

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 651
И ю н ь

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, доц.

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. Клеймёнов**, доктор техн. наук, проф.;
В.В. Козлов, доктор техн. наук, проф.; **Н.С. Кужекин**, кандидат филос. 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 филос. наук, доц.; **А.В. Харченко**, доктор техн. наук, доц.;
К.Ю. Цветков, доктор техн. наук, проф.; **А.В. Чарушников**, доктор воен. наук, доц.

Ответственный за выпуск:
начальник РИО **С.В. Чернышёв**

Техническая поддержка:
Н.А. Станкевич

Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. Выпуск 651 / под общ. ред. Ю.В. Кулешова; редкол.: Ю.В. Кулешов, И.В. Сахно, С.Г. Алёхин и др.; ответственный за вып.: С.В. Чернышёв; техническая поддержка: Н.А. Станкевич. – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2016. – 272 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. 05.05.2016
Гарнитура Times New Roman
Уч.-изд. л. 33,75

Формат печатного листа 445×300/4
Печ. л. 68,00
Заказ 3205

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

<i>Авсюкевич Д.А., Буяков С.Н., Литвинюк А.В., Миргородский А.Н.</i> Оптимизация параметров функционирования системы отопления и теплозащиты зданий и сооружений на основе термoeкономического метода.....	7
<i>Бугайченко П.Ю., Никитин А.А., Привалов А.Е.</i> Пути повышения оперативности применения космических систем дистанционного зондирования Земли.....	14
<i>Голованских И.Г., Каминский О.Э., Петухов А.М.</i> Оценивание возможностей наблюдения космической системой дистанционного зондирования Земли динамично развивающихся чрезвычайных ситуаций.....	21
<i>Козырев Г.И., Лоскутов А.И., Хаматов А.А.</i> Конечно-автоматная модель функционирования бортовой аппаратуры автономных космических аппаратов для контроля технического состояния с использованием нечеткой логики.....	28
<i>Козырев Г.И., Хаматов А.А.</i> Алгоритм синтеза оптимальных тестовых программ при автоматическом техническом диагностировании бортовой аппаратуры космических аппаратов на основе нечеткой логики.....	39
<i>Олейник Б.М., Попов Д.М.</i> Методика формирования множества альтернатив в задачах синтеза структуры систем управления.....	50

СВЯЗЬ, УПРАВЛЕНИЕ И НАВИГАЦИЯ

<i>Андреев А.М.</i> Анализ развития спутниковой автоматической идентификационной системы мониторинга движения судов. Часть 1. История развития.....	54
<i>Егин А.В., Левин Д.В., Паршуткин А.В.</i> Обобщенная математическая модель воздействия активных помех на техническое средство перехвата побочных электромагнитных излучений от растровых систем отображения информации.....	62
<i>Мануйлов Ю.С., Рахимов Р.Р.</i> Синтез регуляторов инвариантного управления линейными динамическими объектами на основе принципа приспособления к возмущениям.....	71
<i>Маслаков П.А., Паршуткин А.В., Фомин А.В.</i> Модель функционирования канала спутниковой связи при воздействии нестационарных помех.....	78

<i>Почивалов С.Г., Рябишк С.А., Топчий П.Н.</i> Математические модели шумоподобных помех для командно-измерительных систем с цифровой обработкой сигналов.....	84
СБОР И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ	
<i>Дидык О.И., Доронин А.П., Козлова Н.А., Петроченко В.М., Шмалько С.А.</i> Исследование фазового состояния слоистообразной облачности над центральными районами России применительно к проблеме модифицирования.....	91
<i>Еремеев И.Ю., Овчаренко К.Л.</i> Метод вычислительно-эффективного оценивания взаимных временных задержек в условиях априорной неопределенности частотных сдвигов сигналов спутниковых терминалов.....	98
<i>Мельников Д.Б., Октябрьский В.В.</i> Тепловые инфракрасные каналы много- и гиперспектральной аппаратуры дистанционного зондирования Земли.....	106
ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ	
<i>Власов С.А., Житников Т.А., Кульвиц А.В.</i> Формирование облика баллистически связанной группы космических аппаратов наблюдения земной поверхности.....	113
<i>Марковский А.С., Самонов А.В., Свеколкин Н.И.</i> Место и роль процессов контроля качества в жизненном цикле программных средств систем вооружения.....	119
<i>Ременсон В.А., Тимофеев В.И., Шабалин П.В.</i> Синоптический анализ особенностей влияния атмосферных процессов и погодно-климатических условий на деятельность государства в Арктической зоне.....	130
РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ	
<i>Басыров А.Г., Захаров И.В.</i> Оценивание живучести бортовых вычислительных систем космических аппаратов.....	139
<i>Брежнев Е.Ю., Гравченко Ю.А., Мокан Д.О., Чирва С.В.</i> Метод оценки показателей живучести образцов вооружения и военной техники при общем действии взрыва боеприпаса.....	149
<i>Головина В.В., Коцкович А.В., Рымкевич П.П.</i> Оценка среднего времени прохождения тепла через обшивку космического аппарата.....	153
<i>Гончаров П.С., Денисов А.М., Кухтин А.В., Мартынов В.В., Синельников Э.Г.</i> Устройство датчика для исследования параметров метеороидных и техногенных частиц в космическом пространстве.....	159

<i>Грушковский П.А., Сеньченков В.И.</i> Диагностические модели сложных технических систем на основе методов обучения.....	166
<i>Дьяков А.Н.</i> Модель процесса поддержания готовности технологического оборудования с обслуживанием после отказа.....	174
<i>Коришунов Г.А., Любченко Ю.М., Стеганов Г.Б., Чудновский Ю.А.</i> Расчет параметров стационарного электротеплового режима ограничителя перенапряжений с учетом неравномерности тепловыделения по высоте колонки варисторов.....	180
<i>Лебедев А.С., Лебедев Е.Л., Уханов И.Г.</i> Статистический подход к обработке параметров акустико-эмиссионных сигналов при лазерной обработке промышленных объектов.....	183

ПРОБЛЕМЫ ВОЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ

<i>Васильева Н.В., Кунтурова Н.Б.</i> Использование электронных образовательных ресурсов при формировании математической компетентности у будущих военных специалистов.....	189
<i>Касавцев М.Ю., Михайлова Е.А., Селихина Н.В.</i> Учет возрастных и психологических особенностей развития личности курсанта в системе обучения и воспитания военно-учебного заведения.....	194
<i>Плетенчук И.В., Привалов А.Е., Тюрин Р.М.</i> Деловая игра «Управление эксплуатацией вооружения, военной и специальной техники».....	199
<i>Прокофьева А.Л., Яснова Н.С.</i> Модель электронного учебного курса как средство организации самостоятельной подготовки.....	207

ВОПРОСЫ ГУМАНИТАРНЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ НАУК

<i>Гуторович О.В.</i> Философия техники и ее проблематика.....	211
<i>Курбатов О.А., Латанов В.М.</i> Некоторые аспекты исторического опыта государственного-политического руководства подготовкой офицерских кадров для решения задач укрепления технологической и воинской дисциплины в космических частях Вооруженных сил СССР (1982-1991).....	218
<i>Пауков А.Б.</i> Об основных этапах развития российской школы боевой подготовки войск.....	228
<i>Станкевич Н.А., Федулов С.В.,</i> Создание и развитие системы военно-технического сотрудничества Российской империи, СССР в западными странами в 1890-е – 1950-е гг.....	233
<i>Худайназарова Д.Р., Чернолес В.П.</i> Инновационные педагогические технологии становления социальной идентичности военнослужащих женского пола в образовательном процессе военного вуза.....	240
<i>Худайназарова Д.Р., Чернолес В.П.</i> Педагогическая концепция социализации военнослужащих женского пола, обучающихся в военных вузах.....	247

Рефераты статей.....	254
Сведения об авторах.....	262
Сведения о рецензентах.....	270

Д.А. Авсюкевич,
доктор техн. наук;
С.Н. Буяков,
кандидат техн. наук;
А.В. Литвинюк;
А.Н. Миргородский

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ И ТЕПЛОЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ТЕРМОЭКОНОМИЧЕСКОГО МЕТОДА

В статье рассматриваются вопросы повышения энергоэффективности зданий и сооружений при их эксплуатации и реконструкции путем оптимизации параметров теплозащиты и систем отопления, рассматриваемых как единая термодинамическая система с учетом экономических факторов. Проводится обоснование выбора метода термоэкономики для комплексного подхода к решению задачи снижения энергопотребления при минимизации затрат на проведение энергосберегающих мероприятий.

