РФ, 1997. – 249 с.
2. *Сурин Д.В.* Специальные фортификационные сооружения: учебник. – СПб. : ВКА им. А.Ф. Можайского, 2010. – 349 с.

В.В. Козлов,
доктор техн. наук, профессор;
Д.О. Мокан,
кандидат техн. наук;
С.В. Чирва

АНАЛИЗ ВЕРОЯТНОСТНОГО И ДЕТЕРМИНИРОВАННОГО ПОДХОДОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В статье рассматриваются вопросы применения теории вероятностей и математической статистики к исследованию сложных технических систем. Делается вывод о необходимости применения теоретико-множественного подхода к процессам, протекающим в сложных технических системах, взамен вероятностных методов, обеспечивающих теорию эффективности и надежности техники.

Ключевые слова: сложная техническая система, жизненный цикл, адаптивность, самоорганизация.

Создавая сложную техническую систему (СТС), человек неминуемо «копирует» эту систему из множества систем, существующих в природе, используя при этом имеющиеся знания о системах, их структуре, процессах развития и взаимодействия.

Принято считать, что существуют пять принципов диалектики, два из которых основные: принцип всеобщей связи и принцип развития [1].

Принцип всеобщей связи является отражением организованности и упорядоченности мира, в котором всё связано со всем. Под связью понимается зависимость между явлениями, отражение взаимообусловленности их существования и развития. Но связи не существует без взаимодействия. Именно в силу универсальности взаимодействия осуществляется взаимная связь всех структурных уровней бытия и материальное единство мира.

Взаимодействие раскрывает процесс воздействия различных объектов друг на друга, их взаимную обусловленность, изменение состояния, взаимный переход, а также порождение одним объектом другого. Взаимодействие носит объективный, универсальный и активный характер. Без изучения взаимодействия нельзя понять ни свойств, ни структуры, ни законов действительности [1]. Без выяснения форм и содержания различных видов связи и взаимодействия в природе и обществе невозможно было бы разрешить адекватно проблему развития, являющуюся вторым фундаментальным принципом диалектики.

Само понятие СТС подразумевает наличие связей между элементами системы и зависимость явлений и процессов в СТС. В отношении СТС принцип всеобщей связи следует использовать как при создании (синтезе), так и оценивании эффективности функционирования (анализе) таких систем. Организованность и упорядоченность СТС должна проявляться в иерархичности, как ее строения, так и оценивания поведения при использовании по назначению.

Принцип развития является результатом применения принципа всеобщей связи и взаимодействия. Ведь в мире нет ничего окончательно завершенного, всё находится в процессе становления и изменения. Принцип движения материи в совокупности с принципом всеобщей связи дает нам принцип развития мира. Развитие есть не что иное, как необратимое, определенно направленное и закономерное изменение материальных и идеальных объектов, приводящее к возникновению нового качества.

Приложение диалектического принципа развития в отношении СТС в первую очередь следует использовать в формализации понятия жизненного цикла для СТС. Необратимость деградационных процессов, присущих СТС, неизбежно приводит к изменению качества та-

ких систем. В результате объективности этого явления с одной стороны и нежелательности его проявления с другой встает ряд вопросов о возможности парирования деградации и управления этими процессами для СТС. Рассматривая жизненный цикл СТС, можно увидеть аналогию с развитием любой природной системы. Здесь закономерно встает вопрос о том, что является источником развития.

Поскольку СТС создаются человеком искусственно, то для них приемлемы источники развития как извне (со стороны человека), так и изнутри (со стороны встроенных в СТС систем саморегулирования).

Количество и качество информации, поступающей в СТС, формируют уровни ее связей. Внешний уровень (лежащий в основании СТС) должен обеспечить сам факт существования СТС, ее структуры. Поэтому целостность и устойчивость структуры формируется под влиянием опасности разрушения ее архитектуры (ущербности, рискованности), что является основополагающим свойством для СТС. Отсюда следует, что стабильность и сохранность структуры СТС позволяет идентифицировать архитектурную устойчивость системы как ее безопасность. Для придания безопасности СТС ей необходим некий первичный объем информации, в первую очередь по тем аспектам, которые определяют элементы и связи в ее архитектуре, а во вторую очередь информации по аспектам факторов опасности, связанных с возможностью нарушения связей в такой иерархии.

Проводя аналогию между философским пониманием эволюционирующих систем и эволюцией СТС, можно предположить, что наивысшим свойством СТС следует считать ее самоорганизованность. Считается, что самоорганизованность – это свойство, присущее разуму. Однако для технического объекта ближайшим аналогом, к которому следует стремиться при создании технических систем, можно принять адаптивность СТС к внешним и внутренним условиям ее существования. Поскольку адаптивность будет высшим, наиболее сложным в достижении свойством, то для его приобретения следует наделять СТС большим количеством качественной информации. Это положение в полной мере соответствует закону перехода количества в качество.

Признавая познаваемость мира, можно констатировать, что закон перехода количественных изменений в качественные и обратно раскрывает диалектику количественных и качественных изменений, наиболее общий механизм развития, а также то, что в основе таких изменений лежат накапливаемые и применяемые для созидания знания.

Приобретение и накопление знаний составляет суть развития. При этом новые знания не отрицают «старые», а лишь расширяют их, увеличивая пирамиду познания. Этот процесс описывает закон отрицания отрицания, который рассматривает такие существенные стороны развития, как цикличность, поступательный характер развития. Известно различие метафизического и диалектического понимания отрицания. Метафизическое мышление рассматривало отрицание как разрыв (независимость) между различными этапами, диалектическое же понимание предполагает связь между различными этапами развития.

Для описания жизненного цикла СТС используются детерминированный и стохастический подходы. При детерминированном подходе случайность выражает точность измерений (вероятность ошибки), а при стохастическом подходе случайность характеризует появление события (вероятность события). Взаимопроникновение этих подходов идет в рамках закона «единства и борьбы противоположностей», который выражает взаимодействие полярно-противоположных свойств, функций, сторон целостного предмета, раскрывает источник движения, развития материального и духовного мира. Буквальный смысл противоречия заключается в резком расхождении высказываний о каком-либо предмете.

Корн Г. и Корн Т. в своем справочнике по математике [2] пишут: «... теория вероятности занимается определением и описанием моделей, связанных с понятием вероятности»; «...каждая вероятностная модель описывает некоторый идеализированный объект...»; «практически понятие вероятности проявляется в том, что обычно относительная частота

случайного события в каждой последовательности повторных событий приближается к соответствующей вероятности».

Всякая математическая модель, предназначенная для схематичного описания связи между условиями S и случайным событием A , обычно строится на определенных допущениях о характере и степени зависимости испытаний. После того, как такие дополнительные допущения (из которых наиболее часто встречающимся является независимость испытаний) сделаны, вышеприведенное расплывчатое утверждение о близости частоты к вероятности может быть количественно уточнено [3].

Как указывают Бронштейн И.Н. и Семендяев К.А. [4], «... в современной теории не делается попыток дать определение понятию вероятности, его считают основным понятием, удовлетворяющим некоторым аксиомам». Там же они указывают: «... фактически определение вероятности некоторого случайного события чисто теоретически часто невозможно...».

В основе теории вероятности лежит алгебра событий, для которой существует класс S событий, состоящий из класса S^+ (возможных событий E) и 0 , образующих вполне аддитивную булеву алгебру, а также аксиом:

- 1) существования вероятности;
- 2) вероятности достоверного события;
- 3) аксиомы аддитивности;
- 4) вероятности совмещения событий (условной вероятности).

Логически безупречное определение понятий, связанных со случайными процессами в рамках указанной выше аксиоматики, создавало и создает много трудностей теоретико-множественного характера (связанных, например, с определением вероятности, непрерывности или дифференцируемости и т. п. свойств случайных процессов). Поэтому, в частности, в монографиях по теории случайных процессов около половины объема отводится анализу развития теоретико-множественных конструкций [3].

Вместе с тем следует отметить, что «... предположение, что при данных условиях для данного события вероятность (т. е. вполне определенная нормальная доля числа появлений данного события при большом числе повторений данных условий) существует, является гипотезой, которая в каждом отдельном вопросе требует специальной проверки или обоснования» [3].

В математической статистике вероятность, которой решено пренебрегать в исследовании, называется уровнем значимости. Хотя в статистике обычно рекомендуют пользоваться уровнями значимости от 0,05 при предварительных ориентировочных исследованиях до 0,001 при окончательных серьезных выводах, часто достижима значительно большая достоверность вероятностных выводов. Например, основные выводы статистической физики основаны на пренебрежении вероятности лишь порядка, меньшего 10^{-9} [3].

Основным, специфическим для теории вероятности является понятие независимости событий, испытаний, случайных величин [3].

Теория вероятности и математическая статистика успешным образом зарекомендовали себя при исследовании явлений, для которых выполнимы аксиоматические положения этих математических дисциплин. К таким явлениям следует отнести молекулярно-кинетическое взаимодействие атомов и молекул. Атомы и молекулу газа с большой долей правдоподобия можно считать одинаковыми, а их взаимодействие независимым и происходящим каждый раз в одинаковых условиях.

Поскольку основной аксиоматики теории вероятности являются независимость испытаний и независимость событий, стохастический подход можно считать построенным на индетерминизме, который отрицает всеобщий характер причинности.

Причина и следствие – категории, выражающие сущность причинности. В результате научно-исторической практики постепенно складывалось понимание, что явление, порождающее или видоизменяющее другое, выступает как причина, а другое – как следствие. Взаим-

ный переход этих явлений образует причинно-следственные цепи, не имеющие ни начала, ни конца. Всякая попытка определить абсолютно «первую» или «последнюю» причину ведет к признанию «беспричинных», сверхъестественных сил. Физический смысл цепи причинения состоит в передаче от одного явления (причина) к другому (следствие) материи, энергии, информации.

Вероятность и неопределенность появились в науке в связи с исследованием движения элементарных частиц. Первая причина, по которой «лапласовский детерминизм» считался неприемлем, состояла в том, что для описания движения частиц газа в количестве одной грамм-молекулы таких частиц насчитывается 10^{23} . С учетом шести степеней свободы для описания движения такого количества частиц по трем координатам необходимо решить $3 \times 6 \times 10^{23}$ уравнений. Кроме того, для каждой частицы существует шесть начальных условий (три начальных координаты и три компоненты начальной скорости), т. е. $6 \times 6 \times 10^{23}$ граничных условий. Такого рода задачи в начале XX века считались неразрешимыми, поскольку отсутствовали современные электронные вычислительные средства. Сегодня задачи такой размерности вполне разрешимы.

Вторая причина введения неопределенности (вероятности) связана с исследованием частиц атомарного уровня. В 1927 году В. Гейзенберг сформулировал соотношение неопределенности (принцип неопределенности), имеющей вид

$$\Delta p \Delta x \geq \hbar,$$

где Δp – неопределенность в величине импульса частицы;

Δx – неопределенность ее координат;

\hbar – квант действия.

Таким образом, оценивается неопределенность измерений движения частиц. Поскольку размерность действия есть произведение энергии на время, то соотношение неопределенности можно записать в виде

$$\Delta E \Delta t \geq \hbar,$$

где Δt – продолжительность жизни состояния, энергия которого изменяется. Чем больше эта продолжительность, тем точнее определяется энергия, тем меньше неопределенность ΔE . Если время жизни, например, омега-частицы примерно равно $5 \cdot 10^{-23}$ с, то введенное понятие неопределенности оправдано. Если жизнь состояния продолжается долго, например 1 с, значение энергии определяется с огромной точностью.

Таким образом, для СТС, жизнь которых измеряется годами, неопределенность (оценивания энергетического состояния) весьма мала.

Соотношение неопределенности, если к нему подойти с философской точки зрения, глубоко материалистично. Оно отражает то философское положение, что материя существует в пространстве и времени. Рассматривая ее вне пространства (длина равна нулю) и времени (время равно нулю), мы приходим к абсурдным результатам: импульс и энергия частицы оказываются равными бесконечности.

В результате, если отказаться от детерминистского подхода и давать оценки о будущем СТС на основании имеющихся из прошлого ограниченных знаний с некоей вероятностью, то судить об их справедливости можно лишь на основе сравнения таких результатов с экспериментами. Однако, во-первых, такие эксперименты вряд ли приемлемы (по стоимости и оперативности), а во-вторых, нельзя будет претендовать на то, что нами открыты какие-то новые знания. Таким образом, вероятностный подход не может служить средством познания, развития (деградации) СТС.

Продолжая анализ применимости вероятностного подхода к СТС можно отметить, что в детерминизме оперируют такими категориями диалектики, как необходимость – случайность, возможность, действительность, закономерность (повторяющаяся существенная связь

явлений) и др. При этом философские категории необходимость – случайность выражают два вида объективных связей материального мира. Необходимость – это внутренняя, существенная связь между явлениями. Необходимость проистекает из внутренней сущности явления. Это то, что должно обязательно произойти в данных условиях. Случайность – это несущественная связь между явлениями (т. е. случайность – это категория, которая противоречит принципам диалектики: принципу всеобщей связи и принципу развития). В данных условиях она может быть или нет, может произойти так или иначе. Случайность характеризуется множеством возможных следствий. Необходимое и случайное носят относительный характер и в определенных условиях переходят друг в друга. Существенные и несущественные связи между предметами и явлениями тесно переплетены, неотъемлемы друг от друга. В силу этого случайность дополняет необходимость, является формой ее проявления. Правильный учет случайных и необходимых факторов крайне важен в практической деятельности (научно-исследовательская работа, управление, предпринимательство и т. д.).

В отношении СТС, для которой характерно наличие четко заданной структуры, функциональных и параметрических связей, случайностью можно описать лишь внешние воздействия (не учтенные в тактико-технических характеристиках), а вероятность применима лишь к оцениванию точности измерений параметров системы.

Возможность и действительность – категории, выражающие основные ступени развития предметов и явлений. Возможность – это потенциальная действительность, носящая оттенок неопределенности. Действительность – это объективно существующий предмет как реализация (более или менее полная) некоторой возможности. В силу этого возможность и действительность образуют диалектическое единство. Следует различать возможности реальные (конкретные) и формальные (абстрактные). К реальным относятся возможности, выражающие закономерную, существенную тенденцию развития объекта и условия, способствующие их реализации. Формальная возможность отражает несущественную тенденцию в развитии объекта. Вероятность ее осуществления может быть ничтожно мала, но тем не менее для ее осуществления нет принципиальных препятствий. В этом коренное отличие возможности от невозможности.

Случайное явление – это явление, которое при неоднократном воспроизведении одного и того же опыта каждый раз протекает несколько по-иному. [5]. Само слово «случай» (случайность) происходит от французского *de hazard* – «азарт».

Изучая жизненный цикл СТС, следует отметить, что СТС – это объект, который характеризуется, во-первых, несомненной гносеологической и онтологической сложностью, а во-вторых, уникальностью. К такому объекту не применимы методы теории вероятности, которые [5] по природе приспособлены для исследования массовых случайных явлений. Первоначальная цель теории вероятности – миновать изучение сложных явлений. Понятие сложности с позиций 50-х годов XX века оправдывало введение в техническую сферу положений теории вероятности. То, что считалось сложным в 50-х годах XX века, не считается сложным в 10-х годах XXI века.

Нежелание работать над усложнением технических задач, для которых присуща «большая» сложность, привело нас в 50-х годах XX века к методам теории вероятности. В соответствии с положением этого подхода условия для протекания явлений, в рамках которых действует закон причинно-следственных связей, волюнтаристски разбиты [5] на основные и второстепенные.

Однако практическая эволюция СТС показала, что отрицание схем точных наук и принятие на вооружение неточной науки не применимы для СТС. Для таких СТС, например, как ракета космического назначения или космический аппарат исследование их движения строится и развивается не на основе вероятностных подходов, а на всё более тонком и точном учете второстепенных условий (возмущающих факторов).

Область приложения теории вероятности не соответствует целям и задачам уникальных СТС. Математический аппарат теории вероятности успешно применим для исследования массовых явлений в простых технических устройствах, которые входят и в СТС.

Исследования жизненного цикла СТС, проводимые на основе теории эффективности и теории надежности, содержащих в своей основе математический аппарат теории вероятности, являются недостаточными, а потому их следует вести с позиций более сложных подходов.

Список используемых источников

1. Новейший философский словарь / сост. и науч. ред. А.А. Грицанов. – Минск: Книжный дом, 2003. – 1280 с.
2. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Лань, 2003. – 830 с.
3. Математическая энциклопедия: в 5 т. / гл. ред. И.М. Виноградов. – М.: Советская энциклопедия, 1977. – Т. 1. – 576 с.
4. *Бронштейн И.Н., Семендяев К.А.* Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – М.: Наука, 2009. – 720 с.
5. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей. – М.: Высш. шк., 2000. – 576 с.

В.А. Кулганов,
доктор медицинских наук, профессор

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ И РАБОТОСПОСОБНОСТИ ОПЕРАТОРОВ

Психофизиологические факторы, действующие на операторов в условиях комплексов, принятых на вооружение, отличаются значительным разнообразием. Это обуславливает тот разброс показателей физиологических функций по величине и направленности, который обнаруживается при изучении с помощью психофизиологических методик особенностей влияния труда военных специалистов на функциональное состояние их организма.

В статье предложен интегральный подход оценки состояния военного оператора. Он позволяет дать количественные характеристики функционального состояния, работоспособности и утомления специалистов независимо от вида используемых для их изучения способов, оценить преобладающую направленность и среднюю величину динамики каждого исследуемого показателя за любой период работы. Этот метод может найти применение при решении многих вопросов, связанных с деятельностью человека в антропотехнических системах.

Ключевые слова: функциональное состояние организма оператора, утомление, работоспособность, интегральный показатель функционального состояния, психофизиологические показатели.

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на большое разнообразие операторских профессий, существует ряд черт, которые являются общими для различных видов труда операторов и которые определяют единую психофизиологическую характеристику этой деятельности. Эти черты определяются прежде всего тем, что ее основой является прием, переработка информации и выполнение управляющих действий, направленных на изменение объекта управления [1, 4].

Вместе с тем не следует забывать и о тех особенностях, связанных с различными условиями их работы, которые накладывают свой отпечаток на состояние оператора [2].

Известно, что снижение его работоспособности является результатом воздействия неблагоприятных факторов (монотонность внешних раздражителей, продолжительное пребывание в вынужденной рабочей позе, ограничение двигательной активности, относительная изоляция и сенсорная недостаточность), имеющих в специальных фортификационных сооружениях, в основе чего лежит развитие торможения в коре больших полушарий и ослабление возбуждательного процесса. Поступление ожидаемого сигнала связано с переходом к интенсивной деятельности за пультом управления по определенному алгоритму в условиях дефицита времени [5].

Наиболее простыми и надежными показателями психоэмоционального напряжения являются изменения со стороны сердечно-сосудистой системы. Хорошо отражают динамику напряженных состояний оператора частота сердечных сокращений и артериальное давление.

Важную роль в учащении сердечных сокращений и повышении систолического давления играет эмоциональный фактор [7].

Отсутствие у специалистов операторного профиля значительных энергозатрат в процессе работы и, соответственно, умеренная выраженность изменений уровня функционирования сердечно-сосудистой системы вследствие энергетического обеспечения деятельности делают частоту пульса чувствительным индикатором психоэмоционального напряжения, монотонности, гипокинезии и утомления.

Вегетативное реагирование на стрессовое состояние обычно имеет разнонаправленный характер у разных индивидуумов. Это обусловлено преобладанием активности симпатического или парасимпатического отдела вегетативной нервной системы, причем преобладание симпатической регуляции обеспечивает улучшение адаптивных возможностей организма,

а парасимпатической – их ухудшение. Стрессовые ситуации вызывают значительные изменения в поведении людей, часто приводят к резкому снижению эффективности и качества выполняемой работы [8].

Если субъективные реакции человека по тем или иным причинам можно скрыть или исказить, то мышечно-двигательно-поведенческие реакции более заметны, поддаются наблюдению и определению [3].

Одной из типичных особенностей психоэмоционального напряжения является большой разброс данных, получаемых при изучении моторных функций. Этот факт позволяет в некоторых случаях дифференцировать состояние утомления от состояния психоэмоционального напряжения. Например, стойкое увеличение латентного периода двигательной реакции, возникающее при утомлении, является достаточно точным критерием для разграничения этих состояний [6].

Профессии оператора в автоматизированных системах свойственна высокая интенсивность внимания почти на всем протяжении рабочего времени. Этот специалист в системах контроля и управления должен всегда находиться в состоянии оперативного покоя, т. е. во время работы исполнять роль «ждущей схемы».

Человек не может быть полностью вытеснен автоматическими устройствами. Он является органической частью любой сложной технической системы. За ним признается роль ее главного компонента.

Таким образом, методы психологических исследований в основном позволяют определить наличие тех или иных навыков и уровень их развития, но не оперативные качества человека. Кроме того, при таком обследовании остается неучтенным вегетативный компонент реакции, позволяющий судить о том, ценой каких усилий достигнут положительный результат при выполнении задачи (теста), какова при этом степень психоэмоционального напряжения.

Настоятельная потребность разработки методического подхода к оценке напряженности труда оператора в режиме ожидания, прогнозированию его работоспособности и обуславливает необходимость исследования сравнительной информативности отдельных показателей физиологического состояния организма для определения адекватных и более информативных критериев, пригодных для характеристики различных уровней состояния ожидания.

Поскольку методическая сторона при изучении труда специалистов определяется спецификой и конкретным содержанием профессиональной деятельности, выбор адекватных методов и критериев в ходе выполнения работы основывался прежде всего на данных о динамике изменений физиологического состояния человека-оператора в обычных и экстремальных условиях работы.

При объективном контроле работоспособности регистрируются различные количественные и качественные показатели состояния функциональных систем и их изменение в процессе деятельности и после нее во время отдыха.

Проведенные в ходе выполнения работы исследования подтверждают заключение о том, что при изучении военного труда специалистов-операторов для оценки их функционального состояния и работоспособности в настоящее время более приемлемым остается методический подход, который заключается в полиэффektorной регистрации физиологических параметров в сочетании с прямыми и косвенными показателями работоспособности и эффективностью работы специалистов.

Таким образом, актуальность и практическая значимость представленной работы заключаются в теоретической и экспериментальной разработке методических подходов к интегральной оценке функционального состояния, прогнозированию работоспособности операторов и ее повышению путем проведения профессионального психологического отбора и оптимизации трудовой деятельности специалистов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При изучении влияния факторов условий труда на работоспособность операторов возникает необходимость не только в качественной, но и в количественной оценке функционального состояния (ФС), утомления, а также в прогнозировании работоспособности операторов.

На основании полученных данных сделан вывод, что работоспособность операторов (P) прежде всего зависит от состояния здоровья (Z), уровня психоэмоционального напряжения и адаптивности (N), степени общефизической подготовленности (O), а также показателя ситуационного функционального состояния (C), т.е.

$$P = f(Z, O, N, C \dots). \quad (1)$$

Естественно, что эта эмпирически составленная формула нуждается в более тщательной проверке на практике и уточнении. Раскроем более подробно компоненты, входящие в формулу.

Состояние здоровья: Z_1 – здоров; Z_2 – практически здоров; Z_3 – требует систематического врачебного наблюдения. Z_1 соответствует сформировавшемуся на данный отрезок времени в определенном регионе представлению о физиологической вариабельности нормы. Этим людей характеризует удовлетворительное функционирование систем гомеостаза с учетом возраста, приспособление к обычным, средним по величине, нагрузкам и видам трудовой деятельности, а также близость к более высоким стандартам демографических показателей популяции (рождаемость, смертность, средняя продолжительность жизни, структура заболеваемости и смертности).

Для Z_2 возможно наличие в прошлом или в момент обследования компенсированных заболеваний, не требующих каких-либо ограничений или лечебных мероприятий. Эта группа лиц обнаруживает при специальных клинико-физиологических исследованиях или в отдельных частных демографических показателях популяции признаки, свидетельствующие о том, что адаптация и приспособление к обычным нагрузкам осуществляются с некоторым напряжением систем гомеостатического регулирования. В группе Z_3 выявляется увеличенная частота патологических признаков в состоянии здоровья, вплоть до учащения по сравнению с двумя другими группами, очерченных форм болезней, требующих лечебно-профилактических мероприятий.

Общефизическая подготовленность (O): O_1 – отличная; O_2 – очень хорошая; O_3 – хорошая; O_4 – удовлетворительная; O_5 – плохая. N – уровень психоэмоционального напряжения; N_1 – высокий; N_2 – средний; N_3 – низкий.

Показатели Z , O , N выражаются в баллах или стэнах.

Прогноз работоспособности складывается из прогноза функционального состояния человека на отдельный период времени и прогноза ФС на ближайшее время C :

$$W = f(Z, O, N). \quad (2)$$

Раскроем подробнее индивидуальный интегральный показатель функционального состояния организма (ФСО) операторов C .

Для оценки изменений состояния работоспособности организма оператора, наступающих в процессе трудовой деятельности, в качестве исходных данных чаще всего используют показатели функционального состояния оператора до начала работы после достаточного отдыха. С ними сравнивают показатели функций того же исследуемого, полученные в течение рабочей смены (дежурства) и после ее (его) окончания.

Известно, что разные условия обитаемости могут вызывать у одних и тех же специалистов однотипные физиологические реакции. В свою очередь, одинаковый фактор может воздействовать на различных лиц по-разному. Психофизиологические факторы, действующие на работающих в условиях комплексов, принятых на вооружение, отличаются значительным разнообразием. Перечисленное и обуславливает тот разброс изменений показателей физио-

логических функций по величине и направленности, который обнаруживается с помощью психофизиологических методик при изучении особенностей влияния труда различных категорий специалистов на ФС их организма.

Оценка степени развившегося утомления затрудняется тем, что отклонение показателей различных функций от исходных на одну единицу (при любой системе измерений) имеет неодинаковую физиологическую значимость.

Предлагаемые для получения количественной оценки ФС, работоспособности и утомления методы не могут быть эффективно использованы при изучении операторского труда по ряду причин. В одних случаях из-за того, что они основаны на моделировании трудового процесса обследуемого контингента, во время которого определяют параметры психофизиологических функций для каждой фазы работоспособности. При этом часто не учитывают психоэмоциональный фактор труда. Другие методы не учитывают величины сдвигов психофизиологических показателей, различную их вариабельность.

Чтобы получить интегральный количественный показатель ФС операторов с целью прогноза работоспособности на ближайшее время, необходимо иметь такие количественные характеристики изменения каждой функции, которые были бы соизмеримы между собой. Предпосылкой для их получения послужил тот факт, что диапазон изменений любого физиологического показателя хотя и варьируется в зависимости от индивидуальных особенностей, однако имеет определенные границы. К тому же при обычных видах операторского труда организм работающих не функционирует на пределе своих возможностей. Учитывая это, предложено максимальные сдвиги изучаемых психофизиологических показателей, полученные в различных группах операторов с различными условиями труда, принять равными 100 условным единицам (баллам). В этом случае различные по абсолютным величинам и направленности изменения исследуемых показателей становятся соизмеримыми, что позволяет их сравнивать между собой.

Так, показатель зрительно-моторной реакции (ЗМР) при выраженном ухудшении ФС операторов в данных исследованиях изменялся максимум на 100 мс. Сдвиг показателя ЗМР на эту величину принимаем равным 100 баллам. Меньший сдвиг будет соответствовать меньшему количеству баллов. Пересчитав по этому принципу изменения показателей каждого обследуемого, можно получить индивидуальный интегральный показатель ФС по формуле

$$C_{\text{инд}} = \frac{100}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{\Delta f_i}{\Delta f_{\text{max}}}, \quad (3)$$

где Δf_i – изменение показателя к концу рабочей смены (дежурства) в соответствующих единицах измерения (по сравнению с исходной величиной);

Δf_{max} – максимальное изменение того же показателя, полученного по результатам всех проводившихся исследований;

n – количество показателей.

В числитель формулы закладывают данные только тех показателей, которые изменились в направлении, неблагоприятном с точки зрения работоспособности и состояния здоровья. Последнее необходимо для того, чтобы отрицательные сдвиги одних функций не были «нейтрализованы» положительными изменениями других, не имеющих существенного значения в сформировавшейся рабочей функциональной системе.

Поскольку замеры ФС работающих принято проводить не только в начале и в конце рабочей смены (дежурства), но и за 1-2 часа до окончания смены и по суткам дежурства, необходимо вычислять $C_{\text{инд}}$ и для этого периода времени. За окончательный результат принимают среднюю между последним и предпоследним показателями ФС. То же осуществляют и с показателями каждой изучаемой функции. Это необходимо для того, чтобы исключить влияние «конечного порыва» и других психологических факторов, сопутствующих окончанию работы.

Из суммы индивидуальных показателей ФС исследуемых лиц одной специальности вычисляем среднюю величину S , которая дает представление о степени утомления специалистов всей обследуемой группы.

Для определения $S_{инд}$ использовали комплекс методик с высокой прогностической валидностью: модифицированная методика «арифметический счет», аппаратная методика («Физиолог-М», II программа), счет по Э. Крепелину в модификации Р. Шульта, зрительно-и акустико-моторные реакции (ЗМР и АМР).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ниже представлен пример расчета $S_{инд}$ и показатели динамики состояния оператора «Т» (табл. 1). Получив цифровые данные, выраженные в абсолютных единицах измерения, вычисляем показатель динамики каждого показателя за исследуемый период рабочего дня (смены, дежурства) в баллах.

Так, за время между началом и концом дежурства (7 суток) ЗМР оператора «Т» увеличилась на $(170 - 181) = -11$ с. Максимальная величина изменения ЗМР, зафиксированная в различных исследованиях, равна 100 мс (100 баллов). Следовательно, увеличение ЗМР на 11 мс обозначается в баллах показателем, равным 11. После пересчета по такому принципу всех данных, получаем результаты, размещенные в табл. 2.

Таблица 1

Пример расчета индивидуального интегрального показателя $S_{инд}$ по данным обследования оператора «Т»

Методики	Арифметический счет		«Физиолог-М» II программа		Счет по Э. Крепелину		ЗМР, мс	АМР, мс	
	Время исследования	Время, с	Ошибки	Правильные ответы	Ошибки	К-во выполн. операций			Ошибки
Начало дежурства		84	0	42	2	102	1	170	160
Конец дежурства		138	1	47	3	101	2	181	150

Таблица 2

Показатели динамики состояния организма оператора «Т» в период дежурства (баллы)

Методики	Арифметический счет		«Физиолог-М» II программа		Счет по Э. Крепелину		ЗМР, мс	АМР, мс	С	
	Время исследования	Время, с	Ошибки	Правильные ответы	Ошибки	К-во выполн. операций				Ошибки
Начало – конец дежурства		-21,2	-14,3	50	-10	-2	-12,	-11	10	8,9

Примечание. Знак «←» означает изменение показателя в неблагоприятном направлении, знак «+» означает благоприятное изменение показателя.

На данном этапе обработки результатов уже можно вычислять индивидуальный интегральный показатель ФС организма специалиста ($C_{\text{инд}}$), подставляя полученные показатели в формулу (3). В данном примере его рассчитывали следующим образом:

$$C_{\text{инд}} = \frac{-21,2 + (-14,3) + (-10) + (-2) + (-12,5) + (-11)}{8} = 8,9.$$

Знак в полученном показателе уже не имеет значения.

Сгруппировав затем аналогичные данные по всем обследованным, можно вычислить средний показатель динамики каждой функции и интегральный показатель ФС, утомления по всей профессиональной группе обследованных для каждого периода трудовой деятельности (рис. 1).

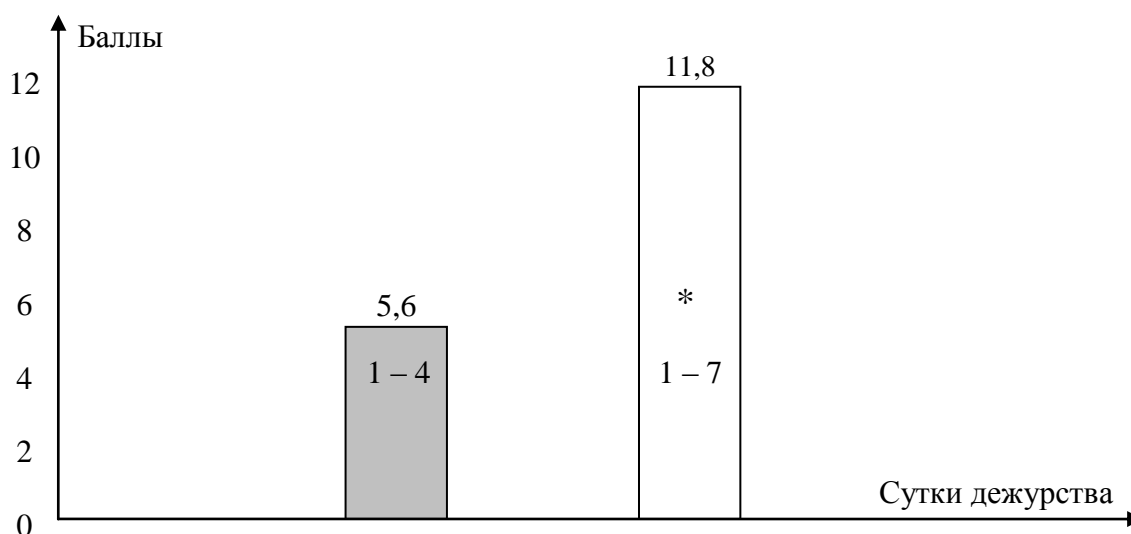


Рис. 1. Динамика индивидуального интегрального показателя ФС операторов в процессе дежурства (* – результаты достоверны при $P < 0,01$)

ВЫВОДЫ

Применение предложенного подхода позволит дать количественные характеристики ФС, работоспособности и утомления операторов независимо от вида используемых для их изучения способов, оценить преобладающую направленность и среднюю величину динамики каждого исследуемого показателя за любой период смены (дежурства), определить силу связи между показателями динамики исследуемых функций и интегральным показателем ФС.

В современных условиях такой метод может найти применение при решении многих вопросов, и в частности:

- при разработке мероприятий по оптимизации условий труда и отдыха операторов и определении эффективности от их внедрения;
- при определении тяжести труда;
- при проектировании и внедрении рациональных приемов и методов труда;
- для эргономической оценки режимов труда и отдыха;
- для оценки состояния курсантов в ходе психологического сопровождения учебно-воспитательного процесса в вузах, школах подготовки младших специалистов.

Список используемых источников

1. *Козлова И.Ю.* Профессиональная надежность персонала. Способы оценки // Материалы итоговой конференции военно-научного общества слушателей и ординаторов I факультета. – СПб.: ВМедА, 2007. – С. 63–64.
2. *Козлова И.Ю.* Электроэнцефалографические корреляты успешности когнитивной деятельности: автореферат диссертации кандидата медицинских наук. – СПб., 2010. – 22 с.
3. *Крачко Э.Ф.* Психофизиологические критерии распределения курсантов военного авиационного образовательного учреждения по родам авиации: автореферат диссертации кандидата медицинских наук. – СПб., 2013. – 26 с.
4. *Кулганов В.А.* Работоспособность операторов в различных режимах деятельности и психофизическое обоснование путей ее оптимизации. – СПб., 1992. – 28 с. – Деп. в ЦСИФ МО 16.01.92, № Д 5533.
5. *Кулганов В.А.* Работоспособность операторов и механизмы ее регуляции. – СПб., 1992. – 13 с. – Деп. в ЦСИФ МО 16.01.92, № Д 5536.
6. *Кулганов В.А.* Методические подходы к прогнозированию функционального состояния и работоспособности операторов // Экология и развитие Северо-Западного региона РФ: доклады международной конференции, 4-6 октября 1995 года. – СПб.: Изд-во Института экологии и охраны труда РАН, 1996. – С. 388–394.
7. *Кулганов В.А.* Человек и его здоровье // Межкакадеми́ческий информационный бюллетень «Академия». – 1996. – № 3. – С. 69–76.
8. *Михеева Г.Ф.* Психофизиологическое обоснование применения гипоксической тренировки для коррекции пограничных функциональных состояний авиационных специалистов: автореферат диссертации кандидата медицинских наук. – СПб., 2012. – 25 с.

В.Я. Пророк,
доктор техн. наук, профессор;
В.С. Скирда

АНАЛИЗ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ СИНТЕЗА РАЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ УЧЕБНО-ТРЕНИРОВОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ВОЕННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ

В статье приведены результаты исследования современного состояния процесса теоретической подготовки личного состава радиолокационных станций высокой заводской готовности с использованием учебно-тренировочных средств (УТС). Изложены основные недостатки существующих УТС и сформулированы основополагающие требования к перспективным учебно-тренировочным средствам. В статье затронута тема унификации учебно-тренировочных средств и их внедрения в систему подготовки персонала для обеспечения проведения теоретических и практических занятий с обучаемым персоналом РЛС ВЗГ с целью его подготовки к несению боевого дежурства в составе номеров боевого расчета и в высших военных учебных заведениях.

Ключевые слова: учебно-тренировочные средства и комплексы, подготовка военных специалистов, программное обеспечение, автоматизация процесса обучения, методы обучения, учебно-методический комплекс, унификация, радиолокационная станция высокой заводской готовности.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на вооружение Воздушно космических сил (ВКС) поступают современные радиолокационные станции высокой заводской готовности (РЛС ВЗГ).

РЛС ВЗГ – новейший высокотехнологичный образец стратегического военного вооружения ненаступательного характера. РЛС ВЗГ создаются и разворачиваются в крайне сжатые сроки, и к моменту их введения в строй обслуживающий персонал не в полном объеме знаком со спецификой работы станции и особенностями функционирования аппаратно-программного комплекса, что приводит к необходимости проходить подготовку на месте дислокации. В связи с этим для осуществления подготовки личного состава необходимо использование специализированных учебно-тренировочных средств.

ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ УЧЕБНО-ТРЕНИРОВОЧНЫХ СРЕДСТВ НА РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЯХ ВЫСОКОЙ ЗАВОДСКОЙ ГОТОВНОСТИ

В современных условиях при подготовке военных специалистов активно внедряются программные технологии на базе персональных ЭВМ, применяемые для передачи учебного материала и контроля степени его усвоения. При этом за последнее десятилетие появилось достаточно большое количество обучающих систем, в том числе и автоматизированных, которые охватывают различные предметные области и призваны решать задачи обучения на различных этапах. Вместе с тем основные принципы построения этих систем носят субъективный характер и написаны в соответствии с взглядами разработчиков на компьютерную технологию обучения. Это приводит к тому, что ряд обучающих систем имеют крайне ограниченные функциональные возможности и не позволяют в полной мере усвоить обучаемым преподносимый материал, а в некоторых случаях вообще дискредитируют саму идею автоматизации процесса обучения с использованием УТС на базе персональных ЭВМ [1, 2].

До настоящего времени РЛС ВЗГ не имеют единой системы подготовки и доподготовки квалифицированных военных специалистов. На каждом отдельном радиотехническом узле

(ОРТУ) существуют свои правила повышения квалификации и используется целый набор разнородных «средств обучения», которые, как показывает практика, в большинстве случаев применяются с очень низкой эффективностью.

На большинстве ОРТУ в качестве учебно-тренировочных средств используется один из перечисленных вариантов:

1) пакеты конструкторской и программной документации в совокупности с устоявшимися «традиционными» методами обучения;

2) аппаратно-программные учебно-тренировочные средства с невысокой степенью автоматизации, которые даже при их номинальном наличии не интегрированы в процесс подготовки.

Использование в процессе подготовки личного состава РЛС ВЗГ устоявшихся «традиционных» методов обучения, как показывает практика, характеризуется высокой степенью трудозатратности и негарантированной эффективностью, качеством, полнотой и глубиной изучения материалов по принципам функционирования и эксплуатации аппаратно-программных комплексов (АПК) ОРТУ.

На некоторых ОРТУ РЛС ВЗГ осуществляются попытки развертывания аппаратно-программных учебно-тренировочных средств. Однако они способны лишь частично расширить возможности учебного процесса за счет оборудования выделенных под УТС помещений нештатными вычислительными средствами с установленным программным обеспечением и возможностью проведения процедуры тестирования. Такой подход не решает основной задачи – не позволяет поддерживать процесс автоматизированного обучения, а лишь предоставляет инструментальную возможность частичной автоматизации процесса. Основная нагрузка по обучению военных специалистов по-прежнему ложится на плечи представителей промышленности и командиров – в основном начальников боевых расчетов ОРТУ.