Ключевые слова: система отопления, тепловая защита, энергосбережение, приведенные затраты, термоэкономика.

Для функционирования людей, техники, технологического оборудования в Воздушно-космических силах используются сооружения и здания различного назначения. Обеспечение требуемых параметров микроклимата для бесперебойной и надежной работы технологического оборудования, а также жизнедеятельности личного состава осуществляется системами жизнеобеспечения (СЖО), включающими в свой состав взаимосвязанные процессами энергообмена между собой и с окружающей средой системы вентиляции и кондиционирования воздуха (СВКВ), системы холодоснабжения (СХС), а также системы оборотного водоснабжения (СОВС) и системы отопления (СО). Эти системы являются составными частями зданий и сооружений, а значит, повышение эффективности функционирования СЖО приводит к повышению эффективности и надежности функционирования всего комплекса.

Следовательно, при реконструкции и эксплуатации зданий и сооружений должна быть решена задача повышения эффективности функционирования СЖО с проведением мероприятий энергосбережения при минимальных дополнительных капитальных затратах.

Так как система отопления связана процессами энергообмена с окружающей средой через ограждающие конструкции, то СО и теплозащита сооружения в дальнейшем рассматриваются как единый объект исследования (термодинамическая система). Теоретическое обоснование и разработка методики, позволяющей установить оптимальные значения параметров функционирования СО совместно с параметрами тепловой защиты ограждающих конструкций защитного сооружения, представляются актуальными.

Термодинамический анализ СО целесообразно проводить на базе методов, оперирующих понятием «эксергия» [1, 2]. Это позволяет учитывать не только параметры процессов внутри оборудования СО, но и все возможные потоки энергии и рабочих тел, связывающие СО с окружающей средой.

Одновременно необходимо учитывать и экономические факторы совместной оптимизации СО и теплозащиты ограждающих конструкций [3, 4].

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод, что для решения задачи оптимизации энергопотребления СО наиболее подходит метод термоэкономического анализа, при использовании которого удачно сочетаются и термодинамические, и экономические составляющие анализа СО совместно с ограждающими конструкциями [5–7].

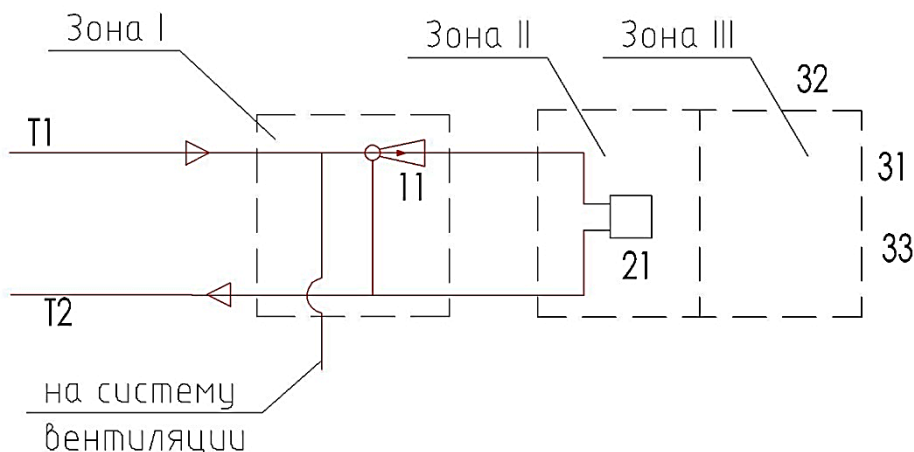
При использовании термоэкономического метода анализируются изменения, происходящие с основным потоком эксергии, обеспечивающим получение полезного конечного эффекта (в случае анализа СО – эксергии воздуха в помещениях защитного сооружения). При этом рассматриваются и учитываются потери эксергии, возникающие при передаче и преобразовании энергии в отдельных элементах СО, а также экономические затраты, связанные с эксплуатацией соответствующих элементов СО и ограждающих конструкций, наличие которых определяется выбранной схемой.

Потери эксергии, так же, как и экономические затраты, приводят к повышению удельной стоимости эксергии по мере перемещения потока от точки ввода эксергии в систему до получения конечного эффекта.

Так как значение эксергии воздуха в помещении, соответствующей требуемому тепловому режиму, определяется из теплотехнического расчета, то для оптимизации параметров функционирования СО необходимо определить условия, обеспечивающие получение минимальной цены эксергии воздуха в помещении.

Для решения данной задачи разрабатывается и анализируется математическая модель СО и теплозащиты ограждающих конструкций, построенная с учетом требований термоэкономики.

Анализ изменений, претерпеваемых только основным потоком эксергии, обеспечивающим получение конечного полезного эффекта, дает возможность представить термоэкономическую модель (ТЭМ) СО и теплозащиты в виде ряда отдельных зон, соединенных последовательно. Каждая зона представляет собой группу элементов, обладающих относительной самостоятельностью в рамках системы. При решении задачи оптимизации параметров функционирования СО и теплозащиты декомпозиция проводится до тех элементов, где происходят передача и преобразование энергии, т.е. имеют место процессы, характеризующиеся эксергией. Принципиальная схема термодинамической системы типовой СО и теплозащиты показана на рис.1.



*Рис.1. Принципиальная схема термодинамической системы:
 зона I – индивидуальный тепловой пункт (ИТП); зона II – отопительные приборы в обслуживаемых помещениях; зона III – ограждающие конструкции обслуживаемых помещений; 11 – элеватор ИТП; 21 – отопительные приборы; 31 – теплоизоляция ограждающих конструкций (стен); 32 – теплоизоляция покрытия; 33 – окна;
 T1, T2 – подающий и обратный трубопроводы теплоносителя*

Декомпозиция термодинамической системы при создании ТЭМ проведена до трех последовательно соединенных зон, которые изображены на рис.2, ограниченных контрольной поверхностью.

От внешнего источника через контрольную поверхность к различным зонам ТЭМ подводится эксергия: $e_{тр}$ – эксергия рабочего теплоносителя, подводимая от источника теплоснабжения (котельной) для подогрева в ИТП циркулирующего в СО теплоносителя; $e_{тн}$ – эксергия циркулирующего теплоносителя, подводимая к отопительным приборам; $e_{в}$ – эксергия нагретого в отопительных приборах воздуха.

Цена тепла, подводимого с рабочим теплоносителем от источника теплоснабжения (котельной), определяется как $Ц_t$.

Так как в процессе функционирования СО основное место занимают тепловые процессы, то в качестве оптимизируемых переменных используются такие, которые позволяют разработать термоэкономическую модель термодинамической системы и обеспечивают требуемое снижение энергопотребления в СО [8]. К таким переменным относятся *температурные напоры*: $\theta_э$ – в элеваторе местного теплового пункта, $\theta_{оп}$ – в отопительных приборах; *изменение температуры*: $\Delta T_э$ – циркулирующего теплоносителя в элеваторе, $\Delta T_в$ – воздуха в нагревательных приборах; *коэффициенты теплопередачи*: $k_{огр}$ – теплоизоляции ограждающих конструкций (стен), $k_{покp}$ – теплоизоляции покрытия, $k_{ок}$ – окон.

Анализируемая система представляет собой комплекс взаимосвязанных участков, в каждом из которых происходят «входящие в его обязанности» преобразования энергии. Эти преобразования сопровождаются определенными экономическими затратами.