Решением же проблемы подготовки высококвалифицированных военных специалистов должно стать применение унифицированных автоматизированных средств теоретического обучения и контроля в совокупности с практическим обучением на тренажерных средствах, базирующихся на штатных вычислительных средствах (ВС) и программном обеспечении (ПО). Унифицированные автоматизированные средства обучения, введенные в состав УТС ОРТУ, предоставят возможность круглосуточного доступа к материалам обучения и автоматизированного контроля уровня их усвоения.

В настоящее время современные УТС обладают рядом недостатков:

– не всегда оценивается полный набор профессионально важных качеств (ПВК), необходимых для подготовки военных специалистов, а также не учитывается их взаимосвязь друг с другом;

– отсутствует научное обоснование структуры системы УТС с учетом временных и ценовых ограничений;

– не учитывается процесс освоения ПВК;

– не определяется точный набор обучающих процедур и тестов, при помощи которых необходимо прививать ПВК военным специалистам.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ СИНТЕЗА РАЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ УЧЕБНО-ТРЕНИРОВОЧНЫХ СРЕДСТВ

Значительная часть работ по повышению уровня ПВК военных специалистов в ВКС производится без применения УТС. Таким образом, возникает необходимость в решении ряда задач по проектированию и дальнейшему использованию современных унифицированных учебно-тренировочных комплексов:

1) анализ существующих методов и моделей оценки эффективности функционирования учебно-тренировочных средств в частях ВКС;

2) анализ требований к профессионально-важным качествам военных специалистов, обслуживающих РЛС ВЗГ;

3) обоснование предназначения и перечня решаемых задач учебно-тренировочным комплексом РЛС ВЗГ;

4) проведение анализа требований к функциональным возможностям учебно-тренировочных средств РЛС ВЗГ;

5) разработка методики обоснования рационального состава учебно-тренировочных средств РЛС ВЗГ;

6) разработка модели освоения профессиональных компетенций военными специалистами;

7) разработка методики определения рационального набора обучающих и контролирующих процедур в интерактивной электронной обучающей системе учебно-тренировочных средств РЛС ВЗГ.

Главной целью разрабатываемой методики синтеза рациональной структуры учебно-тренировочных средств для подготовки военных специалистов частей ВКС является планирование и использование средств УТК, при котором вероятность P повышения качества подготовки военного специалиста до заданного уровня примет максимальное значение, а время выполнения процедуры обучения t и затраты на подготовку c не превысят предельно допустимых значений t^* и c^* соответственно.

Таким образом, критериальная (целевая) функция, характеризующая достижение цели исследования, имеет следующий вид:

$$x^* = \arg \max_{x \in G} P(x),$$

Здесь x – векторный аргумент $x = \{\pi_i, M, s_j\}$, [где π_i – вариант набора обучающих и контролирующих процедур ($\pi_i \in \Pi$); M – множество профессионально важных качеств, необходимых для подготовки военного специалиста; s_j – вариант согласования профессионально важных качеств, необходимых для подготовки военного специалиста ($s_j \in S$)];

$P(x)$ – вероятность достижения цели процесса функционирования системы;

G – множество ограничений на результаты применения разрабатываемой методики синтеза с учетом c -стоимостных и t -временных показателей.

Структуризация ПВК имеет своей целью создание наилучших условий для достижения максимального уровня подготовки военных специалистов. Создание такой структуры УТК, в которой каждая из обучающих и контролирующих процедур решает задачи, наиболее близкие с точки зрения необходимой для их реализации информации, эквивалентно при ограничениях на результаты решения задач требованию минимизации объема дублирующей информации, поступающей на обработку. Тем самым обнаруживается тесная связь между задачами создания рациональной системы информационных потоков путем структурирования ПВК и совершенствованием структуры УТС [3, 4].

Иерархия ПВК может строиться как снизу вверх (то есть индуктивным методом), так и сверху вниз путем конкретизации задач вышестоящего уровня (т. е. методом дедукции).

Таким образом, процедура выявления сильно связанных ПВК должна предшествовать процедурам вертикальной и горизонтальной структуризации [5].

Так как в ходе синтеза структуры УТС необходим просмотр большого количества вариантов их организации, отличающихся как глубиной иерархии, так и количественными составными структурных подсистем на каждом уровне, то необходим механизм, позволяющий целенаправленно изменять структурную сложность взаимных связей ПВК, и на основе синтезируемых вариантов их структур осуществлять их вертикальную и горизонтальную структуризацию.

В результате выделения групп ПВК возникает необходимость выявления наиболее рационального состава обучающихся и контролирующих процедур, способных обеспечить достаточное развитие профессионально важных качеств. Причем объединение ряда ПВК в единую псевдогруппу усложняет процесс определения таких средств. В связи с этим необходима разработка научно-методического аппарата выбора рационального состава обучающихся и контролирующих процедур с возможностью модификации в зависимости от изменения требований к профессионально важным качествам.

Решение перечисленных выше задач позволит осуществить синтез рациональной структуры учебно-тренировочного комплекса, на который возлагаются следующие задачи:

- теоретическое обучение должностных лиц и номеров дежурных смен боевых расчетов по программе профессионально-должностной подготовки;
- тестирование обучаемых должностных лиц и номеров дежурных смен боевых расчетов с целью контроля знаний и определения качества усвоения учебного материала;
- проведение обучения, тренировок и контрольных проверок должностных лиц и номеров дежурных смен боевых расчетов с целью выработки практических навыков, необходимых для выполнения своих функциональных обязанностей при несении боевого дежурства;
- контроль, регистрация и оценка качества подготовки обучаемых на всех этапах проведения теоретических и практических занятий.

УТС должны обеспечивать:

- индивидуальную подготовку, включающую теоретическую подготовку и практическую работу по выполнению функциональных обязанностей номеров боевых расчетов РЛС;
- слаживание боевого расчета, предусматривающее проведение тренировок (контрольных проверок) должностных лиц и номеров дежурных смен боевых постов РЛС с целью совершенствования навыков управления, оценки текущего технического состояния средств, выбора режима работы РЛС, анализа радиоэлектронной и ракетно-космической обстановки на основе моделирования различных условий боевого применения РЛС.

Областью применения УТС является боевая подготовка номеров боевых расчетов РЛС ВЗГ согласно требованиям «Руководства по организации боевого дежурства в Войсках воздушно-космической обороны». Боевая подготовка номеров боевых расчетов РЛС ВЗГ может проводиться в вузах, учебных центрах и войсках.

УТС должны применяться на этапах предварительной и непосредственной подготовки номеров боевых расчетов и должностных лиц к выполнению своих функциональных обязанностей при несении боевого дежурства на РЛС ВЗГ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В современных условиях, когда возникла задача оперативного внедрения современных систем вооружения, закономерно возрастание роли человеческого фактора, необходима активизация в процессе деятельности всех физических и умственных способностей каждого специалиста, что, в свою очередь, приводит к необходимости совершенствования системы подготовки военных специалистов. Одним из наиболее эффективных способов интенсификации процесса обучения является использование современных автоматизированных учебно-тренировочных комплексов.

Будучи непосредственно связанным с этапами обучения и практической деятельностью специалистов учебно-тренировочный комплекс должен рассматриваться как адаптивная, развивающаяся и динамичная система с гибкой организацией, характер которой существенно зависит от целей и решаемых задач.

Создание такой системы должно предполагать комплексное применение средств автоматизации, основу которых составляют высокопроизводительные вычислительные комплексы.

Базируясь на системных методах, принципы разработки УТС должны учитывать методологию психологического обследования кандидатов, организационные формы проведения обучения и контроля уровня знаний, методологию выбора рациональной структуры и характеристик средств обучения, особенности связи характеристик УТС с параметрами, определяющими эффективность последующей профессиональной деятельности специалистов и т. п.

Степень учета тех или иных принципов разработки в конкретной системе зависит от целей и задач ее реализации, а также от имеющегося состава временных и материальных ресурсов.

Решение сформулированной в статье задачи достигается за счет комплексного учета результатов решения всех вышеперечисленных частных задач исследования. Формализация данного процесса исключительно аналитическими методами приведет к результатам, выраженным через математические зависимости, тяжелые для восприятия и использования, кроме того, большинство этапов, решаемых при рассмотрении задач, плохо формализуется в виде классических зависимостей значения функции от значений ее аргументов. Таким образом, обеспечение возможности применить разрабатываемый научно-методический аппарат на практике достигается исключительно за счет программной реализации вышеописанных этапов метода.

Список используемых источников

1. Морев И.А. Образовательные информационные технологии. Педагогические измерения. – Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 2004. – Ч. 2. – 174 с.
2. Харебин Д.А. Автоматизированная система дистанционного образования как инструмент повышения квалификации специалистов высокотехнологичных сфер // Фундаментальные и прикладные проблемы современной техники: сборник работ лауреатов конкурса молодых ученых имени академика И.И. Воровича. – Ростов-на-Дону: Изд-во Северокавказского научного центра высшей школы ЮФУ, 2011. – Вып. 14. – С. 111–122.
3. Львов В.М., Рахманова Т.Р., Сударик А.Н. Методические подходы к решению проблемы профессиографического описания управленческих воинских должностей // Проблемы психологии и эргономики. – 2004. – №1 – С.14–18.
4. Грин Д., Кнут Д. Математические методы анализа алгоритмов. – М.: Мир, 1987. – 120 с.
5. Пророк В.Я. Основы построения и организации адаптивных систем профессионального отбора. – СПб.: Лань, 2003. – 330 с.

А.И. Алтухов,
кандидат техн. наук доцент;
В.Н. Калинин,
доктор техн. наук профессор;
М.А. Чебурков

ОБ ОПЫТЕ ФОРМИРОВАНИЯ И ОЦЕНИВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ ПО ДИСЦИПЛИНАМ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ЦИКЛА В СИСТЕМЕ ВОЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ

В статье на примере подготовки специалистов в области обработки данных дистанционного зондирования Земли рассмотрен подход к организации образовательной деятельности по дисциплинам профессионального цикла при реализации компетентного подхода в военно-учебных заведениях. Особое внимание уделяется формированию и оцениванию профессиональных компетенций. Рассмотрена модель формирования профессиональных компетенций. Определены подходы к оцениванию сформированных компетенций у обучающихся.

Ключевые слова: компетенции, формирование и оценивание компетенций, дисциплины профессионального цикла, подготовка военных специалистов, дистанционное зондирование Земли.

ВВЕДЕНИЕ

Современные требования к организации и практическому осуществлению образовательной деятельности в военных высших учебных заведениях (военных вузах) ориентированы на реализацию компетентного подхода [1, 2], в основе которого лежит формирование необходимых профессиональных компетенций по специальности подготовки.

При определении замысла обучения по направлению подготовки перед вузом встают два основных вопроса. Первый вопрос – чему учить, какие компетенции нужно сформировать. Второй – как формировать требуемые компетенции и как проверить и оценить уровень их сформированности.

Ответ на первый вопрос формулирует заказчик подготовки. В системе образования заказчик подготовки является первичным звеном. Именно он через систему квалификационных требований определяет, чему учить, какими качествами должен обладать молодой специалист. Поэтому в системе военного образования вопрос «чему учить», не является новым. В военных вузах всегда знали, чему учить, какие компетенции формировать. Это определено квалификационными требованиями или, переходя на современный язык, перечнем военно-профессиональных компетенций, сформулированным заказчиком подготовки. Структура квалификационных требований включает две части. В первой части сформулирован перечень личностных качеств, которые должны быть сформированы у выпускника и которые позволят ему успешно применять знания, умения и навыки для решения задач по предназначению в штатных и нештатных ситуациях, самообразовываться и развиваться. Во второй части приведен перечень требований к знаниям, умениям и навыкам по циклам дисциплин. Несложно видеть, что квалификационные требования по своей структуре, замыслу и содержанию аналогичны понятию компетенции.

По вопросам формирования компетенций, оценивания уровня их сформированности в практике работы академии накоплен определенный опыт [3–11].

ФОРМИРОВАНИЕ КОМПЕТЕНЦИЙ ПО ДИСЦИПЛИНАМ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ЦИКЛА

Главный вопрос методики теоретического и практического обучения – как сформировать качества, перечисленные в квалификационных требованиях, или как сформировать необхо-

димые компетенции? Очевидно, что нельзя рассматривать по отдельности личностные качества обучающегося и его качества в форме знаний, умений и навыков, нельзя и разделять процесс формирования личностных качеств и процесс приобретения знаний, формирования умений и навыков. Эти два компонента компетенции формируются совместно, зависят один от другого и взаимно дополняют друг друга.

Один из путей эффективного формирования компетенций или реализации квалификационных требований у обучающихся заключается в том, чтобы приблизить условия обучения по дисциплинам профессионального цикла к реальным условиям решения задач по предназначению. К тем условиям, в которых выпускнику предстоит выполнять обязанности на первичной должности. Для этого необходимо, чтобы процесс обучения был построен на базе штатных технических средств, эксплуатирующихся в подразделениях заказчика подготовки, с использованием реальных данных, с учетом временных нормативов выполнения задач, возникновения нештатных ситуаций и т. п. Именно по такому принципу построен учебный процесс по всем направлениям подготовки в академии. Так, при подготовке специалистов в области обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) процесс изучения дисциплин профессионального цикла построен на базе учебно-тренажерных средств, которые реализуют полный цикл дистанционного зондирования Земли, начиная от планирования сеанса связи с космическим аппаратом (КА), приема и регистрации данных с него в реальном масштабе времени, их первичной и тематической обработки и заканчивая разработкой и представлением комплектов отчетных информационных документов [3, 6]. Техническую основу учебно-тренажерных средств составляют штатные образцы современной техники, которые эксплуатируются в подразделениях заказчика подготовки. Отдельные компоненты тренажерных средств обеспечивают изучение одной или нескольких дисциплин профессионального цикла. В целом же достигается преемственность обучения от одной дисциплины к другой. Или, как следствие, преемственность формирования компетенций: компетенции, сформированные полностью или частично в рамках одной дисциплины или цикла дисциплин, участвуют в формировании компетенций другой дисциплиной. Как правило, окончательное формирование военно-профессиональных компетенций в стенах военного вуза происходит в период эксплуатационной практики и стажировки.

Этап формирования компетенций является одним из трех компонентов (организационный, формирующий и оценивающий) модели формирования и оценивания военно-профессиональных компетенций (рис. 1). Содержание первого компонента определяется законами, подзаконными актами и приказами Министра обороны Российской Федерации, а также требованиями, предъявляемыми к уровню подготовки выпускника, сформулированными заказчиком подготовки, на основе которых разрабатывается основная профессиональная образовательная программа (ОПОП). Формирующий компонент включает в себя методы организации учебного процесса и технологии проведения учебных занятий по дисциплинам профессионального цикла. Оценивающий компонент объединяет в себе критерии оценивания, технологии оценивания знаний, умений и навыков, формируемых дисциплинами, а также критерии оценивания уровня сформированности компетенций [7, 8].

Основу модели составляет формирующий компонент. Основное назначение этого компонента – формирование военно-профессиональных компетенций путем создания в процессе обучения условий, близких к условиям, в которых выпускнику предстоит решать задачи по предназначению на первичной должности. В рамках этого компонента разрабатываются и реализуются методы и методики формирования профессиональных компетенций обучающихся [3, 6].

Для примера рассмотрим последовательность формирования профессиональной компетенции ПК-6 «Способность осуществлять добывание, хранение, обработку и комплексный анализ информации, полученной от различных видов электронных и оптико-электронных систем специального назначения».



Рис. 1. Модель формирования профессиональных компетенций

Вышеназванная компетенция формируется при изучении следующих дисциплин профессионального цикла: «Фотограмметрическая обработка данных ДЗЗ» – формирует способность осуществлять фотограмметрическую обработку информации, полученной электронными и оптико-электронными приборами и системами специального назначения [4–5 семестр (D_1)]; «Комплексы приема и обработки данных систем ДЗЗ» – формирует способность осуществлять получение и хранение информации, полученной от различных видов оптико-электронных систем ДЗЗ [6 семестр (D_2)]; «Основы цифровой обработки изображений» – формирует способность осуществлять цифровую обработку информации, полученной

от различных видов электронных и оптико-электронных систем специального назначения [6–7 семестр (Д₃)]; «Методы и средства обработки данных систем ДЗЗ» – формирует способность осуществлять тематическую обработку информации, полученной от различных видов электронных и оптико-электронных систем специального назначения [7–8 семестр (Д₄)]; «Основы анализа данных систем ДЗЗ» – формирует способность осуществлять комплексный анализ информации, полученной от различных видов электронных и оптико-электронных систем специального назначения [8–9 семестр (Д₅)]; «Радиолокационные и радиотехнические системы специального назначения» – формирует способность осуществлять сбор и хранение информации, полученной от различных видов радиолокационных и радиотехнических систем специального назначения [9 семестр (Д₆)]. Последовательность формирования этой компетенции по семестрам приведена на рис. 2.

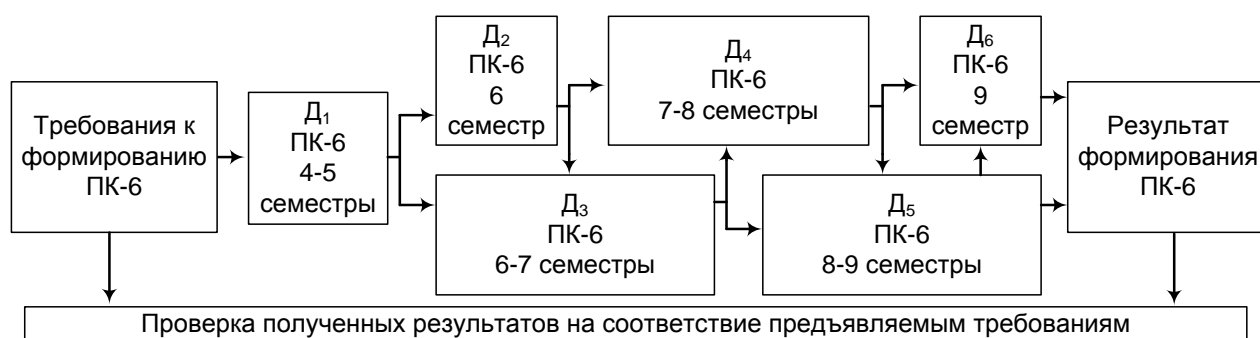


Рис. 2. Последовательность формирования ПК-6

При проведении занятий практической направленности по дисциплинам, формирующим компетенцию ПК-6, обучающиеся решают ситуационные задачи с использованием отдельных компонентов учебно-тренажерных средств, данных, получаемых в реальном масштабе времени, в условиях ограниченного ресурса времени и возникновения нештатных ситуаций. Это позволяет приблизить процесс обучения к реальным условиям выполнения задач по предназначению. Особенность такой организации учебного процесса состоит в том, что задачи решаются на единой базе данных, выполнение заданий по отдельной теме или дисциплине объединено единым замыслом (рис. 3). Так, например, по дисциплине «Методы и средства обработки данных систем ДЗЗ» обучающиеся при выполнении ситуационной задачи на базе компонентов учебно-тренажерного комплекса отрабатывают вопросы обработки данных ДЗЗ, которые были приняты ими с КА на практических занятиях по другой дисциплине с использованием других компонентов комплекса.

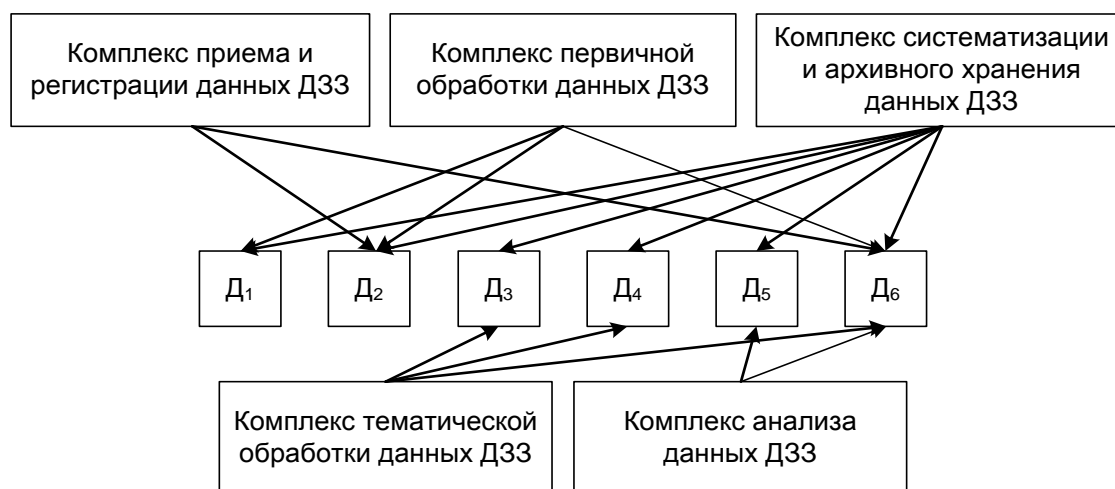


Рис. 3. Взаимосвязь дисциплин и учебно-тренажерных средств

Результаты решения заданий на практических занятиях хранятся в базе данных. Далее эти результаты будут использованы в качестве исходных данных при проведении занятий практической направленности по другим дисциплинам профессионального цикла в следующих семестрах. Этим достигается, с одной стороны, непрерывность подготовки, с другой – логическая последовательность формирования профессиональных компетенций.

ОЦЕНИВАНИЕ КОМПЕТЕНЦИЙ ПО ДИСЦИПЛИНАМ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ЦИКЛА

Следующий вопрос – как оценить уровень сформированности компетенций выпускника? Оценивать уровень сформированности компетенций целесообразно по результатам решения комплексных задач, где проверялись бы способности обучающегося решать задачи на штатных технических средствах, в условиях ограниченного ресурса времени, с использованием реальных данных и отработкой нештатных ситуаций. Другими словами, оценивать сформированность компетенций в условиях, приближенных к реальным условиям, в которых выпускникам придется выполнять задачи по предназначению на первичных должностях. Тогда выставляемая оценка по промежуточной либо итоговой аттестации будет содержать в себе оценку как знаний, умений и навыков, проявленных при решении комплексной задачи, так и личностных качеств обучающегося, которые позволили ему решить эту задачу в условиях ограниченного ресурса времени, справиться с нештатной ситуацией и т. п.

Дополнительными средствами качественного оценивания уровня сформированности компетенций могут служить служебная карточка выпускника, его служебная характеристика, а также его личные достижения в учебе, научной деятельности и т. п., оформленные на отдельной странице или страницах зачетной книжки (научные статьи, патенты на изобретения, конкурсные работы, грамоты, медали и т. п.) – результаты проявления его компетенций [8].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренный подход к организации образовательной деятельности по дисциплинам профессионального цикла в области обработки данных дистанционного зондирования Земли в полной мере удовлетворяет современным требованиям, предъявляемым образовательным организациям заказчиками подготовки кадров в лице начальников подразделений, где будут проходить службу выпускники военного вуза. Это достигается тем, что формирование и оценивание компетенций происходит в условиях, близких к реальным условиям выполнения задач по предназначению на первичных должностях. Эффективность реализации рассмотренного подхода подтверждена анализом отзывов из войск на выпускников за последние три года. Результаты этого анализа свидетельствуют о том, что время ввода в строй молодых специалистов при назначении их на первичные должности сократилось.

Что касается формирования компетенций по дисциплинам математического и естественнонаучного цикла, то в роли «заказчиков подготовки» в данном случае выступают выпускающие кафедры [8, 9, 10]. Именно выпускающие кафедры акцентируют внимание на особенностях подготовки обучающихся по дисциплинам математического и естественнонаучного цикла с учетом требований программ (по физике, высшей математике и др.) для федерального государственного образовательного стандарта. Оценивать сформированность компетенций по дисциплинам математического и естественнонаучного цикла наряду с профессорско-преподавательским составом общеакадемических кафедр могут и независимые эксперты – представители выпускающих кафедр. Критерием оценивания будет являться способность курсанта применять полученные знания по дисциплинам математического и естественнонаучного цикла для изучения дисциплин профессионального цикла.

Список используемых источников

1. О мерах по реализации отдельных положений статьи 81 Федерального закона от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации»: приказ Министра обороны Российской Федерации № 670 от 15 сентября 2014 года.
2. *Ефремова Н.Ф.* Компетенции в образовании: формирование и оценивание. – М.: Национальное образование, 2012. – 416 с.
3. Концепция инновационной технологии обучения по дисциплинам профессионального цикла подготовки специалистов в области обработки данных дистанционного зондирования Земли в образовательных учреждениях высшего профессионального образования / Ю.В. Кулешов, А.И. Алтухов, Н.С. Кужекин, М.А. Сквзников, М.А. Чебурков // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2012. – Вып. № 636. – С. 54–57.
4. *Кунтурова Н.Б.* Особенности оценивания профессиональной компетентности будущих специалистов в процессе их подготовки в вузе // Научно-технические ведомости: Информатика. Телекоммуникации. Управление. – СПб.: СПбГПУ, 2009. – № 5 (86). – С. 194–198.
5. *Кунтурова Н.Б.* К вопросу организации самообразовательной деятельности будущих военных специалистов // Актуальные проблемы физической и специальной подготовки силовых структур. – 2013. – № 2. – С. 192–195.
6. *Алтухов А.И., Сквзников М.А., Чебурков М.А.* Особенности применения многофункционального учебно-тренажерного комплекса приема, обработки, хранения данных дистанционного зондирования Земли в учебном процессе // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2013. – Вып. № 640. – С. 228–234.
7. *Калинин В.Н., Коцкович А.В., Хохлова М.В.* Методика промежуточного контроля уровня сформированности компетенций курсанта с использованием компьютерного тестирования // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2015. – Вып. № 647. – С. 198–204.
8. *Калинин В.Н.* Основные направления формирования и критерии оценивания общекультурных и профессиональных компетенций в цикле математических и естественнонаучных дисциплин // Информационный бюллетень № 121. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2014. – С. 19–27.
9. *Алтухов А.И., Головина В.В., Калинин В.Н.* Формирование и критерии оценивания компетенций в цикле математических и естественнонаучных дисциплин // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, 2014. – Вып. № 642. – С. 210–215.
10. *Булекбаев Д.А., Катранов А.Г., Морозов А.В.* Формирование компетенций в курсе математики // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2015. – Вып. № 648. – С. 192–201.
11. *Кужекин Н.С., Чикуров В.А., Зиновьев С.В.* Фонд оценочных средств как компонент основной профессиональной образовательной программы // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2015. – Вып. № 648. – С. 202–209.

И.Ю. Воронков,
кандидат военных наук;
М.А. Голубев,
кандидат военных наук;
Д.И. Дьяконов;
О.Г. Машков

eLearning Server 4G КАК КОМПОНЕНТ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ В СИСТЕМЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Рассмотрен подход к применению системы дистанционного обучения eLearning Server 4G при организации электронного обучения слушателей факультета переподготовки и повышения квалификации Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского.

Ключевые слова: дистанционные образовательные технологии, электронное обучение, дополнительная профессиональная программа, повышение квалификации, система дистанционного обучения.

В Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского на факультете переподготовки и повышения квалификации (ФППК) в настоящее время реализуется свыше 120 дополнительных профессиональных программ (ДПП) повышения квалификации (ПК) и профессиональной переподготовки (ПП) военных специалистов. Учитывая средства, выделяемые на командировочные расходы, проживание и дорогу, можно сказать, что этот необходимый вид профессиональной подготовки военных специалистов Министерства обороны Российской Федерации (МО РФ) является затратным. Опыт сокращения расходов на обучение был приобретен при проведении преподавателями Военно-космической академии выездных занятий в воинских частях Северного флота в учебных группах ПП военнослужащих, увольняемых в запас. Подготовка этой категории слушателей организовывалась проведением на начальном этапе обучения установочных лекций и выдачей индивидуальных заданий, а на заключительном этапе – итоговых занятий по дисциплинам, консультаций и итоговой аттестацией выпускников. Такой подход позволил в значительной степени сократить общие расходы на обучение. Данный пример приведен с целью показать, что расходы на обучение могут быть сокращены.

Актуальным решением для образовательных организаций по сокращению расходов на обучение в настоящее время становится реализация образовательных программ, использующих дистанционные образовательные технологии и электронное обучение. Такое право образовательным организациям предоставлено Федеральным законом от 29.12.2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации». Кроме прав этим Федеральным законом определяются требования по применению электронного обучения и дистанционных образовательных технологий. Основными из них являются следующие:

– организация образовательной деятельности с применением средств электронного обучения должна обеспечиваться информацией, содержащейся в базах данных и используемой при реализации образовательных программ, информационных технологий, технических средств, а также информационно-телекоммуникационных сетей, обеспечивающих ее обработку и передачу по линиям связи, взаимодействие обучающихся и педагогических работников;

– применяемые дистанционные образовательные технологии должны в основном использовать информационно-телекоммуникационные сети при опосредованном (на расстоянии) взаимодействии обучающихся и педагогических работников;

– при реализации образовательных программ с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий образовательная организация должна обеспе-

чить защиту сведений, составляющих государственную или иную охраняемую законом тайну.

Решение о развертывании в Военно-космической академии такой системы дистанционного обучения по ДПП ПП и ПК военных специалистов было принято в 2014 году. С этой целью потребовалось:

- определить информационные технологии, которые могут быть применены;
- подготовить технические средства и информационно-телекоммуникационную сеть, обеспечивающую передачу информации по линиям связи;
- осуществить выбор образовательных программ, по которым возможно дистанционное обучение;
- разработать базу данных информации, содержащейся и используемой при реализации образовательных программ;
- подготовить преподавателей и технических сотрудников, которые будут обеспечивать создание указанной базы данных и организацию взаимодействия обучающихся с преподавателями.

При выборе информационных технологий, планируемых к применению в образовательном процессе, можно было ориентироваться на разработку собственной системы дистанционного обучения (СДО) или использование специализированных СДО. В результате анализа возможностей Военно-космической академии было принято решение об использовании специализированной СДО. В настоящее время более широкое применение в образовательных организациях нашли такие системы, как Moodle, JomalaLMS и eLearning.

Система Moodle ориентирована прежде всего на организацию взаимодействия между преподавателем и учениками, хотя подходит и для организации традиционных дистанционных курсов, а также поддержки очного обучения.

Система JoomlaLMS позволяет создавать на базе компонентов бюджетные, но в то же время вполне профессиональные образовательные порталы с интегрированной социальной сетью для Intranet/Internet.

Система eLearning Server 4G создает информационно-образовательную среду для дистанционного обучения, налаживает взаимосвязь между обучающимися, преподавателями и администрацией, а также позволяет управлять образовательным процессом.

Система обеспечивает сквозной процесс организации обучения от получения информации о кадрах и контингенте до учета выдачи документов об обучении и создания аналитических отчетов, решает следующие задачи:

- создание информационно-образовательного портала;
- разработка учебных курсов, тестов, опросов, интерактивных упражнений;
- организация учебного процесса и управление развитием сотрудников;
- проверка знаний и учет учебных достижений;
- поддержка сертификации и мотивации сотрудников;
- организация взаимодействия пользователей в процессе обучения;
- оценка эффективности обучения.

Функциональными преимуществами такой СДО являются:

- простой интерфейс портала и возможность гибко настраивать его «под себя», что позволяет быстро обучить пользователей работе в системе;
- встроенные средства мотивации (рейтинги, доски почета и электронное портфолио) помогут вовлечь обучающихся в процесс обучения и объединить опыт экспертов;
- система не только интегрирована с различными социальными сервисами и сетями, но и сама является сервисом в сетях Интернет или Интранет, что предоставляет возможность целенаправленно развивать и обучать большое количество обучающихся.

Технологические преимущества системы выражаются в том, что она не требует установки специальных компонентов и полностью работает из всех основных браузеров. Она имеет открытый код, что гарантирует возможность развития системы силами третьих компаний и самой образовательной организации, полностью открыта для интеграции с информацион-

ными системами и внешними сервисами: Active Directories, MS Navision, 1C, Lotus, SAP, Oracle, SharePoint, YouTube, SlideShare и др. Система имеет соответствующий класс защиты персональных данных и сертифицирована для применения в сетях при хранении информации с третьим уровнем секретности. Кроме того, за счет собственно распространяемого дополнительного программного обеспечения (ПО) eAuthor система реализует возможность создания интерактивных и наглядных обучающих модулей.

Исходя из указанных преимуществ была осуществлена закупка, установка и наладка в инфо-телекоммуникационной сети (ИТКС) ПО «Сервер eLearning Server 4G», что позволило обеспечить доступ сотрудникам Военно-космической академии с автоматизированных рабочих мест к информационным ресурсам системы.

Апробация СДО в образовательном процессе осуществлена в 2015 году по ДПП ПК учебной группы повышения квалификации руководящего состава научно-исследовательских подразделений вузов Министерства обороны Российской Федерации и научно-исследовательских организаций войск Воздушно-космической обороны. Выбор этой ДПП ПК обоснован непродолжительным сроком обучения по ней (72 часа), небольшим количеством изучаемых учебных дисциплин, использованием открытой информации, а также возможностью доступа слушателей в ИТКС Военно-космической академии.

Одной из наиболее сложных задач при развертывании новых систем является разработка правильного способа эксплуатации оборудования. Идея СДО заключается в том, что обучающийся получает информацию в более простом, чем в учебниках, и одновременно более наглядном виде, за счет новых способов представления информации. Одновременно с получением знаний обучающийся в СДО проверяется на уровень усвоения полученных знаний. Преподаватель за счет конструирования и внесения в базу данных учебных занятий освобождается от необходимости многократно повторять от занятия к занятию один и тот же лекционный материал. Что позволяет ему иметь больше возможностей для работы с обучающимися с использованием сервисов СДО (почтового сервиса, разработки и редакции проверочных мероприятий).

База данных информации создавалась преобразованием лекционных и тестовых материалов в учебные модули. Как показала практика, простым совмещением лекций и тестов в одном учебном модуле задача не может быть решена. Решение данной проблемы осуществлялось применением специализированного ПО eAuthor, входящего отдельным компонентом в СДО eLearning Server 4G. Благодаря обучающим занятиям и русскоязычной инструкции, а также интерактивной справке, встроенной в программу, кафедрами Военно-космической академии были разработаны шесть учебных модулей.

По учебной дисциплине «Организация повседневной деятельности научно-исследовательских подразделений МО РФ и особенности управления коллективом» три учебных модуля по темам:

- организация научной работы в МО РФ и основные виды обеспечения повседневной деятельности научно-исследовательских подразделений военно-учебных заведений МО РФ;
- современные требования и пути подготовки специалистов высшей квалификации;
- психологические закономерности функционирования научно-исследовательского коллектива.

По учебной дисциплине «Организация и проведение научно-исследовательских работ в МО РФ» два учебных модуля по темам:

- технические аспекты деятельности руководителя научно-исследовательских подразделений в процессе выполнения НИР;
- основы экономической работы руководителя научно-исследовательских подразделений в процессе проведения научных исследований.

По учебной дисциплине «Современные требования к организации и проведению опытно-конструкторских работ по созданию образцов вооружения и военной техники» один учебный модуль по теме «Нормативно-правовое обеспечение деятельности научно-исследовательских подразделений МО РФ при выполнении опытно-конструкторских работ».

Разработанными учебными модулями обеспечено проведение 16 часов учебных занятий. Очевидным преимуществом разработанных учебных модулей стало то, что каждое занятие заканчивается обязательным тестированием обучающегося по пройденному материалу. Такой подход позволил преподавателям наблюдать за успешностью освоения учебного материала, а обучающимся – проверить себя и в случае необходимости повторно пройти учебный модуль или отдельные его части.

Всего в подготовке учебных модулей приняли участие преподаватели трех кафедр Военно-космической академии. Разработка учебных модулей потребовала от них пересмотреть свои способы представления учебного материала, так как подготовка и проведение занятия с использованием СДО и средств ЭО в значительной степени отличается от чтения лекций «вживую». Так сценарий и материал учебного модуля, демонстрирующий видеозапись учебного занятия, должен быть строго рассчитан по времени, материал законспектирован и неоднократно отрепетирован. В то время как при проведении учебного занятия перед аудиторией допускается импровизация, повторение и ответы на вопросы. Существуют и другие нюансы записи учебных модулей. Однако одной из главных проблем при записи учебного материала стало то, что, к сожалению, многие преподаватели считают СДО заменой собственной преподавательской деятельности. Поэтому потребовалось донести до них полезность и необходимость принимаемых в образовательном процессе изменений, включая аспекты сокращения штатов Военно-космической академии и постоянного увеличения учебной нагрузки преподавательского состава.

В целом в процессе пробного использования СДО eLearning были получены положительные навыки в разработке учебных модулей, планировании и проведении занятий, намечены пути дальнейшего развития системы. Актуальность выполненных работ подтверждается также указаниями Министра обороны Российской Федерации о создании и использовании электронных образовательных ресурсов при подготовке выпускников военно-учебных заведений.

В ближайшей перспективе возможно использование СДО в системе дополнительного профессионального образования – в учебных группах ПК инженерно-технических сотрудников и офицеров курсового звена, в дальнейшем – при проведении занятий в учебных группах преподавательского состава и начальников кафедр Военно-космической академии. При развитии ИТКС МО РФ возможно планирование и проведение занятий и в других учебных группах ФППК. Кроме того, использование СДО возможно в рамках проведения занятий в системе профессионально-должностной подготовки. Большую пользу в самообразовании сотрудников Военно-космической академии может оказать создание на базе СДО портала самообразования по различной тематике, включая вопросы служебной деятельности, ведения делопроизводства и др.

Список используемых источников

1. Федеральный закон об образовании в Российской Федерации. – М.: Проспект, 2013. – Статья 16.
2. Работа в системе дистанционного обучения Moodle: инструкция для преподавателей / сост. Гвоздев В.В., Проскурин В.В. – Толльяти, 2011. – 161 с.
3. Система дистанционного обучения JoomlaLMS. – URL: <http://elearningsoft.ru/products/joomlalms> (дата обращения: 16.01.2016).
4. JoomlaLMS – Новые стратегии корпоративного развития. – URL: <http://www.smart-edu.com/1713-joomlalms.html> (дата обращения: 16.01.2016).
5. Программное обеспечение нового поколения. – URL: <http://ra-kurs.spb.ru>. (дата обращения: 16.01.2016).
6. eLearning Server 4G: Инструкция студента (слушателя). – URL: <http://www.chelsma.ru/files> (дата обращения: 16.01.2016).

Л.А. Иноземцева;
Н.С. Кужекин,
кандидат философских наук, профессор

К ВОПРОСУ О ПРЕДЕЛАХ ПЕДАГОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ИНДИВИДУАЛЬНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛИЧНОСТИ КУРСАНТА ВОЕННОГО ВУЗА

В статье личность курсанта военного вуза рассматривается как динамическая биосоциальная система, развивающаяся во времени, изменяющая состав входящих в нее элементов и связей между ними. Изложены психолого-педагогические аспекты определения границ педагогического воздействия и рекомендации по формированию личностных качеств и свойств курсантов в ходе образовательной деятельности.

Ключевые слова: человек, индивид, личность, индивидуальность, природные и социальные свойства человека, темперамент, задатки, способности, познавательные процессы, внимание, память, профессиональное мышление, характер, механизм учета индивидуальных свойств в образовательной деятельности, целенаправленное формирование личности.

Под образованием принято понимать единый целенаправленный процесс воспитания и обучения, являющийся общественно значимым благом и осуществляемый в интересах человека, семьи, общества и государства, результатом которого являются приобретаемые знания, умения, навыки, ценностные установки, опыт деятельности и компетенции.

Переориентация оценки результатов образовательной деятельности с понятий традиционных, присущих для знание-ориентированного подхода, таких как «знания, умения, навыки», на понятия, характерные для компетентностного подхода, расширяет содержание образования, предъявляет новые требования к профессорско-преподавательскому составу по формированию личности офицера – выпускника военно-учебного заведения.

По-новому актуализируются следующие вопросы педагогики и психологии:

1. В какой мере процесс формирования личности будущего офицера поддается целенаправленному педагогическому воздействию?

2. Каковы пределы и возможности управления данным процессом?

В настоящее время в психолого-педагогической науке существует сложность определения границ педагогического воздействия, что порождает большое количество вариантов решения этой задачи, отсутствует единый общепризнанный подход.