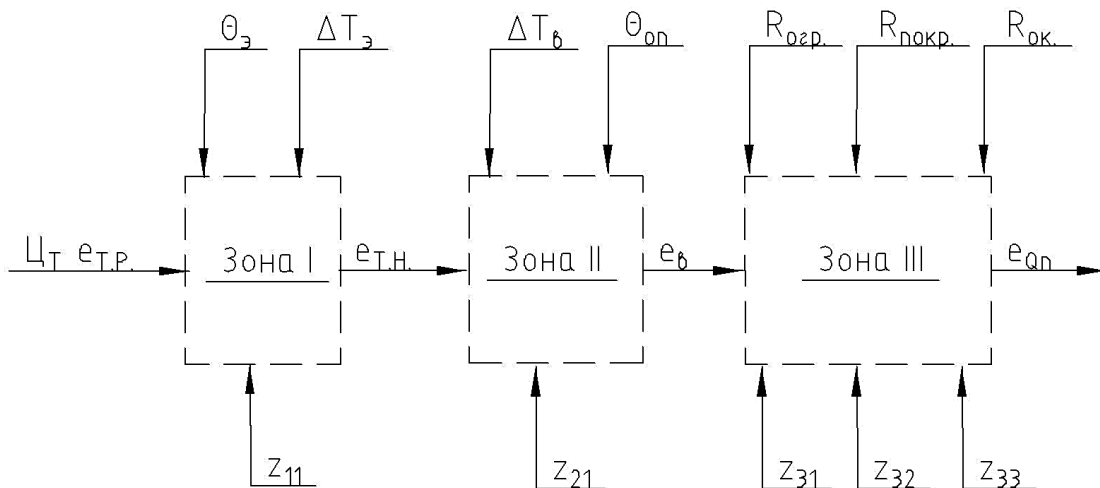


Рис.2. Термоэкономическая модель термодинамической системы:

$Ц_t$ – цена потребляемого тепла; $e_{тр}$ – эксергия рабочего теплоносителя, поступающего от котельной; $\theta_э$ – температурный напор в элеваторе; z_{11} – удельные постоянные затраты на оборудование ИТП; $\Delta T_э$ – изменение температуры циркулирующего теплоносителя в элеваторе; $e_{тн}$ – эксергия циркулирующего теплоносителя; $\theta_{оп}$ – температурный напор в отопительном приборе; z_{21} – удельные постоянные затраты на отопительное оборудование; z_{31} – удельные постоянные затраты на теплоизоляцию ограждающих конструкций (стен); z_{32} – удельные постоянные затраты на теплоизоляцию покрытий; z_{33} – удельные постоянные затраты на окна; $k_{огр}$ – коэффициент теплопередачи ограждающих конструкций; $k_{покp}$ – коэффициент теплопередачи кровли (покрытий); $k_{ок}$ – коэффициент теплопередачи окон; $\Delta T_в$ – изменение температуры нагреваемого в отопительном приборе воздуха; $e_в$ – эксергия нагретого отопительным прибором воздуха; $e_{Qп}$ – эксергия тепловых потерь помещения

Каждый элемент системы может быть выделен для исследования, если известны (или могут быть определены) количественные характеристики всех потоков эксергии и затрат, проходящих через входное и выходное сечения ограничивающей его контрольной поверхности.

Во всех процессах, подвергаемых термoeкономическому анализу, целесообразно разделять энергетические и неэнергетические затраты, поскольку первые непосредственно связаны с термодинамическими характеристиками как системы в целом, так и ее разных зон [7].

Неэнергетические затраты также связаны с термодинамическими параметрами, но характер этих связей значительно более сложен. Соответствующие зависимости в аналитической или какой-либо другой форме могут быть получены для каждого вида систем.

При построении термoeкономической модели СО и теплозащиты сооружения в качестве целевой функции были выбраны приведенные затраты Z . Для любого энергетического процесса или его участка суммарные приведенные затраты могут быть записаны следующим образом:

$$Z = E_n K + C, \quad (1)$$

где E_n – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений;
 K – суммарные капиталовложения;
 C – эксплуатационные затраты, определяемые по уравнению

$$C = bK + \Sigma S_{эн} + S_0, \quad (2)$$

где b – коэффициент, учитывающий отчисления на амортизацию и капитальный ремонт;
 $\Sigma S_{эн}$ – затраты на энергию и перерабатываемые материалы;
 S_0 – затраты на обслуживание, текущий ремонт, зарплату для персонала (постоянная составляющая эксплуатационных затрат).

При построении термoeкономической модели сделаны следующие допущения:

1) не учитывается изменение потерь давления в трубопроводах при транспортировке теплоносителя. Потери давления в трубопроводах и теплообменных аппаратах считаются постоянными и не зависящими от режима работы;

2) потери эксергии, происходящие во вспомогательных трубопроводах (трубопроводах в ИТП) и трубопроводах системы отопления (внутренних трубопроводах) в результате теплообмена теплоносителя с окружающей средой, считаются постоянными, не зависящими от режима работы СО.

Приведенные затраты могут быть также представлены в виде суммы

$$Z = \Sigma S_{эн} + \Sigma S_{пост}. \quad (3)$$

Для рассматриваемого сооружения суммарные энергетические затраты $\Sigma S_{эн}$ составляют

$$\Sigma S_{эн} = e_{тр} \cdot Ц_{г} \cdot t_{рг}, \quad (4)$$

где $e_{тр}$ – эксергия, подводимая рабочим теплоносителем от котельной;

$Ц_{г}$ – цена потребляемого тепла;

$t_{рг}$ – расчетное годовое число часов работы системы отопления (за отопительный период).

Суммарные постоянные затраты $\Sigma S_{пост}$ включают затраты на нормативные отчисления от стоимости соответствующих элементов оборудования и ограждающих конструкций, входящих в каждую из зон термoeкономической модели (см. рис. 2). Для удобства расчетов эти затраты отнесены к одному часу работы СО. Они могут быть определены по выражению

$$z_i = ((E_{ni} + b_i) \cdot K_i + S_{0i}) / t_{рг}, \quad (5)$$

где z_i – удельные постоянные затраты на i -й элемент.

Как показано на рис.2, термоэкономическая модель представлена в виде ряда последовательно соединенных зон, что позволяет выразить эксергию, подводимую к каждой из зон, в виде функциональных зависимостей от потока эксергии, выходящего из рассматриваемой зоны, и воздействующих на эту зону оптимизируемых переменных:

$$\left. \begin{aligned} e_{\text{тр}} &= e_{\text{тр}}(e_{\text{тн}}, \Delta T_3, \theta_3), \\ z_{11} &= Z_{11}(e_{\text{тн}}, \Delta T_3, \theta_3), \\ z_{21} &= Z_{21}(e_{\text{в}}, \Delta T_{\text{в}}, \theta_{\text{оп}}), \\ z_{31} &= Z_{31}(e_{\text{Qп}}, k_{\text{огр}}, k_{\text{покр}}, k_{\text{ок}}), \\ z_{32} &= Z_{32}(e_{\text{Qп}}, k_{\text{огр}}, k_{\text{покр}}, k_{\text{ок}}), \\ z_{33} &= Z_{33}(e_{\text{Qп}}, k_{\text{огр}}, k_{\text{покр}}, k_{\text{ок}}). \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Уравнения, входящие в систему (6), относятся к разным зонам термоэкономической модели, связь между которыми осуществляется основным потоком эксергии. Поток эксергии, связывающий отдельные зоны, представлен в виде функциональной зависимости от выходящего из зоны потока эксергии и воздействующих на рассматриваемую зону оптимизируемых переменных:

$$e_{\text{тн}} = e_{\text{тн}}(e_{\text{в}}, \theta_{\text{оп}}, \Delta T_{\text{в}}); \quad e_{\text{в}} = e_{\text{в}}(e_{\text{Qп}}, k_{\text{огр}}, k_{\text{покр}}, k_{\text{ок}}). \quad (7)$$

В выражениях (6) и (7) e_j означает количество эксергии, а e_j – функцию, описывающую его изменение. Аналогичное замечание справедливо для z_j и Z_j .