В материалистической философско-мировоззренческой традиции человек во всем многообразии его свойств и проявлений рассматривается одновременно как существо биологическое и социальное. Единство биологического и социального в человеке определяется посредством единства его макрохарактеристик: «индивид», «личность», «субъект деятельности», «индивидуальность» [5].

Человек в качестве индивида рассматривается как единичный представитель биологического вида *homo sapiens* и отдельного типа из выделяемых в его рамках. Человек как личность является единичным представителем какого-либо типа социальной общности, активным носителем общественных отношений. Человек как субъект деятельности является носителем различных форм активности, деятельности. Человек как индивидуальность существует в единственном числе и неповторим в истории человечества. Индивидуальность проявляется во взаимосвязи и единстве свойств человека как индивида, личности и субъекта деятельности.

Личность предстает как динамическая система, т. е. система, развивающаяся во времени, изменяющая состав входящих в нее элементов и связей между ними. Таким образом, основными факторами, оказывающими влияние на психическое развитие личности обучающегося,

являются биологический, природный, и социальный – условия жизни, организованное обществом обучение и воспитание. При этом психологические качества, заданные биологически, составляют свойства личности и требуют учета при управлении развитием обучающихся.

К природным свойствам относятся половые и возрастные свойства человека, темперамент и задатки, а также особенности протекания психических процессов (ощущений, восприятия, внимания, памяти, мышления, эмоций, чувств и т. д.), к социальным – знания, навыки, умения и привычки, приобретенные путем обучения, а также характер, способности, направленность (желания, интересы, склонности, стремления, мотивация, идеалы, убеждения, мировоззрение). Социально обусловленные свойства формируются на основе биологически обусловленных и вместе с тем преобразуют их самих.

Не претендуя на всю полноту ответа на вопросы о пределах педагогического воздействия на личность курсанта, рассмотрим механизм учета индивидуально-психических свойств в образовательной деятельности на примере некоторых психических свойств и процессов.

Наиболее биологически обусловленным свойством является темперамент. *Темперамент* – это индивидуальное свойство психики, определяющее динамику психической деятельности индивида, особенности поведения, степень уравновешенности и силы протекания реакций на жизненные воздействия.

И. П. Павлов, изучая закономерности высшей нервной деятельности, установил, что тот или иной тип темперамента детерминирован различным сочетанием основных свойств нервной системы: силы нервных процессов, их уравновешенности и подвижности.

Сила нервных процессов является показателем работоспособности нервной системы; уравновешенность характеризует определенный баланс возбуждения и торможения нервных процессов; а подвижность (противоположное свойство – инертность) нервных процессов проявляется в быстроте смены одного процесса другим, обеспечивающей адаптацию организма к неожиданным или резким изменениям к условиям деятельности, быстроте перехода от одного действия к другому, от пассивного состояния к активному и наоборот.

Соотношение свойств нервной системы определяет тип темперамента. Сильная, уравновешенная и подвижная нервная система характеризует сангвинический темперамент; сильная неуравновешенная нервная система соответствует холерическому темпераменту; сильная уравновешенная инертная нервная система определяет флегматический темперамент; слабая, инертная нервная система составляет меланхолический темперамент.

Преподавателю необходимо учитывать особенности проявления типов темперамента и с учетом этого строить учебно-воспитательную работу.

Так, для курсантов с разным типом темперамента одни условия являются более благоприятными для успешного обучения, а другие – менее благоприятными. Организационные формы обучения в военном вузе более благоприятны для обучающихся с сильной и подвижной нервной системой, поэтому, как свидетельствует опыт, среди них больше тех, кто хорошо учится, чем среди имеющих слабую и инертную нервную систему [1].

Опыт, накопленный преподавателями военных вузов, можно обобщить и представить в виде таких рекомендаций. Целесообразно не ставить курсанта со слабой или инертной нервной системой в ситуацию резкого ограничения времени, а давать достаточно времени на подготовку; чаще позволять курсанту отвечать в письменной форме; разбивать сложный и большой по объему материал на отдельные информационные блоки и вводить их постепенно, по мере усвоения предыдущих; не заставлять отвечать по новому, только что усвоенному материалу (им с трудом дается импровизация); чаще поощрять и подбадривать обучающегося для снятия напряжения и повышения его уверенности в своих силах; в мягкой форме давать негативные оценки в случае неправильного ответа; давать время для проверки и исправления выполненного задания; не требовать немедленного и активного включения в работу, а давать возможность постепенно включиться в выполнение задания; по возможности не отвлекать внимание курсанта на другую работу до завершения уже начатой; не требо-

вать одновременного выполнения нескольких разнородных заданий; не проводить опрос в начале занятия.

Главное – нужно помочь курсантам найти наиболее подходящие именно для них способы и приемы организации учебной деятельности, выработать свой индивидуальный стиль.

Также необходимо учитывать, что курсанты со слабой нервной системой успешно могут действовать в ситуациях, требующих монотонной работы, при необходимости действовать по схеме или шаблону; они способны хорошо организовать самостоятельную работу, тщательно спланировать ее и контролировать результаты, добиваясь максимальной безошибочности; они не перескакивают с одного на другое, не забегают в нетерпении вперед, совершают всё в строгой последовательности. За счет тщательной подготовительной работы они способны самостоятельно проникать в более глубокие связи и отношения в учебном материале, часто выходя при этом за пределы учебной программы; охотно используют графики, схемы, таблицы и наглядные пособия. Есть свои преимущества и у «инертных» – они способны работать долго и с глубоким погружением, не отвлекаясь на помехи; отличаются высокой степенью самостоятельности при выполнении заданий; обладают более развитой долговременной памятью. Как и «слабые», они способны к длительной монотонной работе, тщательному планированию и контролю своей деятельности.

Однако при несистематическом характере работы курсанты с сильной нервной системой имеют преимущества, поскольку способны к мобилизации и авральной подготовке к сдаче экзамена, а «слабые» не справляются с перегрузкой и зачастую отчисляются [6].

Помимо темперамента природа наделяет человека теми или иными задатками. *Задатки* считаются врожденными анатомо-физиологическими особенностями нервной системы, мозга, которые составляют природную основу развития способностей и при благоприятных условиях, разносторонней деятельности могут развиваться в *способности*. Задатки неспецифичны по отношению к конкретному содержанию и конкретным формам деятельности, они многозначны. Вместе с тем нельзя считать, что задатки совсем нейтральны по отношению к будущим способностям. Имеющиеся задатки индивида сами по себе не развиваются. Преподавателю необходимо организовать учебный процесс с учетом факторов, способствующих развитию задатков: расширение и углубление знаний, совершенствование умений и навыков; формирование направленности личности, ее характера, волевых качеств и интересов, развитие качественных характеристик психических познавательных процессов, критического отношения к себе и к результатам своей деятельности.

Способности обучающихся (общие и специальные, творческие и учебные, коммуникативные и предметно-деятельностные) могут существовать только в процессе их использования и развития. Поскольку способности могут успешно развиваться лишь в том случае, когда они сочетаются с глубоким интересом и устойчивой склонностью к учению, преподаватель должен активно пробуждать и формировать интересы курсантов, стремясь к тому, чтобы эти интересы были серьезными, глубокими, устойчивыми и действенными. Способность, которая не развивается, которой на практике человек перестает пользоваться, со временем ухудшается и может быть утрачена полностью. Только благодаря постоянным упражнениям, связанным с систематическими занятиями, соответствующими видами деятельности, человек поддерживает и развивает свои способности [2].

Все преподаваемые дисциплины в вузе могут прямо или косвенно влиять на профессиональное развитие психических функций обучающихся. Тактика преподавателей, выраженная в разъяснении значимости будущей профессии, служебных обязанностей, практика выполнения самостоятельной работы вызывает желаемые изменения в направленности *психических познавательных процессов*.

Внимание повышает эффективность всей деятельности обучающихся по выполнению учебных задач. При формировании внимания учитывается специфичность профессиональных требований как к вниманию в целом, так и к его свойствам. Например, внимание курсанта должно быть легко переключаемым и распределяемым, характеризоваться достаточной

устойчивостью, объемом, концентрацией. Формирование внимания и его свойств у курсантов предполагает воздействие на направленность их личности, волю, отношение к труду.

Память курсантов развивается в процессе их деятельности. Преподавателю необходимо целенаправленно развивать и совершенствовать память у обучающихся в соответствии с требованиями их будущей профессии. Курсантам следует не только хорошо запоминать и сохранять в памяти необходимые в будущем знания, но и быть всегда готовыми к быстрому и точному их воспроизведению в условиях профессиональной деятельности. Целенаправленное формирование обеспечивается упражнениями. Например, для развития профессиональной оперативной памяти следует предлагать курсантам выполнить решение задач в уме, провести классификацию объектов сразу после их восприятия.

Военно-профессиональная деятельность предъявляет высокие требования к мышлению офицерских кадров. Оно должно быть целеустремленным, гибким, глубоким, мобильным, быстрым и точным. Для формирования *профессионального мышления* у курсантов преподаватель должен вооружить их системой знаний и компетенций, необходимых для выполнения должностных обязанностей, а также учитывать профиль вуза и особенности изучаемых курсантами учебных дисциплин.

Формирование профессионального мышления с учетом профиля военного вуза требует от преподавателя обучать курсантов таким образом, чтобы они не только усваивали факты, наглядные признаки объектов, явлений, встречающихся в служебной деятельности выпускников, но и могли систематизировать, оценивать эти факты, обобщать их. Формировать мышление – значит на основе определенных знаний, научных фактов с помощью определенной формы их усвоения и применения, которая обеспечивает активную деятельность обучающихся, совершенствовать операции, процессы, виды и формы мышления, а также качества ума в соответствии с задачами и условиями профессиональной деятельности.

Нет ни одной профессии, занимаясь которой, специалист мог бы обойтись без воображения. У курсантов профессиональное *воображение* развивается на основе накопления знаний и представлений. Для стимулирования и развития воображения применяют разные методы и средства: предлагают обучающимся такие задачи, которые позволяют проявить самостоятельность, находчивость в условиях, максимально приближенных к боевой деятельности, а также дают возможность им анализировать свои практические действия, оценивать полученные знания, мысленно соотносить их с будущей военно-профессиональной деятельностью [4].

Систематические упражнения ведут не только к развитию психических познавательных процессов, но и к формированию характера и волевых качеств. *Характер* не является застывшим образованием, а формируется и трансформируется на протяжении всего жизненного пути человека. Формирование характера прежде всего заключается в том, что, являясь следствием отражения всей истории жизненных влияний, он развивается в процессе активного взаимодействия личности с окружающими ее людьми.

В процессе обучения характер курсанта проявляется в манере поведения, в способах реагирования на действия преподавателя. При этом манера общения может быть эмпатичной, доброжелательной, тактичной или бесцеремонной, вежливой или грубой. Большое значение играют положительные примеры командиров и преподавателей. Подражая авторитетным офицерам, курсант всегда вносит коррекцию в актуализацию собственных качеств характера. Для того чтобы воспитать положительные свойства характера у обучающихся, военные педагоги сами должны проявлять эти черты в отношениях друг с другом и с обучающимися.

При формировании характера курсанта преподавателю необходимо использовать силу коллектива, который является связующим звеном между личностью и обществом. Общение с членами курсантского коллектива развивает умения и навыки подчинять свои личные стремления интересам учебной группы и курса, чувство товарищества, дружбы, готовность прийти на выручку сослуживцу. Положительное влияние на актуализацию ценных черт оказывает и непосредственная военно-профессиональная деятельность (учебные занятия, творчество,

спортивные соревнования, несение службы и др.). Здесь обладателями сильных характеров становятся курсанты, которые ставят перед собой большие, общественно значимые цели и настойчиво добиваются их реализации. Наиболее благоприятно сказывается на развитии положительных черт характера и волевых качеств обучение в сочетании с практической деятельностью. В этом случае у курсантов более интенсивно совершенствуются такие свойства, как настойчивость, организованность, самостоятельность, трудолюбие, честность и коллективизм.

Одной из задач волевой подготовки обучающихся является формирование эмоционально-волевой устойчивости к неблагоприятным стрессовым условиям профессиональной деятельности. Для этого преподавателю необходимо включать в учебную деятельность элементы психологической подготовки, сочетающие факторы риска и опасности.

Личностная направленность, в том числе учебная мотивация, формируются в процессе обучения и воспитания курсантов, при подготовке их к военно-профессиональной деятельности, служению своей Родине. Преподавателю необходимо донести до обучающихся, что их личное, семейное благополучие, достижения в различных сферах деятельности и социальный статус взаимосвязаны с готовностью к служению своему народу и государству, в котором они живут.

Таким образом, перед военным педагогом стоит задача поиска оптимальных условий становления личности будущего офицера и максимального проявления всех ее возможностей с учетом биологически заданных свойств, в том числе не поддающихся коррекции и педагогическому воздействию.

Система обучения должна обеспечить адекватность педагогического воздействия личностным возможностям обучающихся. Для этого содержание учебной дисциплины и процесс ее изучения следует соотносить с целостным контекстом психического развития, конкретизируемым в характерных особенностях курсантов. Это составляет основу реализации индивидуального подхода и превращает процесс обучения в личностно-ориентированный процесс.

Умение управлять процессом постоянного изменения человека и восхождения его к более высокому уровню своего развития является высшим профессиональным умением преподавателя, овладение которым обеспечивает успех его деятельности.

Список используемых источников

1. *Акимова М.К., Козлова В.Т.* Рекомендации по использованию результатов диагностики природных особенностей человека в педагогической практике // Методики диагностики природных психофизиологических особенностей человека. – М., 1992. – Вып. 2. – С. 99–110.
2. Психология и педагогика. Военная психология / под. ред. А.Г. Маклакова. – СПб.: Питер, 2007. – 464 с.
3. *Репях Н.А., Хрустова А.Н.* Педагогика: учеб. пособие. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2012. – 243 с.
4. *Сёмина И.С.* Развитие познавательных способностей студентов в процессе профессионального обучения в вузе // Прикладная психология и психоанализ. – 2012. – № 3. – URL:<http://ppip.idnk.ru> (дата обращения: 01.01.2014).
5. *Слободчиков В.И., Исаев Е.И.* Психология человека: Введение в психологию субъективности: учеб. пособие для вузов. – М.: Изд-во ПСТГУ, 2013 – 93 с.
6. *Смирнов С.Д.* Педагогика и психология для преподавателей высшей школы. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 422 с.

А.Л. Прокофьева;
Н.С. Яснова,
кандидат педагогических наук, доцент

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УЧЕБНЫХ КУРСОВ В ПРОЦЕССЕ ИЗУЧЕНИЯ ИНОСТРАННОГО ЯЗЫКА В ВЫСШЕМ ВОЕННОМ УЧЕБНОМ ЗАВЕДЕНИИ

Сформулирована необходимость внедрения в процесс изучения иностранного языка новых компьютерных обучающих программ с целью подготовки специалистов, обладающих сформированной профессиональной компетентностью, необходимой для осуществления переводческой деятельности в сфере профессиональной коммуникации. Рассмотрено методическое обоснование принципов их применения с учетом особенностей изучения иностранного языка. Обоснована общая структура компьютерных обучающих программ для изучения иностранного языка в виде функциональных подсистем и изложен опыт разработки и использования авторского электронного учебного курса «Грамматика английского языка».

Ключевые слова: методика преподавания иностранного языка, информационные технологии в преподавании, электронный учебный курс.

Развитие информационных технологий закономерно приводит к появлению новых способов и форм организации труда и обучения. Современный уровень высшей школы характеризуется глобальной информатизацией образовательного процесса, направленной на повышение эффективности профессиональной подготовки специалистов, вывод образования на качественно новый уровень [1]. Применение новых информационных и телекоммуникационных технологий в учебном процессе, создание и использование современных электронных учебных материалов и компьютерных обучающих программ решают сложные задачи формирования единой образовательной информационной среды.

Разработка и внедрение компьютерных обучающих программ зачастую сталкивается с проблемами дидактического, технического, организационного и методического характера. В этих условиях необходима разработка принципов интеграции современных педагогических и информационных технологий, а также моделей проектирования и применения в учебном процессе электронных образовательных ресурсов. Это особенно важно при подготовке специалистов для осуществления переводческой деятельности в сфере профессиональной коммуникации, требующей постоянного применения знаний иностранного языка и наличия устойчивых навыков в области основ грамматики, доведенных до автоматизма [2].

Следует также отметить, что современные цели обучения иностранному языку в высшей школе в контексте лично-ориентированного подхода выдвигают задачи индивидуализации, дифференциации и интенсификации учебного процесса с тем, чтобы максимально активизировать деятельность каждого обучающегося с учетом его индивидуальных возможностей и способностей. Создание новых обучающих компьютерных программ способствует достижению этих целей, позволяет преподавателю наилучшим образом решать образовательные задачи [3].

Электронный учебный курс (ЭУК) – это дидактическая компьютерная среда, содержащая систематизированный материал по соответствующей научно-практической области знаний (дисциплине), объединенная единой программной оболочкой. Применение ЭУК в образовательном процессе дает возможность использовать преимущества современных информационных образовательных технологий, таких как разнообразие форм представления учебных материалов, возможность их динамического отображения, оперативная «обратная связь»,

наглядность, сочетание текстовой, графической, аудио и видеоинформации для обеспечения информационной поддержки учебного процесса и самостоятельной работы обучающихся.

Содержательная составляющая ЭУК, как правило, формируется на основе авторской концепции изучения учебной дисциплины, а функционирование ЭУК связано с использованием базы мультимедийных данных, в которой обучающемуся доступен оперативный поиск необходимой информации. Как информационная система, ЭУК может реализовывать функции автоматизированных обучающих и контролирующих систем, моделирующих программ и других программных средств, используемых в информационной образовательной среде. При этом имеет место психолого-педагогический аспект создания ЭУК. С учетом преимущественного использования в индивидуальной и самостоятельной работе желателен выбор форм отображения информации и интерактивного доступа к ЭУК, обеспечивающих мотивацию обучающихся к самостоятельной учебной деятельности с помощью современных средств и возможностей информационных образовательных технологий.

При формировании навыков перевода с помощью разработанного ЭУК «Грамматика английского языка» в форме тестов отрабатываются работа с определенными грамматическими конструкциями. ЭУК формирует набор тестов, в которых каждый вопрос привязан к определенному грамматическому материалу. В том случае, если обучающийся допускает ошибки при тестировании, ЭУК отправляет его к теоретическому материалу по тому разделу, где были допущены ошибки. Данный метод контроля позволяет не только выявить, но и сразу же устранить те или иные пробелы в знаниях грамматики, не прибегая к помощи преподавателя и без использования дополнительной литературы, поскольку в программу ЭУК уже заложены все необходимые теоретические материалы. По завершении занятия ЭУК выставляет обучающемуся оценку по традиционной четырехбалльной шкале.

ЭУК отвечает особенностям организации образовательного процесса современного высшего учебного заведения, реализующего Государственные образовательные стандарты, где сочетаются различные формы обучения. Программная реализация ЭУК дает возможность работы в интерактивном режиме, обеспечивает легкость и простоту навигации по структуре курса. Структура и способ предоставления учебно-методических материалов в электронном виде легко варьируются в зависимости от конкретной формы их использования, обеспечивая поддержку персонализированных предметных сред в рамках личностно-ориентированного принципа организации учебной деятельности. На рис. 1. представлена общая структура электронного учебного курса.

ЭУК включает три функциональные подсистемы: содержательную, информационно-навигационную и диагностирующую.

Содержательная подсистема является в ЭУК основной, его ядром, взаимосвязанным со всеми подсистемами с помощью прямой и обратной связи. В данной подсистеме размещается весь необходимый учебный и дополнительный материал, включая основные пункты учебной программы (очередность тем и график их прохождения). Используя данную информационную базу на практических занятиях, обучающиеся могут быстро найти необходимый теоретический материал, необходимый для изучения любой грамматической темы, а также имеют быстрый доступ к лексическим спискам и словарю.

Информационно-навигационная подсистема является подчиненной по отношению к содержательной подсистеме и построена по принципу системы управления базами данных. Она включает следующую метаинформацию: структуру смысловых связей, аннотацию и структуру курса, справку, систему ссылок и поиска информации. Основные функции данной подсистемы связаны с тем, что изучение иностранного языка связано с постоянным закреплением пройденного материала. Поэтому ЭУК должен предоставлять возможность быстрого постраничного доступа к материалу по разделам и темам, повторного обращения к информации, использования справочников и словарей с быстрым поиском по ключевому слову или словосочетанию.

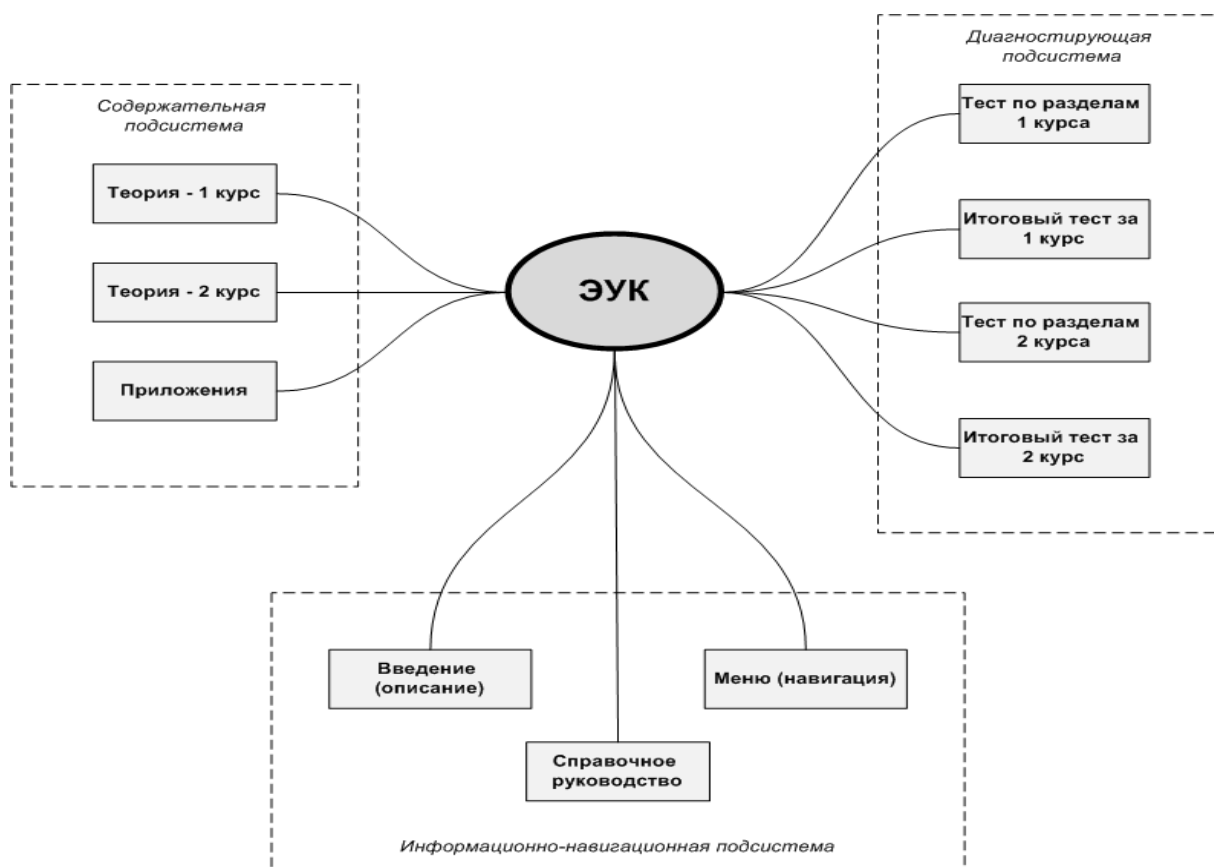


Рис.1. Общая структура электронного учебного курса

Диагностирующая подсистема также является подчиненной по отношению к содержательной подсистеме и обеспечивает контроль знаний и навыков обучающихся. Она формирует различные тесты для обучающихся и по результатам их выполнения выставляет оценку. С ее помощью осуществляются входное тестирование, выявляющее уровень знаний по иностранному языку в начале обучения (знание грамматики и лексики) и все виды контроля усвоения пройденного материала в процессе изучения иностранного языка (текущий, промежуточный и итоговый). Данный способ проверки знаний на разных этапах процесса обучения помогает выявить темы, вызывающие трудности, и скорректировать дальнейший план изучения дисциплины.

ЭУК представляет собой автономную компьютерную программу, в которой выдержана определенная четкая структура функциональных подсистем с делением на элементы (блоки). Это продиктовано двумя причинами:

- организационной – разбивка учебного материала в ЭУК на блоки не только облегчает его изучение в отсутствие преподавателя, но и позволяет регламентировать порядок взаимодействия обучающегося и преподавателя;
- функциональной – реализация гипертекстовых переходов при разработке и использовании ЭУК должна предполагать разграничение и обособленность его элементов [4].

Для информатизации учебного процесса и использования компьютерных обучающих систем при изучении в высших военных учебных заведениях иностранного языка характерны следующие две особенности. Во-первых, использованию компьютерных обучающих систем практически по любой теме предшествуют аудиторные занятия с преподавателем, дающие начальный объем знаний и первичные навыки. Во-вторых, главным принципом использования компьютерных обучающих систем является ориентация на те случаи, когда они могут

эффективно заменить преподавателя при достижении поставленной педагогической задачи. Например, в ходе групповых аудиторных занятий с преподавателем за отведенное учебным планом время невозможно обеспечить формирование у всех обучающихся устойчивых навыков перевода определенных грамматических конструкций. В то же время при наличии у всех обучающихся первичных навыков перевода, полученных во время групповых аудиторных занятий, можно их закрепить и довести до автоматизма при использовании компьютерных обучающих систем, причем каждому обучающемуся для этого потребуется различное время подготовки.

Результаты апробации ЭУК и разработанной методики его использования в учебном процессе показали, что по сравнению с печатными учебными изданиями, сформированные на основе использования ЭУК педагогические условия способствуют улучшению следующих показателей:

- текущей успеваемости обучающихся;
- объема изучаемого материала;
- уровня готовности обучающихся к самостоятельному изучению иностранного языка.

Использование ЭУК также позволило повысить интерес к изучаемой предметной области, показало положительное отношение обучающихся к электронным средствам обучения.

Таким образом, применение компьютерных обучающих программ существенно повышает эффективность изучения иностранного языка в течение выделенного времени и позволяет подготовить опытных специалистов, осуществляющих переводческую деятельность в сфере профессиональной подготовки.

Список используемых источников

1. *Киселёв Г. М., Бочкова Р.В.* Информационные технологии в педагогическом образовании: учеб. пособие. – М.: Дашков и К, 2013. – 308 с.
2. Об организации подготовки курсантов образовательных организаций высшего образования // Министерство обороны Российской Федерации по дополнительной профессиональной программе «Переводчик в сфере профессиональной коммуникации»: приказ от 24 ноября 2014. № 863. – URL: www.mil.ru (дата обращения: 20.11.2015).
3. *Горохова Ю. А.* Структура электронного учебного курса в системе дистанционного образования // II Всероссийская научно-практическая конференция «Информационная среда вуза XXI века». – Петрозаводск, 2008.
4. *Исаев Г.Н.* Информационные технологии: учеб. пособие. – М.: Омега-Л, 2013. – 464 с.

Н.А. Репях,
кандидат философских наук;
А.В. Тарасов,
кандидат военных наук;
А.Н. Хрустова

ИНДИВИДУАЛЬНО-КОНТРОЛЬНОЕ СОБЕСЕДОВАНИЕ КАК ФОРМА РУБЕЖНОГО КОНТРОЛЯ В ВОЕННОМ ВУЗЕ

Статья посвящена вопросам содержания и дидактических возможностей индивидуально-контрольного собеседования. Акцентируется внимание на методических вопросах организации и проведения занятия как формы рубежного контроля.

Ключевые слова: рубежный контроль, индивидуально-контрольное собеседование, общение, взаимодействие, функции.

Осуществление текущего контроля успеваемости обучающихся, установление его форм, периодичности и порядка проведения закон РФ «Об образовании в Российской Федерации» относит к компетенции образовательной организации [1].

В образовательных организациях МО РФ текущий контроль успеваемости осуществляется для проверки хода и качества усвоения учебного материала, стимулирования учебной деятельности обучающихся, совершенствования методики проведения занятий. Видами текущего контроля успеваемости является рубежный контроль и контрольные работы (занятия).

Рубежный контроль осуществляется с целью систематической проверки достижения обучающимися обязательных результатов обучения по дисциплине – минимума, который необходим для дальнейшего обучения, выполнения программных требований к уровню подготовки обучающихся. Рубежный контроль проводится по завершении изучения отдельных наиболее сложных и объемных тем, разделов учебной дисциплины [2].

Если содержание контрольных работ, организация и методика их проведения достаточно полно нашли отражение в нормативно-правовых документах МО РФ, то осуществление рубежного контроля требует выяснения форм и методических особенностей его проведения.

По мнению авторов, формой рубежного контроля может выступать индивидуальное контрольное собеседование (ИКС).

Как вид учебного занятия индивидуальное контрольное собеседование в образовательных организациях МО РФ не имеет на сегодняшний день такого правового статуса.

Однако, с одной стороны, как в гражданских вузах, так и в некоторых военных, накоплен определенный опыт проведения таких занятий. А, с другой стороны, Приказ МО РФ от 15.09.2014 № 670 дает право военно-учебным заведениям по решению ученого совета (совета) вводить виды занятий, не оговоренные в указанном правовом акте [2]. В связи с этим представляется необходимым более детально рассмотреть содержание ИКС, его возможности как вида занятия, выполняющего функцию рубежного контроля, а также определить ряд методических рекомендаций по его организации.

Исходной основой анализа содержания ИКС выступает понимание его в широком смысле в качестве одной из форм взаимодействия субъектов образовательного процесса. Поэтому основными составляющими ИКС можно выделить коммуникативный, интерактивный и перцептивный компоненты, находящиеся в неразрывной связи и взаимозависимости.

Коммуникативный компонент характеризует ИКС не просто как способ односторонней передачи информации (от преподавателя к курсанту), но и как процесс обмена информацией. Реализуется он преимущественно с помощью вербальных средств. Вместе с тем в последнее время все чаще идет речь, как в теории, так и на практике, о возможностях невербальных

средств влияния педагога на обучающегося. К таким средствам следует отнести мимику, жест, пантомимику, взгляд, походку и др. При этом подчеркивается не только значение коммуникативной позиции, занимаемой педагогом как субъектом взаимодействия, но и учет позиции (состояния) обучающегося.

Нельзя отрицать, что более активной стороной педагогического взаимодействия выступает преподаватель. Он выстраивает, организует и контролирует ход собеседования и в конечном счете достигает намеченных целей. Однако более продуктивным выступает такое собеседование, которое приобретает характер взаимодействия равноправных партнеров. Это не панибратство или нарушение уставных взаимоотношений. Обучающий и обучающийся вступают в отношения взаимопонимания и даже взаимозависимости. У них общие интересы и цели, оба проявляют активность и инициативу. Это общение на равных началах и ведется, как правило, в диалогической форме.

Интерактивным аспектом ИКС выступает взаимодействие участников общения как личностей. Он значим психологическим воздействием преподавателя на курсанта, широкими возможностями формирования мировоззренческой позиции обучающегося, его духовно-нравственного и профессионального развития. Интерактивность ИКС находит свое проявление в том случае, когда наряду с педагогом участниками собеседования являются несколько обучающихся (а не один).

Соотнесение внешних признаков соучастников ИКС со своими личностными характеристиками, преломление через собственное «Я» и их сравнительный анализ составляют перцептивный компонент взаимодействия. Это есть познание другого через себя и познание себя через другого. Перцептивный компонент в широком смысле можно назвать рефлексией, т. е. реализацией способности человека постигать свой внутренний мир и строить картину своих состояний, размышлять над содержанием и природой собственного сознания и мышления, отношением между мыслью о мире и миром вне этой мысли.

Выделение структурных компонентов содержания ИКС и их характеристика позволяют выявить потенциал собеседования как вида учебного занятия в военном вузе, применяемого в целях рубежного контроля текущей успеваемости. Этот потенциал может быть представлен через ряд функций, выполняемых в образовательном процессе.

Основными из них являются: контрольно-оценочная, информационно-обучающая, организационная, коммуникативно-стимулирующая, воспитательная.

В содержании контрольно-оценочной функции ИКС как формы рубежного контроля выражена его основная роль в образовательном процессе. Он не должен стать самоцелью, а выступать элементом управления процессом познания. Результаты его не должны застывать в виде мертвых оценок в журналах и в ведомостях (форма материалов, подтверждающих прохождение рубежного контроля, определяется кафедрой), а использоваться для формирования нового информационно-управляющего воздействия в целях достижения дидактических результатов.

Основным принципом контроля знаний должен стать принцип объединения проверки и упражнений, что находит отражение в информационно-обучающей функции ИКС. Данная функция позволяет демонстрировать связь содержания раздела, темы учебной дисциплины с реальной действительностью, максимально приближая это содержание к деятельности обучающегося по профессиональному предназначению.

Организационная функция обеспечивает совместную образовательную деятельность преподавателя и обучающегося, взаимную личностную информированность и общую ответственность за результаты. Место его в образовательной программе выражено тем, что только при условии прохождения всех этапов рубежного контроля и получения положительных по ним оценок обучающиеся допускаются к экзамену, зачету (зачету с оценкой).

Содержание коммуникативно-стимулирующей функции ИКС включает возможность сочетания различных форм образовательной деятельности – индивидуальной и групповой. Не-

смотря на подчеркнута индивидуальный характер, ИКС может проводиться и в составе нескольких участников.

Как уже отмечалось, собеседование в этом случае приобретает ярко выраженную интерактивность. Занятие позволяет включать в канву собеседования элементы и учебной дискуссии, и мозгового штурма, и экспертных оценок и т. д. В конечном итоге обеспечивается организация взаимопомощи с целью педагогического сотрудничества, сотворчества, сопереживания.

Функция воспитания ИКС выражается в возможностях убеждения и переубеждения обучающихся, изменения их отношения к тем или иным явлениям действительности. На занятии достигаются не только учебные цели, но и ведется активная работа по формированию личности, мотивации курсанта к напряженной самостоятельной работе, самообразованию и самовоспитанию.

Целесообразным представляется рассмотрение некоторых методических рекомендаций по подготовке и проведению ИКС.

Как и на любом другом занятии, обязательным документом преподавателя на ИКС является план его проведения. Он разрабатывается преподавателем и утверждается соответствующим образом. Особенностью плана является целевая установка и перечень вопросов, выносимых на ИКС.

Как уже отмечалось, ИКС отличается спецификой своих целей и функций, которые выходят за рамки проверки и контроля, углубления и закрепления знаний обучающихся. Поэтому целевая установка должна включать кроме познавательных задачи духовно-нравственного развития личности, методологической и профессиональной подготовки обучающихся. В свою очередь, это предъявляет некоторые дополнительные требования к преподавателю, способам его работы уже на подготовительном этапе.

Для проведения ИКС разрабатывается задание обучающимся. Задание должно содержать: наименование темы и цели ИКС; время, отводимое на него; перечень вопросов, выносимых на собеседование; перечень обязательной и дополнительной литературы по теме рубежного контроля; методические рекомендации курсантам по подготовке к ИКС.

В процессе подготовки и проведения ИКС преподаватель обязан учитывать ряд психолого-педагогических аспектов. Прежде всего следует особенно тщательно готовиться к первому собеседованию. Именно здесь возникает явление, называемое в литературе педагогическим импринтингом (мгновенным запечатлением). Элемент ожидания есть у обоих участников занятия, и результат первого впечатления может в значительной степени повлиять на дальнейшую совместную работу преподавателя и курсанта. Для преподавателя важно понимать значимость даже таких моментов, как внешний вид, походка, взгляд, мимика, жесты, интонации и т. д.

Индивидуально-контрольное собеседование может сочетать формальное и неформальное общение. Формальные моменты включают вплетенные в канву занятия либо результаты ранее проведенных летучек, отчетов, письменных работ, либо выполняемых в ходе самого собеседования чертежей, схем, тестов и др. Неформальное общение (устное собеседование) позволяет не только оценить полноту знаний обучающихся, умение их применять на практике, делать методологические выводы, но и понять умение курсанта мыслить, его способность и готовность действовать. Это общение дает возможность вести откровенный разговор, понять мысли и чувства курсанта, его внутренний духовный мир.

Следует иметь в виду, что неформальному общению способствует (либо препятствует) даже взаимное расположение преподавателя и курсанта (курсантов). Так, совместной работе способствует размещение «плечо к плечу». К непринужденной беседе располагает и положение собеседников по диагонали. А вот расположение через стол, «лицом к лицу» подчеркивает грань «начальник – подчиненный».

Продолжительная совместная работа преподавателя и обучающегося может вести к возникновению стереотипов. С одной стороны, они способствуют ускорению процесса интер-

претации педагогической задачи, а с другой – стереотипы мешают видеть динамику развития личности курсанта, оперативно реагировать на те или иные новые образования в его интеллектуальном и нравственном становлении. Следовательно, каждое индивидуальное собеседование следует рассматривать не просто как форму рубежного контроля текущей успеваемости, а как своеобразный рубежный контроль формирования у обучающихся личностных качеств, становления их как будущих военных специалистов.

Список используемых источников

1. Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по основным профессиональным образовательным программам, реализуемым в интересах обороны государства в федеральных государственных военных профессиональных образовательных организациях и военных образовательных организациях высшего образования Министерства обороны Российской Федерации. – Утвержден приказом Министра обороны Российской Федерации от 15 сентября 2014 г. № 670.
2. Об образовании в Российской Федерации: федеральный закон. – Москва: Проспект, 2013. – 160 с.
3. Технологии профессионально-ориентированного обучения: учеб. пособие / Н.А. Репях, А.Н. Хрустова и др. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2012. – 243 с.
4. Современные образовательные технологии: учеб. пособие / под ред. Н.В. Бордовской. – М.: КНОРУС, 2011. – 432 с.

А.В. Тарасов,
кандидат военных наук;
Е.В. Шалонов,
кандидат военных наук

СОЦИАЛЬНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ АВТОРИТЕТА РУКОВОДИТЕЛЯ ВОИНСКОГО КОЛЛЕКТИВА

Статья посвящена вопросам формирования и развития авторитета руководителя воинского коллектива. Раскрываются объективные и субъективные предпосылки обеспечения высокого авторитета, мотивы профессионального самосовершенствования офицера-руководителя.

Ключевые слова: авторитет, коллектив, мотивы, предпосылки, самосовершенствование.

Жизнь любого общества требует согласованных усилий и координации действий его членов. Чтобы обеспечить организацию любого вида деятельности, нужны опытные, обладающие определенным влиянием на окружающих руководители. Чем сложнее и масштабнее встают перед обществом задачи, тем острее необходимость в авторитетном руководстве.

Ярким примером действительного авторитета выступает личность Президента России В.В. Путина. При чем сила и мощь этого авторитета признается не только внутри нашей страны, но и за рубежом.

«В октябре Путин бомбил силы ИГ (террористическая организация, запрещенная в России) в Сирии и лично встретился с президентом Сирии Башаром Асадом, заставляя США и НАТО выглядеть слабыми в этом регионе, а также помогая восстанавливать влияние России за рубежом», – писал широко известный американский журнал «Forbes». В начале ноября в нем был опубликован очередной список самых влиятельных людей мира. Российский президент возглавляет его третий год подряд. Деловой журнал отмечает, что рейтинг Путина внутри страны достиг рекордно высокого уровня в 89 %, несмотря на трудности в экономике и введенные против России санкции [6].

Авторитет есть специфическая форма отношений людей. Авторитет в широком смысле – общепризнанное влияние лица или организации в различных сферах общественной жизни, основанное на знаниях, нравственных достоинствах, опыте; в узком – одна из форм осуществления власти.

Особую значимость, а порой и решающее значение приобретает сила авторитета в условиях воинской деятельности, обеспечении высокого боевого и морального духа воинов и, в конечном счете, достижении победы над противником.

Если вспомнить страницы военной истории, то можно обнаружить непосредственную связь между авторитетом полководцев и масштабами их побед на полях сражений.

Русско-турецкая война. Осада Измаила затянулась. Холодная сырая осень принесла болезни и, казалось, отняла последнюю надежду на успех. Военный Совет решил отказаться от штурма и отвести войска на зимние квартиры. В этой обстановке командовать войсками назначается Суворов.