Наличие связей между оптимизируемыми переменными заставляет рассматривать оптимизацию величины приведенных затрат как задачу оптимизации функции нескольких переменных при наличии ограничений типа равенств (уравнений связи), т.е. как задачу нахождения условного экстремума. Задачи, связанные с нахождением условного экстремума, могут быть решены с помощью метода неопределенных множителей Лагранжа. Применение данного метода сводит задачу нахождения условного экстремума исходной функции приведенных затрат (1) к задаче отыскания безусловного экстремума новой функции – лагранжиана.

При решении задачи статической оптимизации с учетом сделанных допущений и принятых обозначений величина приведенных затрат определяется по зависимости

$$Z = (\Pi_{\text{т}} \cdot e_{\text{тр}} + z_{11} + z_{21} + z_{31} + z_{32} + z_{33}) \cdot t_{\text{рг}}. \quad (8)$$

С учетом приведенных выше систем уравнений (6) и (7) выражение лагранжиана для рассматриваемой задачи оптимизации значения параметров функционирования СО совместно с параметрами тепловой защиты ограждающих конструкций защитного сооружения записывается следующим образом:

$$\begin{aligned} L = & \{ \Pi_{\text{т}} e_{\text{тр}}(e_{\text{тн}}, \Delta T_3, \theta_3) + Z_{11}(e_{\text{тн}}, \Delta T_3, \theta_3) + Z_{21}(e_{\text{в}}, \Delta T_{\text{в}}, \theta_{\text{оп}}) + \\ & + Z_{31}(e_{\text{Qп}}, k_{\text{огр}}, k_{\text{покр}}, k_{\text{ок}}) + Z_{32}(e_{\text{Qп}}, k_{\text{огр}}, k_{\text{покр}}, k_{\text{ок}}) + Z_{33}(e_{\text{Qп}}, k_{\text{огр}}, k_{\text{покр}}, k_{\text{ок}}) + \\ & + \lambda_{\text{тн}} [e_{\text{тн}}(e_{\text{в}}, \theta_{\text{оп}}, \Delta T_{\text{в}}) - e_{\text{тн}}] + \lambda_{\text{в}} [e_{\text{в}}(e_{\text{Qп}}, k_{\text{огр}}, k_{\text{покр}}, k_{\text{ок}}) - e_{\text{в}}] \} t_{\text{рг}}. \end{aligned} \quad (9)$$

При сравнении выражений для приведенных затрат (8) и для лагранжиана (9) с учетом зависимостей (6) и (7) можно убедиться в их полной тождественности.

Для нахождения условий экстремума должны быть взяты частные производные от функции Лагранжа (9) по всем переменным (как оптимизируемым, так и дополнительным, которые вводятся уравнениями связи) и приравнены к нулю:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial L}{\partial \theta_3} &= t_{\text{пр}} \frac{\partial}{\partial \theta_3} [\Pi_{\text{т}} e_{\text{тп}} + Z_{11}] = 0; \\
 \frac{\partial L}{\partial \theta_{\text{оп}}} &= t_{\text{пр}} \frac{\partial}{\partial \theta_{\text{оп}}} [Z_{21} + \lambda_{\text{тн}} e_{\text{тн}}] = 0; \\
 \frac{\partial L}{\partial \Delta T_3} &= t_{\text{пр}} \frac{\partial}{\partial \Delta T_3} [\Pi_{\text{т}} e_{\text{тп}} + Z_{11}] = 0; \\
 \frac{\partial L}{\partial \Delta T_{\text{в}}} &= t_{\text{пр}} \frac{\partial}{\partial \Delta T_{\text{в}}} [Z_{21} + \lambda_{\text{тн}} e_{\text{тн}}] = 0; \\
 \frac{\partial L}{\partial k_{\text{огр}}} &= t_{\text{пр}} \frac{\partial}{\partial k_{\text{огр}}} [Z_{31} + Z_{32} + Z_{33} + \lambda_{\text{в}} e_{\text{в}}] = 0; \\
 \frac{\partial L}{\partial k_{\text{покр}}} &= t_{\text{пр}} \frac{\partial}{\partial k_{\text{покр}}} [Z_{31} + Z_{32} + Z_{33} + \lambda_{\text{в}} e_{\text{в}}] = 0; \\
 \frac{\partial L}{\partial k_{\text{ок}}} &= t_{\text{пр}} \frac{\partial}{\partial k_{\text{ок}}} [Z_{31} + Z_{32} + Z_{33} + \lambda_{\text{в}} e_{\text{в}}] = 0; \\
 \frac{\partial L}{\partial e_{\text{тн}}} &= t_{\text{пр}} \frac{\partial}{\partial e_{\text{тн}}} [\Pi_{\text{т}} e_{\text{тп}} + Z_{11} - \lambda_{\text{тн}} e_{\text{тн}}] = 0; \\
 \frac{\partial L}{\partial e_{\text{в}}} &= t_{\text{пр}} \frac{\partial}{\partial e_{\text{в}}} [Z_{21} - \lambda_{\text{в}} e_{\text{в}}] = 0.
 \end{aligned} \tag{10}$$

Система уравнений (10) устанавливает связь между диссипацией энергии и затратами в каждой зоне термoeкономической модели при определенных значениях экономических показателей $\Pi_{\text{т}}$, $\lambda_{\text{тн}}$ и $\lambda_{\text{в}}$. Величины $\lambda_{\text{тн}}$ и $\lambda_{\text{в}}$ в общем случае выражают скорость изменения затрат при изменении количества эксергии или, другими словами, – цену единицы эксергии, выходящей из каждой зоны термoeкономической модели. Частные производные по потокам эксергии, связывающим отдельные зоны термoeкономической модели $e_{\text{тн}}$, $e_{\text{в}}$, позволяют вычислить значения множителей Лагранжа $\lambda_{\text{тн}}$ и $\lambda_{\text{в}}$. Если $t_{\text{пр}} \neq 0$, значит, равно нулю значение производной. Откуда получаем:

$$\lambda_{\text{тн}} = \frac{\partial}{\partial e_{\text{тн}}} [\Pi_{\text{т}} e_{\text{тп}} + Z_{11}], \quad \lambda_{\text{в}} = \frac{\partial}{\partial e_{\text{в}}} [Z_{21} + \lambda_{\text{тн}} e_{\text{тн}}]. \tag{11}$$

Выражения $e_{\text{тп}}$, Z_{11} являются линейными функциями $e_{\text{тн}}$, выражения $e_{\text{тн}}$, Z_{21} являются линейными функциями $e_{\text{в}}$, а выражения $e_{\text{в}}$, Z_{31} , Z_{32} , Z_{33} – линейными функциями $e_{\text{Qп}}$ [9]. Следовательно, оптимизируемая функция не имеет разрывов. Решение системы (10) с учетом уравнений (11) позволяет определить необходимые условия для нахождения минимума лагранжиана (9). Иными словами, величина приведенных затрат, вычисленная при независимых переменных, определенных из решения системы (10) с учетом (11), будет иметь минимальное значение.

Список используемых источников

1. Казаков В.Г., Луканин П.В., Смирнова О.С. Эксергетические методы оценки эффективности теплотехнологических установок: учеб. пособие. – СПб.: СПб ГТУРП, 2013. – 93 с.
2. Шилкопер С.М., Жадин С.И. Эксергетический анализ систем обеспечения микроклимата и энергосбережения // Строительство и архитектура. Сер.9. – 1982. – Вып.4. – С.18–27.
3. Андриященко А.И. Методика системных термодинамических исследований в теплоэнергетике. – Саратов: Саратовский государственный технический ун-т, 1996. – 72 с.
4. Новгородский Е.Е. Энергосберегающие установки теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха: учеб. пособие. – Ростов-на-Дону: РИСИ, 1991. – 124 с.
5. Авсюкевич Д.А. Термoeкономическая модель технических систем сооружений наземных комплексов // Сб. рефератов деп. рукописей. Вып. № 27, сер. Б. – М.: ЦВНИ МО РФ, 1994.
6. Оносовский В.В. Моделирование и оптимизация холодильных установок: учеб. пособие. – Л.: Изд-во Лен. ун-та, 1990.
7. Бродянский В.М., Фратшер В., Михалек К. Эксергетический метод и его приложения /под ред. В.М. Бродянского. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.
8. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: закон Российской Федерации от 23.11.2009 № 261-ФЗ // Российская газета. – 2009. – № 5050.
9. Термoeкономическая оптимизация системы теплоснабжения и теплозащиты сооружения вычислительного центра / Д.А. Авсюкевич, С.Н. Буяков, А.Н. Миргородский, А.В. Литвинов // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2015. – Вып. 649. – С. 6–15.