2 декабря 1790 года Александр Васильевич прибыл под Измаил. Одно имя Суворова переродило всех. Весть о его прибытии облетела армию. Теперь у всех на устах было одно слово – «Штурм».

Как известно, 11 декабря непреступная крепость с 35-тысячным гарнизоном, 250 орудиями пала. Ее сокрушило 30-тысячное войско суворовских чудо-богатырей.

Непререкаемый авторитет Суворова, был исходным моментом этой блистательной победы [2].

В теории вопроса об авторитете руководителя воинского коллектива значительное место уделяется исследованию его социального, педагогического и психологического значения. Авторы считают актуальной проблему определения объективных и субъективных предпосылок формирования и развития авторитета.

Социально-педагогическое значение авторитета определяется тем, что руководитель воинского коллектива является представителем государственной власти. Он призван руководить повседневной и боевой деятельностью подчиненных, утверждать законность и правопорядок, осуществлять на практике реализацию военной доктрины РФ. В этой связи авторитет офицера способен оказать существенное влияние на обеспечение высокого морально-психологического состояния личного состава, твердого уставного порядка, поддержание боевой готовности, высоких результатов при выполнении боевых задач. Прежде всего в этом заключен социальный смысл авторитета каждого командира – единоначальника. Только авторитетный командир может стать душой воинского коллектива, привлекать к себе подчиненных, делать их активной творческой силой образовательного процесса. Являясь во всем образцом для солдат, сержантов и прапорщиков, авторитетный офицер побуждает у них потребность в самовоспитании, вольно или невольно передает им опыт работы над собой.

Психологический смысл авторитета выражается главным образом в здоровой морально-психологической атмосфере, складывающейся под его влиянием в подразделении (части). Именно высокий авторитет офицера способствует формированию в коллективе:

а) требуемого уровня морально-психологической готовности и способности успешно решать задачи при подготовке и ведении боевых действий;

б) системы моральных качеств, норм, принципов и убеждений военнослужащих, нравственных мотивов сознательного и добросовестного выполнения воинского долга в мирное и военное время;

в) бережного отношения и приумножения героических традиций прошлого и настоящего, выработке таких качеств, как честь, доблесть, мужество, дружба, войсковое товарищество;

г) оптимизма, уверенности в командирах и товарищах, веры в успех любого дела.

По мнению авторов, в социально-психологическом отношении авторитет характеризуется:

а) шириной распространения (на нескольких военнослужащих, на большинство подчиненных, на весь личный состав подразделения части и т. д.);

б) относительной устойчивостью (если офицер в своих поступках и действиях не допускает срывов и грубых ошибок);

в) иррадиацией (распространением авторитета на все стороны личности офицера, если в чем-то главным он показал себя лучшим образом);

г) инерцией (подчиненные какое-то время относятся к новым командирам в соответствии с представлениями, которые сложились у них об их предшественниках. Инерция проявляется также в сохранении ранее сложившейся в коллективе высокой репутации офицера, хотя сам он или условия службы существенно изменились);

д) преимуществом морального авторитета над физическим или интеллектуальным (подчиненные хотят, чтобы руководитель обладал сильным характером, помогающим ему в любых условиях принимать правильное решение);

е) законом подтверждения, то есть необходимостью поддерживать авторитет все новыми достойными делами и высоконравственными поступками.

Итак, авторитет военного руководителя выражается, с одной стороны, в силе и глубине его влияния на психологию подчиненных, их деятельность, поведение и самовоспитание. С другой стороны, он состоит в полном доверии и уважительном отношении подчиненных к данному офицеру. Чем выше авторитет командира, тем эффективнее его учебно-воспитательная и организаторская работа с личным составом.

Говоря об основных предпосылках высокого авторитета руководителя воинского коллектива, следует разделить их на две взаимосвязанные группы: объективные и субъективные.

Прежде всего объективной предпосылкой является то, что русский офицерский корпус во все времена отличался патриотическими убеждениями и ориентацией на российские духовные ценности.

Без идеала, без нравственных ценностей нация, народ, офицерский корпус недолговечны. Неслучайно жизненное кредо русского офицерства всегда выражалось в словах «Честь дороже жизни». Офицерскому корпусу России по-прежнему присущи высоконравственные качества и моральные мотивы служения Отечеству.

Второй объективной предпосылкой является авторитет занимаемой должности. Должность – это не только знания и опыт, но и определенные обязанности и права. И чем она выше, тем шире круг служебных обязанностей, тем большая административная власть предоставляется офицеру. Право командиров отдавать приказы и приказания, требовать их беспрекословного и точного выполнения поднимает ответственность подчиненных за свои поступки и действия, способствует повышению авторитета единоначалия.

Третьей объективной предпосылкой авторитета военного руководителя является воинское звание как символ его морально-психологической и военно-профессиональной зрелости.

Четвертой объективной предпосылкой авторитета офицера может быть наличие правительственных наград, боевых орденов и медалей, специальных званий («Мастер спорта», «Почетный радист», «Заслуженный штурман» и т. д.), а также участие в вооруженных конфликтах.

Однако авторитет военного руководителя обусловлен не только объективными, но и субъективными предпосылками, то есть качествами личности офицера.

По результатам анкетных опросов, наиболее значительными профессиональными качествами офицеров, позволяющими успешно управлять воинскими коллективами, были выявлены следующие:

- опыт работы с людьми – 46 %;
- организаторские способности – 33 %;
- профессиональное мастерство – 30 %;
- авторитет среди подчиненных – 21 %.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований показывают, что главной субъективной предпосылкой авторитета является уровень развития личных качеств офицера, среди которых наибольшее значение имеют следующие:

- 1) находчивость – «практическая сметка», способность применять ранее полученные знания и опыт в жизненной практике в различных ситуациях;
- 2) общительность – «открытость» для других, готовность быть в постоянном контакте с людьми;
- 3) глубина ума – способность доходить до сущности явлений, выделять их причины и следствия, видеть главное;
- 4) активность – умение действовать энергично, напористо;
- 5) инициативность – выдвижение идей, предложений, предприимчивость;
- 6) настойчивость – проявление волевых черт личности, умение доводить дело до конца;
- 7) самообладание – способность быть волевым по отношению к самому себе, контролировать свои чувства, свое поведение;
- 8) работоспособность – умение сохранить напряженный темп деятельности, способность длительное время не уставать;
- 9) наблюдательность – умение увидеть главное, нужное, отметить его, сохранить в памяти;
- 10) организованность – способность организовать самого себя, спланировать свою деятельность;

11) самостоятельность – независимость в решениях, умение самому находить пути выполнения задачи.

Перечисленные качества нужны каждому командиру для завоевания авторитета в коллективе.

Работа по укреплению авторитета офицерских кадров широко ведется в масштабах страны. Военно-политическое руководство России, осуществляя программу планомерного совершенствования Вооруженных Сил, продолжает особое внимание уделять вопросам улучшения качественных, в том числе морально-психологических характеристик войск.

Однако общегосударственные меры по укреплению авторитета военных кадров не могут полностью решить данный вопрос. Заботиться об авторитете офицеров призваны прежде всего их начальники. Активную роль в поддержке авторитета должны занимать и воинские коллективы. В этих целях необходимо:

а) оказывать помощь офицерам (особенно молодым) во вступлении в должность и в успешном становлении в ней. Ротмистр В.М. Кульчицкий в своем труде «Советы молодому офицеру» отмечал: «Офицер, не усвоившийся еще со своим новым положением, которое основано на условностях, выдержанности и военном такте, часто теряется и не знает, как ему следует поступать в некоторых случаях, не предусмотренных уставами» [5];

б) всячески поддерживать творческую инициативу и самостоятельность офицеров в обучении и воспитании подчиненных, в организации их повседневной и боевой деятельности;

в) заботиться о совершенствовании нравственного облика, боевого мастерства офицеров, побуждать их к целеустремленной разносторонней работе над собой;

г) активизировать работу аттестационных комиссий, совершенствовать стиль работы офицерских собраний, судов чести;

д) повышать эффективность работы подчиненных командиров по сохранению традиций, соблюдению воинских ритуалов;

е) формировать современный стиль, методы и систему работы командиров как по моральному, так и по материальному, денежному стимулированию подчиненных.

Названные выше пути и способы обеспечения высокого авторитета военного руководителя особенно актуальны на этапе становления молодого офицера. Всесторонняя подготовка к вступлению в должность позволяет офицеру уверенно приступить к выполнению своих функциональных обязанностей, творчески решать стоящие задачи. Важно делать всё, чтобы первые шаги офицера были успешными, так как допущенные новым человеком существенные просчеты и ошибки надолго подрывают его авторитет в глазах подчиненных. Утраченное доверие во всех случаях вернуть значительно сложнее, чем завоевать его в первые дни образцовыми действиями.

Нельзя не заметить, что забота об авторитете офицера не прекращается представлением его подчиненным. Она является предметом постоянных усилий его непосредственных и прямых начальников.

Об укреплении авторитета офицера должны постоянно заботиться не только его начальники, но и он сам. Что же должен делать офицер в целях завоевания у личного состава высокого авторитета?

Прежде всего ему необходимо проявлять самоотверженность и доблесть, творчество и инициативу при выполнении своих служебных обязанностей.

Самообладание, самоотверженность нужны офицеру в повседневной службе как основа его успехов в служебной деятельности и личного авторитета. Современный контингент военнослужащих нетерпимо относится к проявлениям со стороны командиров безответственности, малодушия, трусости, растерянности, беспомощности.

Смело и решительно действовать в напряженный момент может только мастер военного дела. Надо иметь в виду, что первоклассными специалистами гордятся подчиненные, а сослуживцы испытывают к ним глубокое уважение.

Высокая инженерно-техническая подготовка выпускников Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского предыдущих лет сформировала в войсках мнение о них как о специалистах высочайшей квалификации. И когда офицеры с гордостью называют себя «можайцами» – это есть лучшее свидетельство потенциала для достижения вершин авторитета военного руководителя.

Особое значение для завоевания авторитета имеет требовательное и заботливое отношение командира к подчиненным, его умение располагать к себе людей.

Важнейший путь укрепления офицером своего авторитета – это профессиональное самосовершенствование, самовоспитание, формирование устойчивой мотивации по работе над собой.

По мнению авторов, профессиональное самосовершенствование военных специалистов предполагает концентрацию внимания на четырех группах мотивов:

1. Мотивы достижения и творческого поиска в учебе, практической деятельности, характеризующиеся чувством удовлетворения от собственного развития, установки на овладение новыми профессионально значимыми качествами, профессиональными позициями, потребностью в самоанализе и самооценке.

2. Личностные социально значимые мотивы, характеризующиеся интересом к профессии офицера, желанием стать высококвалифицированным военным специалистом, потребностью служить в соответствии с чувством долга, чести, морали и социальными нормам.

3. Желание лучше освоить свою специальность, должностные обязанности.

4. Мотивы поощрения, связанные с вознаграждением за деятельность, характеризующиеся стремлением к первенству в службе, желанием быть не хуже других, потребностью быть удовлетворенным полученными благами в результате собственной деятельности, стремление к успешной карьере.

5. Мотивы уклонения, обусловленные стремлением избежать неприятностей, сопровождающих служебную деятельность.

Самовоспитание – это неутомимый труд души, жажда знаний и действий. Это проявление во всех делах активной жизненной позиции. Это постоянный самоконтроль и определенные самоограничения.

Таким образом, авторитет руководителя воинского коллектива является важнейшей предпосылкой эффективной учебно-воспитательной работы в воинском коллективе, залогом высокой боеготовности подразделений и частей. Его формирование и развитие – важнейшая задача командиров и начальников, а также систематическая планомерная работа офицера над собой, неустанное саморазвитие и самосовершенствование.

Список используемых источников

1. Богачкина Н.А., Скворцова С.Н., Имашева Е.Г. Педагогика и психология: учеб. пособие. – 2-е изд., стер. – М.: Омега -Л, 2010. – 233 с.
2. Петрушевский А.Ф. Генералиссимус князь Суворов. – СПб.: Русская симфония, 2006. – 716 с.
3. Военная педагогика. учебник для вузов / под ред. О.Ю. Ефремова. – СПб.: Питер, 2015, – 640 с.
4. Коупленд Н. Психология и солдат. – М.: ЦИПК, 1996.
5. Кульчицкий В.М. Советы молодому офицеру. – Харьков, 1904. – 23 с.
6. Комсомольская правда. – 2015. – 6 ноября.

Galankin A.V., Goncharov A.M., Chashchin S.V. To a question of an estimation of efficiency of functioning of a digital communication network of Armies Aerospace defence // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 650. – P. 7–10.

In article the approach to an estimation of efficiency of functioning of a telecommunication network of the Main test space centre on the basis of use of a method of the main indicator is offered, allowing to consider influence of information-technical influences on process of information transfer and to estimate the taken measures of counteraction.

Key words: telecommunication network, efficiency, routeing, throughput.

Lazutin O.G. Methods of Communicating Information About the Technical Condition of Space Crafts Using Data Compression Algorithms and Cognitive Graphical Representation // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 650. – P. 11–17.

The article provides a method of bringing to consumers the information about the technical condition of space crafts, comprising the successive stages reducing the dimension of the original space of the analyzed parameters. Cognitive graphical representation of information contributes to the decision about the technical condition under tight time constraints.

Key words: space craft, analysis, technical condition, data compression, cognitive graphical representation.

Andreev A.M., Dikarev V.I., Poutchkova I.A. Location of ships and aircraft from the spacecraft through the use of a triangular antenna array // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 650. – P. 18–24.

This article proposes a new approach to the phase direction finding and location determination of the signals of emergency beacons of ships in distress, based on the use of triangular antenna array and compute the sum and difference of difference of phases between the antenna elements. Application of the proposed approach in the satellite system COSPAS-SARSAT will provide the possibility of expediting notifications about the detection of alarms due to measurement within one span of the spacecraft.

Key words satellite system COSPAS-SARSAT, emergency beacon, the phase direction finding, triangular antenna array, the possibility of expediting notifications.

Bogachenkov K.N., Voznyuk V.V. Method of optimal rebroadcasting jamming for aggregate signal radiosystems // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 650. – P. 25–32.

The article describes a power-efficient jamming method for aggregate signal systems. It based on similar to signal rebroadcasting jamming.

Key words: radiosystems, aggregate signals, rebroadcasting jamming.

Voznyuk V.V., Maslakov P.A., Fomin A.V. A study of noise immunity GPS receiver based on SDR technology // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 650. – P. 33–40.

In article is considered a study of noise immunity GPS receiver based on SDR technology. This article also contains an example of the implementation of the GPS SDR-receiver and a common approach to evaluation of SDR-receiver noise immunity.

Key words: modeling, receiver, SDR, noise immunity.

Eremeev I.Y., Makovski V.N., Svistunov F.N. Entropy methods of recognition of the state of the communication system network with the dynamic topology // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 650. – P. 41–47.

The main problems associated with the recognition of the status of the communication system with the dynamic topology. On the basis of information theory, developed a method to evaluate and recognize the structural changes of the communication network.

Key words: communication system with dynamic topology detection state information. Introduction class communication networks, in which a change topology is due to the displacement of points.

Khalmichkhov I.E., Tiustin M.M. The particularities of space radio monitoring during rescue operations // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 650. – P. 48–53.

It is giving consideration to the major issues of application of low circular orbits space radio monitoring system for the solution of search and rescue tasks while conducting rescue operations.

Key words: rescue, radio monitoring, radio-electronic environment, detection.

About existence of the ternary pseudorandom sequences similar to binary codes of Barker / M.A. Kovalev, A.A. Makarov, V.F. Pavsky, Y.V. Petelin // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 650. – P. 54–56.

The purpose of researches is development of new types of signals for use in space radio lines regarding ensuring the increased accuracy and increase in an interval of unambiguity of measurements, a noise stability, reserve, fight a multipath.

Existence of ternary codes with the aperiodic autocorrelated function similar to aperiodic autocorrelated function of binary codes of Barker is shown.

Key words: signals, binary codes, accuracy, noise stability, multipath.

Andreev A.A., Khatsayuk V.O. Space availability of data relay system signals evaluation using the simulation modeling // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 650. – P. 57–61.

The simulation model of data relay satellite system is considered for the purpose of space availability of data relay system signals evaluation. Description of modeling algorithm is presented, some simulation results are given.

Key words: data relay satellite systems, radiomonitoring, zone of service.

Eremeev I.Y., Makhrov K.B., Mukhin A.I. Method intended for detection of probing signals of remote sensing of the Earth from satellite vehicles at low signal-to-noise ratio // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 650. – P. 62–67.

The article presents a method intended for detection of probing signals at low signal-to-noise ratio with account for intrapulse signal redundancy, uniformity of adjacent pulses, bandwidth, time-bandwidth product, pulse repetition period. The article presents a mutual spectrum convolution scheme for two single-type signals. The article identifies signs which occur during probing signals processing.

Key words: probing signals, satellite vehicles, digital readouts, mutual spectrum convolution, low signal-to-noise ratio.

Frolov K.O. Analysis of atmospheric conditions in the Arkhangelsk region in relation to the problem of creating artificial fogs to solve applied problems // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 650. – P. 68–72.

In the article on the basis of the processing material contained in the Handbooks of Climate and Aeroclimatic directories of atmosphere the results of the analysis of the atmospheric conditions near the cosmodrome "Plesetsk" in relation to the problem of creating artificial fogs in the interests of a wide range of applications are given.

Key words: fog, artificial fog, air temperature, relative humidity, wind, inversion layers.

Andrushkevich D.V. Entry into force of regulations in the Russian Federation // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 650. – P. 73–87.

In this paper the approach to the construction of registration systems to control information security. The proposed model observation of violations of information security based on random abuses. The article describes the construction of control systems security events that allow you to automate the process of collecting and analyzing information from the various controls and increase the effectiveness of decision making in response to events associated with the violation. Based on the proposed model developed by a method of situational safety management in the computing environment.

Key words: violations of information security, the process of collecting and analyzing information, system registration, system management, security event information.

Lapikov I.I., Nikonov V.G. The adaptive algorithm for solving inequality systems with k -valued variables // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 650. – P. 88–94.

The report develops the concept of building based on Khachiyan's ellipsoid method of adaptive algorithm for solving systems of linear inequalities with k -unit unknowns. As a part of the study, initial localization of solution search-scope is specified, and additional criterion for algorithm output is introduced. The abovementioned results of experimental research for suggested adaptive algorithm enable to reveal key features of its operation and compare them with the operation of Kachiyan's polynomial algorithm.

Key words: systems of linear inequalities systems, k -valued logic, ellipsoid method.

Grudin I.V., Surovikin S.V. Substantiation of structure of the method information maintenance of management with struggle against the opponent in aerospace sphere // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 650. – P. 95–108.

In article the approach to definition of classification signs of separate information-administrative functions of struggle against the opponent in the aerospace sphere, focused on a substantiation of functional structure of a method of information support of management of difficult organizational-technical system of a special purpose is presented.

Key words: the information, information support, information-administrative function, a method of information support of management, struggle in aerospace sphere.

Korneev V.P., Kuleshov Y.V., Shchukin G.G. Current status and prospects of application of aviation cloud seeding technology for meteorology protection from anomalous weather phenomena and effects of human-made disasters // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 650. – P. 109–121.

Based on the analysis of the efficiency of the use of the developed weather modification technology in Russia evaluated the prospects for reducing the impact of catastrophic weather events. It is proposed that the concept of establishing a system for the meteorological protection Russia from abnormal weather phenomena and effects of human-made disasters on the basis of aviation cloud seeding technology.

Key words: cloud seeding, heavy rain, hail, drought, disasters, radar control.

Abdurakhimov A.A. Statistical Processing of Experimental Studies Results of the Spacecraft Vulnerable Elements Degradation // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 650. – P. 122–131.

Formulated features of experimental study of properties vulnerable elements of space vehicles degradation as a result of influence of adverse factors of space. Two types of dependencies of the results on the parameters of adverse factors considered. Proposed scientific method of statistical processing of experimental results, representing the development of the theory of planning of experiment in research of step dependency properties vulnerable elements from the parameters of the effect

Key words: spacecraft, adverse factor, experiment, regression analysis.

Abdurakhimov A.A., Skvortsov D.V. Modelling of degradation of large-size elements of onboard systems of spacecrafts // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 650. – P. 132–137.