П.Ю. Бугайченко;
А.А. Никитин;
А.Е. Привалов,
кандидат техн. наук

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ОПЕРАТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

В статье изложены результаты оценивания временных характеристик применения космических систем дистанционного зондирования Земли по заданной области путем проведения имитационного моделирования. На базе полученных эмпирических результатов обоснованы рекомендации по повышению эффективности применения данных космических систем.

Ключевые слова: космическая система, дистанционное зондирование, центры приема информации.

ВВЕДЕНИЕ

К числу приоритетных направлений космической деятельности Российской Федерации относятся мониторинг окружающей среды и околоземного пространства, контроль чрезвычайных ситуаций и экологических бедствий, а также обеспечение федеральных органов исполнительной власти, органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации и органов местного самоуправления геофизической информацией от космических систем дистанционного зондирования Земли (КС ДЗЗ). При этом на оперативность применения КС ДЗЗ, характеризующейся интервалом времени от начала мониторинга до предоставления информации об объектах или явлениях потребителю, накладываются жесткие ограничения – от шести часов [1]. В качестве основных направлений повышения оперативности применения КС ДЗЗ можно выделить:

- 1) развертывание и наращивание состава орбитальных группировок космических аппаратов (ОГ КА) ДЗЗ;
- 2) совершенствование порядка получения и обмена информацией наземными центрами приема космической информации (ЦПИ);
- 3) улучшение тактико-технических характеристик КА ДЗЗ (повышение разрешающей способности, увеличение количества спектральных диапазонов наблюдения и т.д.).

Для реализации данных направлений актуальной является задача оценивания степени влияния каждого из них на длительность интервала времени от начала мониторинга до предоставления информации потребителю (далее – время обнаружения), а также разработки рекомендаций по повышению эффективности применения КС ДЗЗ по каждому из перечисленных направлений.

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ОЦЕНИВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ ДЗЗ

Решение поставленной задачи представляет собой эксперимент по оцениванию влияния на время обнаружения ряда факторов. К таким факторам относятся:

1. *Состав орбитальной группировки ДЗЗ ($N_{КА}$)*. Нижней границей изменения фактора являются четыре КА ДЗЗ, находящихся на орбите по состоянию на начало 2015 года, а именно «Ресурс-ДК1», «Канопус-В1», «Ресурс-П1» и «Ресурс-П2». В период 2016–2017 годов пла-

нируется вывести на орбиту еще четыре КА ДЗЗ – «Ресурс-ПЗ» и три «Канопус-В», что позволяет принять в качестве верхней границы изменения фактора восемь единиц КА [1].

2. *Интенсивность обработки информации в ЦПИ ($\lambda_{цпи}$)*. Она представляет собой основную характеристику работы ЦПИ. В настоящее время многие из этих центров имеют недостаточное техническое оснащение и оборудованы малоразмерными антеннами и устаревшими приемными станциями. Первичная обработка информации операторами на таком оборудовании занимает около 30 мин [1]. Поскольку необходимо учесть также время на прием информации и на доведение ее соответствующему должностному лицу, определим нижнее значение изменения фактора, равное 0,0004 1/с, что соответствует 41,6 мин. Верхнюю границу изменения факторов определим в соответствии с перспективами развития инфраструктуры ЦПИ и сокращения времени на обработку информации [2] в размере 0,0008 1/с, что соответствует 20,8 мин.

3. *Вероятность успешного выполнения разового цикла применения КА ($P_{обн}$)*. Она главным образом зависит от характеристик целевой аппаратуры КА ДЗЗ. Кроме того, на эту вероятность оказывают существенное влияние метеоусловия в районе, в котором осуществляется ДЗЗ, характеристики надежности бортовой и наземной аппаратуры и воздействие иных внешних факторов. Обоснование значений данной вероятности основывается на обработке больших массивов статистических данных по работе различных КА ДЗЗ и представляет собой отдельную научную задачу, не рассматриваемую в рамках данной статьи. Поэтому нижнюю границу изменения факторов зададим директивно в размере 0,7, а верхнюю (для практически идеальных условий применения КА) – в размере 0,99.

Целью проведения эксперимента являются построение модели зависимости времени обнаружения от указанных факторов, а также разработка рекомендаций по снижению данного времени.

В качестве средства проведения эксперимента выбран программный модуль оценивания эффективности применения средств ДЗЗ в заданной области, более подробно рассмотренный в работе [3]. Программный модуль разработан на основе математических моделей, представленных в работах [4, 5], он реализует имитационную модель, предназначенную для оценивания времени выполнения задачи ДЗЗ. В качестве исходных данных используются:

- 1) параметры пространственно-временной области (ПРВО), по которой осуществляется применение КС ДЗЗ (географическое положение и интервал времени применения КС ДЗЗ);
- 2) параметры орбитальной группировки КА:
 - параметры движения каждого КА (наклонение, относительный эксцентриситет, большая полуось орбиты, аргумент широты перигея, долгота и время выхода на экватор на начальном витке);
 - параметры целевой аппаратуры КА (угол полураствора бортовой аппаратуры, углы отклонения целевой аппаратуры по осям крена и тангажа, вероятность разового выполнения цикла применения целевой аппаратуры);
- 3) параметры, характеризующие появление подвижных объектов в заданной области (начальные широта и долгота, азимут и скорость движения);
- 4) параметры функционирования центра приема информации (географическое положение, ограничение на угол места радиотехнических средств приема информации и характеристики обработки полученной информации в центре приема).

Поскольку в состав параметров имитационной модели входят случайные факторы, время обнаружения объекта также является случайным. Следовательно, проведение эксперимента осуществляется в два этапа.

1. Определение закона распределения времени обнаружения.

2. Проведение полного факторного эксперимента и построение математических моделей зависимости параметров распределения времени обнаружения от исследуемых факторов.

ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗЫ О ЗАКОНЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ИЛИ ЯВЛЕНИЙ В ЗАДАННОЙ ПРВО

Гипотеза о виде и параметрах теоретического закона распределения базируется на эмпирических данных, полученных по результатам 500 прогонов имитационной модели. По гистограмме эмпирического распределения (рис. 1) и полученным оценкам параметров распределения, сделанным по выборке, была сформулирована гипотеза: H_0 – время обнаружения объектов или явлений в заданной ПРВО имеет распределение Пирсона типа V.

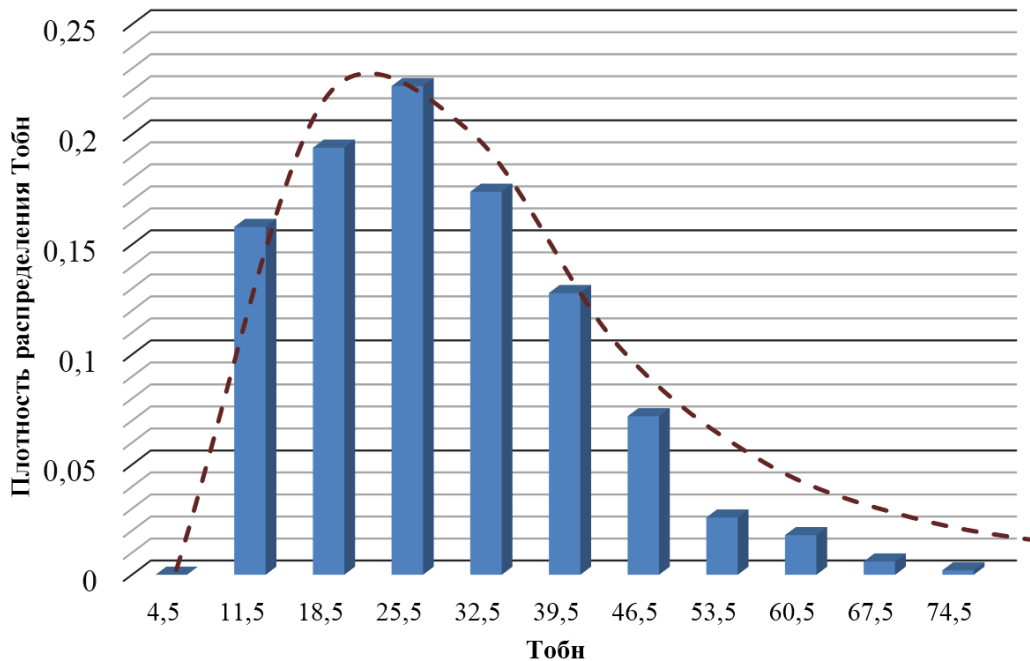


Рис. 1. Гистограмма плотности эмпирического распределения и плотность распределения предполагаемого теоретического закона

Плотность теоретического распределения рассчитывается по формуле [6]

$$f(t) = \begin{cases} \frac{t^{-(\alpha+1)} e^{-\frac{\beta}{t}}}{\beta^{-\alpha} \Gamma(\alpha)}, & t > 0 \\ 0, & t \leq 0 \end{cases} = \begin{cases} \frac{t^{-5,95} e^{-\frac{83,91}{t}}}{6,67 \cdot 10^{-9}}, & t > 0; \\ 0, & t \leq 0, \end{cases} \quad (1)$$

где α, β – параметры распределения Пирсона типа V;
 $\Gamma(\alpha)$ – гамма-функция.

Параметры распределения (1) рассчитаны исходя из соотношений:

$$M_B = \frac{\beta}{\alpha - 1} = 21,21; \quad (2)$$

$$D_B = \frac{\beta^2}{(\alpha - 1)^2(\alpha - 2)} = 152,24, \quad (3)$$

где M_B и D_B – выборочные математическое ожидание и дисперсия соответственно.

Для проверки статистической гипотезы применим χ^2 – критерий Пирсона, в качестве меры расхождения которого используется величина χ^2 , тогда

$$R = \chi^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i} = 2,61,$$

где R – обобщенный показатель, который имеет χ^2 распределение с $k = 7$ степенями свободы;

n_i – число значений эмпирического распределения в i -м интервале;

n – общее количество элементов вариационного ряда;

m – число интервалов гистограммы;

p_i – ожидаемая доля величин, которые попадают в i -й интервал $(a_{i-1}; a_i)$, при этом

$$p_i = \int_{a_{i-1}}^{a_i} \frac{t^{-5,95} e^{-\frac{83,91}{t}}}{6,67 \cdot 10^{-9}} dt.$$

Для доверительной вероятности $\gamma = 0,9$ критическое значение статистического критерия определяется как [6]

$$R_{кр} = 2,83.$$

Поскольку $R_{кр} > R$, гипотеза H_0 принимается.

Таким образом, с доверительной вероятностью 0,9 распределение времени обнаружения объектов или явлений в заданной ПРВО имеет закон Пирсона типа V.

ПЛАН ЭКСПЕРИМЕНТА И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Для построения модели зависимости времени обнаружения от исследуемых факторов проведем полный факторный эксперимент типа 2^k . Сущность эксперимента заключается в выборе двух уровней (как правило, минимального и максимального значения) каждого фактора и проведении прогонов имитационной модели для каждой из 2^k возможных комбинаций. Исходные данные для проведения эксперимента и кодированные значения факторов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные для эксперимента

Фактор	Мин. значение фактора (x_i^{\min})	Кодированное мин. значение фактора (\tilde{x}_i^{\min})	Макс. значение фактора (x_i^{\max})	Кодированное макс. значение фактора (\tilde{x}_i^{\max})
$N_{КА}$	4	-1	8	+1
$P_{обн}$	0,7	-1	0,99	+1
$\lambda_{цпи}$	0,0004	-1	0,0008	+1

План экспериментов и его результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2

План экспериментов

№ п/п	Факторы			$M(T_{обн})$	Параметры распределения Пирсона типа V	
	$N_{КА}$	$P_{обн}$	$\lambda_{цпи}$		α	β
1	-1	-1	-1	10,55817	5,14017	43,71261
2	-1	-1	1	13,46010	3,64176	35,55831
3	-1	1	-1	13,10994	4,78164	49,57711
4	-1	1	1	4,87173	3,53360	12,343

Окончание табл. 2

№ п/п	Факторы			$M(T_{\text{обн}})$	Параметры распределения Пирсона типа V	
	$N_{\text{КА}}$	$P_{\text{обн}}$	$\lambda_{\text{цпи}}$		α	β
5	1	-1	-1	21,21652	4,95679	83,9493
6	1	-1	1	5,07471	3,69995	13,70149
7	1	1	-1	27,26757	8,77720	212,0653
8	1	1	1	6,02463	4,17530	19,13

Для обработки результатов эксперимента типа 2^k используются линейные модели [6], в которых функция отклика имеет вид

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i, \quad (4)$$

где i – номер фактора $i = \overline{1, k}$;

b_0 – свободный член (центр эксперимента);

b_i – главный эффект фактора x_i .

Расчетные соотношения для коэффициентов уравнения (4) выглядят следующим образом:

$$b_0 = \frac{\sum_{j=1}^n y_j}{n}; \quad (5)$$

$$b_i = \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij} y_j}{n}, \quad (6)$$

где y_j – результат j -го эксперимента.

Главные эффекты факторов в модели показывают половину средней величины изменения в отклике при изменении фактора с минимального уровня на максимальный. Знак главного эффекта фактора отражает направление влияния соответствующего фактора на отклик, а его абсолютная величина – степень влияния фактора на отклик. Несмотря на то, что линейные модели имеют существенные погрешности, их применение вполне оправдано для определения направления влияния фактора на отклик и ранжирования факторов по степени влияния на отклик в области, ограниченной минимальным и максимальным значениями факторов. Следовательно, рассмотренная модель может быть применена для достижения цели эксперимента.

Используя соотношения (4)–(6) и результаты эксперимента, приведенные в табл. 2, получены следующие модели для параметров распределения времени обнаружения:

$$M(T_{\text{обн}}) = 12,698 + 2,198 \cdot N_{\text{КА}} + 0,121 \cdot P_{\text{обн}} - 5,34 \cdot \lambda_{\text{цпи}}; \quad (7)$$

$$\alpha = 4,838 + 0,564009 \cdot N_{\text{КА}} + 0,479 \cdot P_{\text{обн}} - 1,0756 \cdot \lambda_{\text{цпи}}; \quad (8)$$

$$\beta = 58,754 + 23,457 \cdot N_{\text{КА}} + 14,524 \cdot P_{\text{обн}} - 38,571 \cdot \lambda_{\text{цпи}}; \quad (9)$$

Проведенный анализ полученной модели показывает, что единственным фактором, уменьшающим время обнаружения, является интенсивность обработки информации на ЦПИ. Поскольку главный эффект фактора $\lambda_{\text{цпи}}$ максимален по абсолютному значению, то можно сделать вывод о том, что он оказывает наибольшее влияние на исследуемый показатель.