The article analyzes the characteristics of degradation of the properties of large vulnerable elements of the spacecraft by the impact of unfavorable factors of outer space. Need of formation of new approach to an assessment of characteristics of the damaged large-size elements was proved. New concepts of a large-size vulnerable element, elementary fragment of a large-size vulnerable element and the integrated characteristic of a large-size vulnerable element are entered. The experimental and theoretical method of calculation of integrated characteristics of large-size elements of the spacecrafts damaged as a result of influence of factors of a space is offered.

Key words: spacecraft, space factors, large-size element, results of influence.

Aitov R.N., Grushkovskiy P.A. Entry into force of regulations in the Russian Federation // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 650. – P. 138–143.

This article describes the issues associated with construction of a normalized vector of the observed condition of the refrigeration system based on the transformation of vibroacoustic signals of objects with rotational and reciprocating movement of the inertial masses.

Key words: controlled sign, the refusal of the functional element, the rate of evasion partial sums of Fourier series, vector normalized observable states, relative error.

Ardashov A.A., Arsenyev V.N., Silantyev S.B. Current status and terminological dictionary of space robotics // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 650. – P. 144–151.

Examples of space robots, which revealed their characteristic especially property and applications. Presents a functional diagram of the robot and determined the composition of its major systems. On the basis of the proposed key terms and definitions of space robotics.

Key words: space robot, manipulators, information systems, and space systems.

Burikov S.V. The parametric optimization algorithm of the onboard transmitting and receiving terminal of space laser data transmission systems // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 650. – P. 152–160.

The optimization implementation algorithm of the board transmitting and receiving terminals of space laser data transmission systems information is presented, which allows to choose their parameters that are essential for achieving their best performance for the specified (expected) operating conditions by the graph-analytic method. The algorithm structural scheme and the features of the spline interpolation and approximation according to optimal parameters are considered.

Key words: laser data transmission system, optimizing the parameters of onboard transmitting and receiving terminals, graph-analytic method.

Burikov S.V., Maltsev G.N. Statistical description of the processes of breakdown in tracking and connecting via inter-satellite laser channel in case of errors in mutual pointing of onboard optical

antennas // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 650. – P. 161–169.

Statistical description of the processes of breakdown in tracking and connecting via inter-satellite laser channel in case of guidance errors is completed. Analytical expressions for the probability of breakdown of tracking and connecting via inter-satellite laser channel in case of guidance errors are obtained, which are based on the density of distribution of errors in pointing and on Markov model of connecting, depending on the parameters of optical beam pointing subsystems, of searching and tracking subsystems in onboard receiving and transmitting terminals. The results of calculation of probability of breakdown of tracking and of mean time of connecting are presented for typical operating conditions for space laser data transmission systems.

Key words: laser data transmission system, a subsystem of the search and tracking, tracking failure, the time of connecting.

Zotkin M.U., Mironov V.I., Mironov U.V. The calculation of the program of the spacecraft angular motion control in maintenance mode of orbital object due to Rodrigo Hamilton's parameters // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 650. – P. 170–174.

This article is devoted to the algorithm development for programs calculating of the spacecraft (SC) angular orientation in the mobile orbital frame in maintenance of orbital object (OO) angular mode using Rodrigues-Hamilton's parameters. There are some results of numerical studies.

Key words: off-centre of the gravitational field of the Earth, the direction cosines, Rodrigues-Hamilton's parameters, the mobile orbital coordinate system.

Karagodin V.V., Polyanskiy K.A. The optimization problem statement of the uninterruptible power supply system structure of responsible consumers of the space force objects // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 650. – P. 175–181.

The article formulates the optimization problem, the solution of which will allow you to choose the optimal investment option to build a uninterruptible power supply system that provide the desired level of the power supply reliability of responsible consumers.

Key words: optimization, uninterruptible power system, electric reliability, essential consumer.

The Method of survivability special structures determination under the influence of enemy conventional weapons / S.U. Karasyov, G.S. Ladyshkin, D.V. Surin, A.M. Shevchuk // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 650. – P. 182–185.

The first time a method is proposed multi-evaluate the survivability of special structures of the Defense Ministry under the enemy conventional weapons influence in terms of aiming for the center of the planned projection and local action impact and explosion of ammunition.

Key words: weapons, precession weapons, section protection, means of destruction.

Kozlov V.V., Mogan D.O., Chirva S.V. The analysis of probabilistic and deterministic approaches in the study of complex technical systems // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 650. – P. 186–191.

The article discusses the application of probability theory and mathematical statistics to the study of complex technical systems. The conclusion about the necessity of using set-theoretic approach to the processes taking place in complex technical systems, instead of the probabilistic methods, the theory provides the efficiency and reliability of equipment.

Key words: complex technical system, life cycle, adaptability, self-organization.

Kulganov V.A. Integral assessment of the status and performance funktsionalnogo operators // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 650. – P. 192–198.

Psychophysiological factors acting on the operators in terms of complexes taken on arms vary widely. This leads to the spread of indicators of physiological functions in magnitude and direction, which is found in the study with the help of psycho-physiological features of the influence of methods of work of military experts in their functional state. This paper proposes an integrated approach assessing the state of the military operator. It allows you to give the quantitative characteristics of the functional state, health and fatigue experts regardless of the type used for their study methods to assess the prevailing direction and dynamics of the average value of each test index for any period of work. This method can be used in solving many issues related to human activities in antropotekhnicheskikh systems.

Key words: functional state of operator fatigue performance, the integral index of the functional state, physiological indicators.

Prorok V.Y., Skirda V.S. Analysis and statement of practice resources structure for training of military specialist // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 650. – P. 199–203.

It is investigated modern state of personnel training, serving at high factory readiness radar stations. It is performed attempt of training complexes construction principles generalization as well as classification of their construction principles. It is accomplished collection and analysis of training methods.

On the basis of investigations was formulated fundamental requirements to perspective training equipment of high factory readiness complexes. It is concerned theme of training technical means unification as well as their implementation not only manufacturing at present and already spading means but in system of working out means personnel training – deployment on the base of higher military educational institutions.

Key words: training means and complexes, military specialists training, software, automation of educational process, methods of education, educational and methodological complex, unification.

Altukhov A. I., Kalinin V. N., Cheburkov M. A. The experience of formation and assessment of competencies in the disciplines of the professional cycle in the system of military education // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 650. – P. 204–209.

In the article on the example of training in the field of data processing of remote sounding of the Earth considered approach to the organization of educational activities in the disciplines of the professional cycle in the implementation of competence-based approach at military schools. Special attention is paid to the formation and assessment of professional competencies, the model of formation of professional competences. Defined approaches to the evaluation of the formed competences in the students.

Key words: competence, development and evaluation of competencies, disciplines of a professional cycle, the training of military specialists, remote sensing of the Earth.

eLearning Server 4G as a component of electronic education in system of additional professional education / M.A. Golubev, I.Y. Voronkov, D.I. Dyakonov, O.G. Mashkov // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 650. – P. 210–213.

The approach to use in educational process of system of distance learning and e-learning tools and the basic results of their use in the preparation of students of the faculty of retraining and advanced training of the Military Space Academy named after A. F. Mozhaisky.

Key words: distance educational technologies, e-learning, additional professional program, professional development, distance learning system.

Inozemtseva L.A., Kuzhekin N.S. To the question of the limits of pedagogical influence on individual psychological properties of personality of a cadet of the military University // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 650. – P. 214–218.

In the article the personality of a cadet of the military University viewed as a biosocial dynamic system, evolving in time, of changing the composition of its constituent elements and relations between them. Set out the psycho-pedagogical aspects of the definition of the boundaries of pedagogical influence and recommendations on the formation of personal qualities and properties cadets in the educational activity.

Key words: man, individual, personality, identity, natural and social properties of man, temperament, the makings, ability, cognitive processes, attention, memory, professional thinking, character, the mechanism accounting for individual properties in educational activities, purposeful shaping of personality.

Prokofieva A.L., Yasnova N.S. Methodics of E-study Course Basis in Teaching Foreign Language at Institution of Higher Military Education // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 650. – P. 219–222.

There has been formulated the necessity of new computer courseware introduction when preparing skilled specialists translating in professional communication. Additionally, there has been stated the methodic ground of computer courseware using due to foreign language specific nature; common structure by means of three functional subsystems and experience of original e-study course “The English Grammar”.

Key words: methodics of teaching foreign language, information technologies in teaching, e-study course.

Repyakh A.N., Tarasov A.V., Hrustova A.N. Individual control-interview as a form boundary control in military high school // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 650. – P. 223–226.

The article is devoted to the content and didactic features individual control of the interview. The attention is focused on methodological issues of organizing and conducting classes as a form of boundary control.

Key words: landmark control, individually control the interview, communication, interaction-nexus function.

Tarasov A.V., Schalonov E.V. Social and psychological conditions of formation and development of authority of the head of military collective // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 650. – P. 227–231.

The paper deals with problems of building up and development of reputation of a leader of a military unit. Objective and subjective prerequisites of a reputation formation and professional self-improvement of a commanding officer are discussed.

Key words: reputation, unit, prerequisites, self – improvement.

Абдурахимов Алексей Александрович, доцент 12-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-12, e-mail: alexvenis@mail.ru

Аитов Ренат Наильевич, адъюнкт 43-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-96-43, e-mail: reshka462@mail.ru

Алтухов Александр Иванович, заведующий 112-й кафедрой Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-08.

Андреев Андрей Михайлович, ведущий научный сотрудник 3-го управления Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 237-10-21, e-mail: aandreev961@yandex.ru

Андрушкевич Дарья Владимировна, адъюнкт 61-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-96-87.

Ардашов Август Анатольевич, старший научный сотрудник 21-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (911) 217-44-96, e-mail: avgust.ar@yandex.ru

Арсеньев Владимир Николаевич, профессор 25-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (911) 262-02-22, e-mail: vladar56@mail.ru

Богаченков Кирилл Николаевич, начальник 371-й учебной лаборатории Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-95-35, e-mail: boga4enkov@bk.ru

Буриков Сергей Владимирович, заместитель начальника 3-го факультета – начальник учебной части Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 235-96-30, e-mail: burikov77@mail.ru

Вознюк Валерий Васильевич, доцент 37-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8(911) 299-75-78.

Воронков Иван Юрьевич, начальник учебно-методического отдела Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук; тел.: 8 (812) 347-97-78 .

Галанкин Андрей Вячеславович, заместитель начальника 91-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (921) 316-55-83.

Голубев Михаил Александрович, старший научный сотрудник 61-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук; тел.: 8 (812) 347-97-31.

Гончаров Алексей Михайлович, старший преподаватель 91-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8(911) 830-35-77.

Грудинин Игорь Владимирович, профессор 101-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-96-42.

Грушковский Павел Анатольевич, адъюнкт 43-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-96-43, e-mail: pasha-089@yandex.ru

Дикарев Виктор Иванович, научный сотрудник 37-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 237-10-21, e-mail: routchova@mail.ru

Дьяконов Дмитрий Игоревич, младший научный сотрудник 613-й лаборатории Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-97-31.

Еремеев Игорь Юрьевич, начальник 53-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8-911-238-06-62, e-mail: tolik516@yandex.ru

Зоткин Максим Юрьевич, адъюнкт 21-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-95-21, e-mail: max053@yandex.ru

Иноземцева Людмила Александровна, преподаватель 109-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 810-62-63, e-mail: lucilia@mail.ru

Калинин Владимир Николаевич, профессор 112-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-08.

Калмычков Игорь Евгеньевич, старший преподаватель 55-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8(983) 445-84-26.

Карагодин Владимир Викторович, профессор 44-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (911) 227-36-79, 8 (812) 347-95-44, e-mail: vladimirkar@rambler.ru

Карасёв Сергей Юрьевич, адъюнкт 41-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (981) 954-74-02.

Ковалёв Максим Александрович, доцент 31-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-99-31.

Козлов Владимир Владимирович, профессор 14-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-14, e-mail: profkozlov@mail.ru

Корнеев Виктор Петрович, директор АНО «АТТЕХ» (123242, Россия, Москва, ул. Дружинниковская, 15); кандидат технических наук; тел.: 8 (485) 761-94-52, e-mail: kornvp@mail.ru

Кужекин Николай Сергеевич, профессор 109-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат философских наук, профессор; тел.: 8 (911) 794-16-72, e-mail: kns656@mail.ru

Кулганов Владимир Александрович, профессор 104-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор медицинских наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-96-93, e-mail: kulganof@mail.ru

Кулешов Юрий Владимирович, заместитель начальника Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского по учебной и научной работе (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 235-13-15.

Ладышкин Григорий Сергеевич, адъюнкт 41-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (951) 681-86-72.

Лазутин Олег Григорьевич, начальник научно-испытательного управления Главного испытательного космического центра МО РФ имени Г.С. Титова (Россия, г. Краснознаменск Московской области); e-mail: lazutin.o@mail.ru

Лапиков Игорь Игоревич, сотрудник Федерального государственного унитарного предприятия «Научно-исследовательский институт «КВАНТ» (125438, Россия, Москва, 4-й Лихачевский пер., 15); e-mail: landoflord@yandex.ru

Макаров Андрей Александрович, доцент 34-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-99-31.

Маковский Вячеслав Николаевич, докторант 55-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8(812) 919-65-56.

Мальцев Георгий Николаевич, профессор 32-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 235-96-30.

Маслаков Павел Андреевич, адъюнкт 37-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 083-36-89.

Махров Константин Борисович, начальник 37-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8-904-631-32-52, e-mail: tolik516@yandex.ru

Машков Олег Георгиевич, начальник 611-й лаборатории Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-97-31.

Мионов Вячеслав Иванович, профессор 21-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-21, e-mail: mironuv@yandex.ru

Мионов Юрий Вячеславович, доцент ОАО «Научно-инженерный центр Санкт-Петербургского электротехнического университета» (194021, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 22); доктор технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 703-75-83, e-mail: mironuv@yandex.ru

Мокан Денис Олегович, докторант 14-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-95-14, e-mail: mdo.vka@yandex.ru

Мухин Анатолий Иванович, начальник 372-й лаборатории Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8-964-323-54-66, e-mail: tolik516@yandex.ru

Никонов Владимир Глебович, член Президиума Российской академии естественных наук (119002, Россия, Москва, Сивцев Вражек пер., 29/16); доктор технических наук; тел.: 8(916)676-29-28, e-mail nikonovu@yandex.ru

Павский Владислав Филиппович, доцент 31-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8(812)347-99-31.

Петелин Юрий Владимирович, доцент 31-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-99-31.

Полянский Константин Аркадьевич, адъюнкт 44-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (981) 779-69-13, e-mail: kostyapol2007@rambler.ru

Прокофьева Анна Леонидовна, старший преподаватель 113-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 343-06-11, e-mail: a_prokofieva@mail.ru

Пророк Валерий Ярославович, профессор 95-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук; тел.: 8 (911)-161-00-95, e-mail: val_prorok@mail.ru

Пучкова Ирина Александровна, научный сотрудник 37-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 237-10-21, e-mail: routchova@mail.ru

Репях Николай Андреевич, заведующий 109-й кафедрой Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат философских наук, доцент; тел.: 8 (911) 990-02-38, e-mail: utkinodacha@yandex.ru

Свистунов Фёдор Николаевич, преподаватель 55-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8(905) 217-00-72.

Силантьев Сергей Борисович, профессор 21-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (911) 951-16-32, e-mail: silantev2008@yandex.ru

Скворцов Дмитрий Валерьевич, начальник 113-й лаборатории (научно-исследовательской) – старший научный сотрудник Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-96-12, e-mail: avtorstatu@mail.ru

Скирда Валерий Сергеевич, начальник 951-й лаборатории Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (952) 242-90-58, e-mail: sv_s_2709@mail.ru

Сурин Дмитрий Васильевич, профессор 41-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8(963)248-41-11.

Суровикин Сергей Владимирович, Командующий войсками округа (680038, Россия, Хабаровск, ул. Серышева, 15); кандидат военных наук; тел.: 8 (4212) 39-51-00.

Тарасов Александр Владимирович, заведующий 108-й кафедрой Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук; тел.: 8 (911) 922-84-79.

Тюстин Михаил Михайлович, адъюнкт 55-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 817-47-00.

Фомин Алексей Викторович, адъюнкт 37-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 751-25-31, e-mail: fomin_av316@mail.ru

Фролов Константин Олегович, адъюнкт 52-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), тел.: 8 (812) 297-75-95, e-mail: Kostya-frolov.0312@mail.ru

Хацаюк Виталий Олегович, адъюнкт 37-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 237-10-21, e-mail: shputs@mail.ru

Хрустова Алёна Николаевна, старший преподаватель 109-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (905) 225-88-87, e-mail: yugani@rambler.ru

Чащин Сергей Васильевич, адъюнкт 91-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (981) 684-63-28, e-mail: sonpo123@mail.ru

Чебурков Михаил Александрович, преподаватель 51-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-95-51.

Чирва Сергей Витальевич, адъюнкт 14-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-95-14, e-mail: chirva82@yandex.ru

Шалонов Евгений Владимирович, заместитель начальника Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского по работе с личным составом (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук; тел.: 8 (965) 039-46-99.

Шевчук Андрей Михайлович, начальник 41-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8(911)911-46-92.

Щукин Георгий Георгиевич, профессор 52-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор физико-математических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-52, e-mail: ggshchukin@mail.ru

Яснова Нина Семёновна, кандидат педагогических наук, заведующая 113-й кафедрой Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 663-97-21.

Алексеев Виктор Фёдорович, старший научный сотрудник 16-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор технических наук, доцент; тел. 8 (911) 217-03-39.

Алёшкин Андрей Петрович, профессор 31-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (911) 218-49-69.

Барановский Анатолий Михайлович, профессор 26-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-26.

Бянкин Александр Александрович, профессор 34-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-36.

Власов Сергей Александрович, доцент 16-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-96-16.

Гранкин Борис Константинович, профессор 14-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор технических наук, профессор, тел.: 8 (812) 347-95-14.

Девяткин Александр Михайлович, начальник 6-го факультета Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-97-60.

Доронин Александр Павлович, профессор 52-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-52.

Еремеев Игорь Юрьевич, начальник 53-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (911) 238-06-62.

Замарин Александр Иванович, профессор 53-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (921) 918-77-72.

Козырев Геннадий Иванович, профессор 34-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (911) 217-33-99.

Кузьмичёв Юрий Алексеевич, доцент 21-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-21.

Кунтурова Надежда Борисовна, профессор 111-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор педагогических наук, доцент; тел.: 8 (921) 753-04-88.

Лебедев Евгений Леонидович, начальник 11-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор технических наук, доцент; тел.: 8(812) 347-95-11, e-mail: zlebedev@yandex.ru

Мальцев Георгий Николаевич, профессор 32-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор технических наук, профессор; тел.: 8(812) 347-97-32.

Мануйлов Юрий Сергеевич, профессор 94-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор технических наук, профессор; тел.: 8(812) 347-95-65, e-mail:kotmanof@rambler.ru

Минаков Евгений Петрович, профессор 23-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор технических наук, профессор; тел.: 8(911) 247-98-01, e-mail: ep.minakov12345@mail.ru

Назаров Андрей Вячеславович, начальник 33-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор технических наук, доцент; тел.: 8(812) 347-95-33.

Онуфрей Андрей Юрьевич, ведущий научный сотрудник 5-го управления Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 230-28-15.

Попов Александр Сергеевич, старший научный сотрудник 23-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор технических наук, профессор; тел.: 8(812) 347-94-23.

Репях Николай Андреевич, заведующий 109-й кафедрой Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат философских наук, доцент; тел.: 8(911) 990-02-38, e-mail: utkinodacha@yandex.ru

Сеньченков Валентин Иванович, профессор 43-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор технических наук, профессор; тел.: 8(911) 250-60-79.

Сергеев Виктор Александрович, доцент 25-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат технических наук; тел.: 8(812) 347-95-27.

Силантьев Сергей Борисович, профессор 21-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), кандидат технических наук, доцент; тел.: 8(911) 951-16-32, e-mail:silantev2008@yandex.ru

Харченко Александр Викторович, начальник 32-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор технических наук, доцент; тел.: 8(812) 347-99-32.

Цветков Кирилл Юрьевич, начальник 35-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор технических наук, профессор; тел.: 8(812) 347-97-25.

Чарушников Александр Валерьевич, начальник 2-го управления Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13), доктор военных наук, доцент; тел.: 8(812) 347-96-21.