Кроме того, обращают на себя внимание положительные знаки главных эффектов факторов $N_{\text{КА}}$ и $P_{\text{обн}}$, которые говорят об увеличении времени обнаружения при увеличении коли-

чества КА ДЗЗ, входящих в КС, и вероятности успешного выполнения разового цикла применения КА. Анализ функционирования модели показал, что полученные результаты объясняются увеличением потока информации, поступающей на ЦПИ от орбитальной группировки. Для более детального исследования влияния факторов $N_{КА}$ и $P_{обн}$ были построены частные модели экспериментов для фиксированных значений $\lambda_{цпи}$:

$$M(T_{обн}) = 18,038 + 6,204 \cdot N_{КА} + 2,151 \cdot P_{обн} |_{\lambda_{цпи}=0,0004} ; \quad (10)$$

$$M(T_{обн}) = 7,36 - 1,81 \cdot N_{КА} - 1,71 \cdot P_{обн} |_{\lambda_{цпи}=0,0008} . \quad (11)$$

Анализ моделей (10) и (11) позволяет сделать вывод о том, что увеличение состава орбитальной группировки КА ДЗЗ и вероятности успешного выполнения разового цикла применения КА уменьшает время обнаружения только при высокой интенсивности обработки информации на ЦПИ.

Таким образом, повышение оперативности применения КС ДЗЗ целесообразно проводить в определенной последовательности:

- 1) совершенствование порядка получения и обмена информацией наземными ЦПИ;
- 2) развертывание и наращивание состава ОГ КА ДЗЗ;
- 3) улучшение тактико-технических характеристик КА ДЗЗ (повышением разрешающей способности, увеличением количества спектральных диапазонов наблюдения и т.д.).

Выполнение первого шага позволяет для текущей модельной ситуации снизить математическое ожидание времени обнаружения на 5,34 ч (42%). Последующее наращивание ОГ КА позволит снизить математическое ожидание еще на 1,81 ч (24,6%), а улучшение тактико-технических характеристик КА ДЗЗ – еще на 1,71 ч (23,2%). При этом наращивание ОГ КА и улучшение тактико-технических характеристик дают положительный эффект только в случае совершенствования порядка получения и обмена информацией наземными ЦПИ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренный в статье эксперимент по моделированию применения средств ДЗЗ в заданной области показал, что время обнаружения объектов и явлений в заданной ПРВО имеет распределение Пирсона типа V. По результатам эксперимента были построены линейные модели зависимости параметров распределения времени обнаружения от изменения состава КС, порядка приема и обработки информации в ЦПИ, а также изменения тактико-технических характеристик КА, которые могут быть использованы для аналитического расчета вероятности обнаружения объектов и явлений в заданной ПРВО. Результаты эксперимента позволили обосновать рекомендации по повышению оперативности применения КС ДЗЗ.

Список используемых источников

1. Заичко В.А. Проблемные вопросы целевого применения космических средств ДЗЗ, приема, обработки, хранения и распространения данных ДЗЗ из космоса // XIII Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 16–20 ноября 2015 года. – М., ИКИ РАН. – URL: http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/files/presentation/2015/plenar/Zaichko.pdf (дата обращения: 30.12.2015).

2. Носенко Ю.И., Лошкарев П.А. Единая территориально-распределенная информационная система дистанционного зондирования Земли – проблемы, решения, перспективы. Ч.1 // Геоматика. – 2010. – №3(8). – С.35–43.

3. Программный модуль оценивания эффективности применения средств дистанционного зондирования Земли в заданной области / Е.П. Минаков, А.Е. Привалов, П.Ю. Бугайченко, А.А. Никитин // Материалы конференции военно-научного общества Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского / под общ. ред. Ю. В. Кулешова. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2015. – С. 238–242.

4. Минаков Е.П., Бугайченко П.Ю., Тюрин Р.М. Показатели эффективности и подходы к визуализации результатов комплексного применения авиационных и орбитальных средств дистанционного зондирования // Академические Жуковские чтения. Безопасность полетов. Актуальные вопросы подготовки и ведения операций (боевых действий) в войнах и вооруженных конфликтах: сб. науч. ст. по материалам Всероссийской НПК (20–21 ноября 2013 года). – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2014. – С.170–176.

5. Минаков Е.П., Бугайченко П.Ю. Модели оценивания эффективности комплексного применения средств информационного обеспечения по вероятностной мере // Перспективы развития РЛС дальнего обнаружения и интегрированных систем и комплексов информационного обеспечения Воздушно-космической обороны // II Всероссийская научно-техн. конф.: РТИ Системы ВКО-2014: сб. материалов. – М.: Радиотехника, 2014. – С.253–265.

6. Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование. – 3-е изд. – СПб.: Питер, 2004. – 847 с.

И.Г. Голованских,
кандидат военных наук;
О.Э. Каминский,
кандидат военных наук, доцент;
А.М. Петухов,
кандидат техн. наук

ОЦЕНИВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ НАБЛЮДЕНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДИНАМИЧНО РАЗВИВАЮЩИХСЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Представлены выражения для вероятности выполнения задачи дистанционного зондирования Земли в районе эпицентра чрезвычайной ситуации космическими аппаратами дистанционного зондирования Земли. Рассмотрены результаты исследований, проведенных с их использованием.

Ключевые слова: космические системы, дистанционное зондирование Земли, оценивание возможностей.

Космические системы (КС) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в настоящее время активно применяются в системах мониторинга земной поверхности. Во многих отраслях жизнедеятельности системы мониторинга являются международными [1], что вызвано глобальным характером их возможностей. Требования к качеству решаемых КА ДЗЗ целевых задач, срокам их выполнения постоянно развиваются. Наряду с требованиями к разрешающей способности, низкому энергопотреблению, большому ресурсу космических средств, к КС ДЗЗ формируется такое актуальное требование, как возможность наблюдения динамично развивающихся чрезвычайных ситуаций (ЧС). При возникновении ЧС заявки на получение данных ДЗЗ, представленные Министерством чрезвычайных ситуаций Российской Федерации и Министерством природных ресурсов Российской Федерации, выполняются в приоритетном порядке [2, 3]. Зачастую обстановка в районах ЧС изменяется динамично, что сопровождается значимым смещением эпицентра ЧС (ЭЧС) относительно его начального положения. Данное обстоятельство обуславливает актуальность дистанционного зондирования района со смещающимся ЭЧС, который для этого должен находиться в полосе обзора КА ДЗЗ на момент его пролета. Так, например, при верховом беглом пожаре, который возникает при сильном ветре, огонь распространяется по кронам деревьев, опережая фронт низового пожара. Во время «скачков огня» пожар распространяется по кронам со скоростью до 20–30 км/ч [4]. Следовательно, наблюдение динамично развивающихся ЧС является актуальной задачей мониторинга ЧС. При этом существуют различные варианты решения подобных задач, в том числе – предполагающие маневрирование КА [5]. Альтернативой совокупности таких решений является размещение перебазируемых командно-измерительных систем (КИС) вблизи трассы КА ДЗЗ до момента пересечения ею района ЧС. Причем, по специальной методике определяются районы их возможного расположения. В соответствии с такой методикой перед выбором районов расположения перебазируемых КИС из множества их вариантов осуществляется исследование возможности выполнения КС задач наблюдения динамично развивающихся ЧС для всей совокупности вариантов.

Схема процесса выполнения задач ДЗЗ в районе ЭЧС представляется в виде замкнутой структуры (рис. 1).

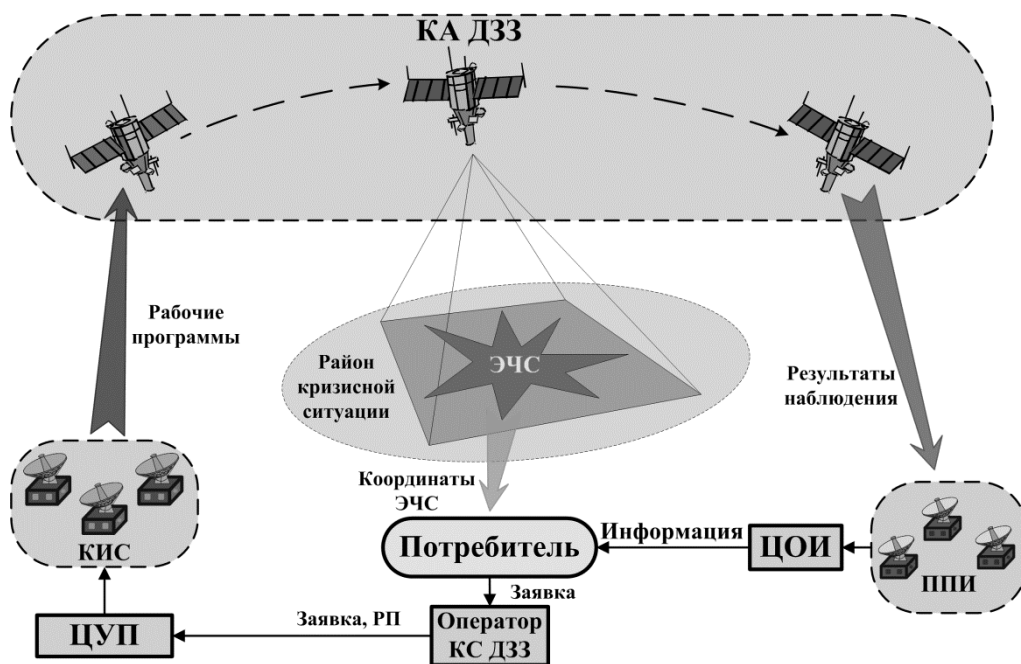


Рис. 1. Схема процесса выполнения задач наблюдения ЭЧС КС ДЗЗ

Основными этапами указанного процесса являются:

1. Получение потребителем координат ЭЧС и размеров района ЧС.
2. Формирование потребителем заявки на выполнение задач ДЗЗ.
3. Разработка оператором КС ДЗЗ рабочей программы для специальной аппаратуры КА (РП СА) и заявки на выполнение задач ДЗЗ, а также передача их в центр управления полетами (ЦУП).
4. Определение программы сеанса управления и времени его проведения для передачи РП СА на борт КА, передача этих данных из ЦУП в КИС.
5. Подготовка к сеансу управления.
6. Передача КИС рабочей программы на борт КА.
7. Движение КА по орбите от точки закладки РП до точки ее выполнения.
8. Выполнение КА ДЗЗ рабочей программы СА.
9. Движение КА по орбите от точки выполнения РП СА до начала зоны радиовидимости пункта приема информации (ППИ).
10. Передача результатов ДЗЗ с КА на территориально распределенные ППИ.
11. Обработка результатов ДЗЗ в ЦОИ, передача информации потребителю в соответствии с поданной оператору КС ДЗЗ заявкой.

Возможности КС по дистанционному зондированию районов динамичных ЧС зависят от суммарной длительности первых восьми этапов. Для удобства вводится термин «предварительный интервал» (T_o). Его длительность вычисляется по формуле

$$T_o = \sum_{\eta=1}^8 T_{[\eta]} \text{ [ч]}, \quad (1)$$

где η – номер этапа в соответствии с принятой выше нумерацией;

$T_{[\eta]}$ – длительность η -го этапа.

Кроме того, вводятся обозначения: V_o – скорость ЭЧС, $L_{КА}$ – ширина полосы захвата КА, d – размер участка съемки (сторона квадрата). Предполагается, что координаты и направленные движения ЭЧС на момент начала первого этапа известны, внешние факторы на решение задач каждого этапа влияния не оказывают, а распределение случайных величин V_o и T_o подчинено нормальному закону.

Взаимосвязь перечисленных величин поясняется на схеме (рис. 2). На оси времени в верхней части рисунка обозначена длительность подготовительного этапа. Ширина полосы захвата $L_{КА}$ ограничивает диапазон допустимых смещений включающего ЭЧС участка съемки размером d .

Выполнение задачи ДЗЗ в районе ЭЧС в рамках заданного участка (рис. 2) возможно в том случае, если выполняется условие

$$\varphi(V_o, T_o) = L_{КА} - d - V_o T_o \geq 0. \quad (2)$$

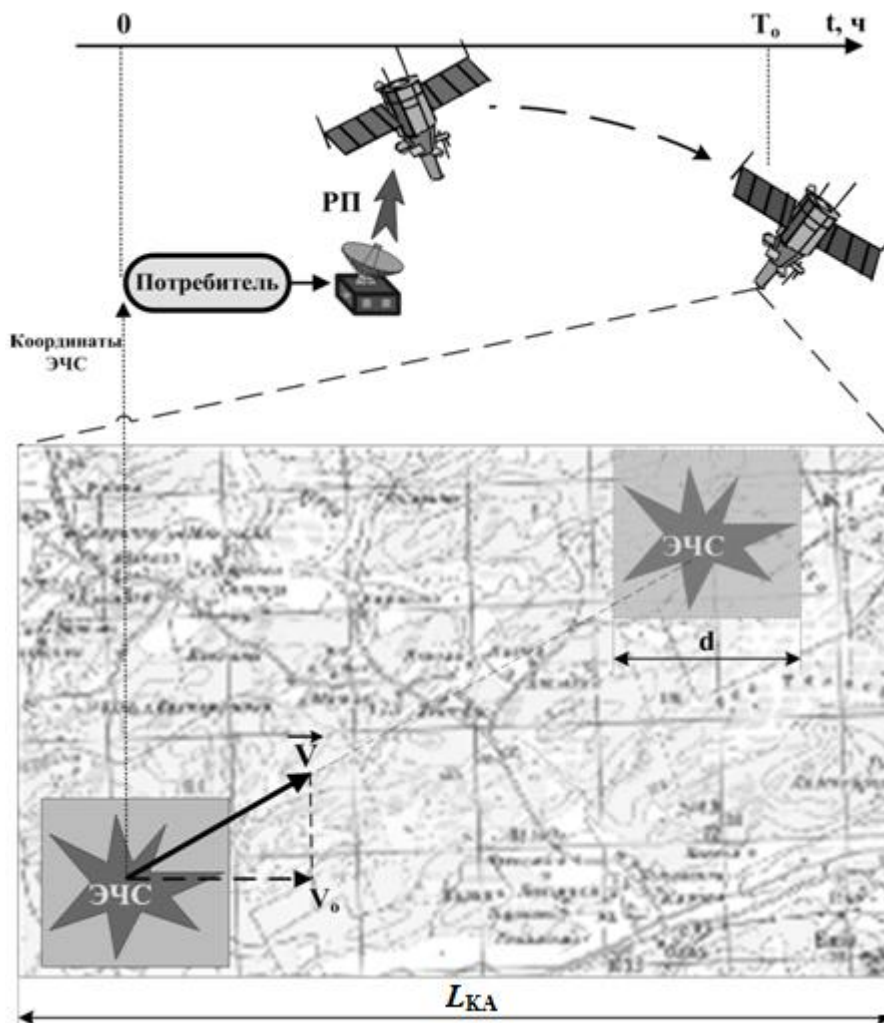


Рис. 2. Схема взаимосвязи величин, используемых в методике

Функция $\varphi(V_o, T_o)$ представляет собой поверхность (рис. 3), а выполнение условия (2) предполагает ограничение этой поверхности положительными квадрантами координатных плоскостей. Вероятность выполнения задачи ДЗЗ в районе ЭЧС будет равна вероятности выполнения условия (2). В целях упрощения вычислений вероятность выполнения задачи ДЗЗ в районе ЭЧС определим через вероятность обратного события – невыполнения задачи ДЗЗ, которая будет равна вероятности невыполнения условия (2). В соответствии с положениями теории вероятности [6] плотность распределения вероятности невыполнения задачи ДЗЗ будет определяться выражением

$$f_{\varphi(V_o, T_o)}(V_o, T_o) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{T_o V_o}} e^{-\frac{(T_o V_o - L_{КА} + d)^2}{2\sigma_{T_o V_o}^2}}.$$

После проведения необходимых преобразований выражение для вероятности выполнения задачи ДЗЗ в районе ЭЧС при заданных величинах $L_{КА}$ и d , а также закладке РП СА командно-измерительной системой, ближайшей к району ЧС, представляем в виде

$$P_H(T_o, V_o) \Big|_{\substack{d=const \\ L_{КА}=const}} = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left(\sigma_{T_o}^2 (\sigma_{V_o}^2 + M_{V_o}) + M_{T_o} \sigma_{V_o}^2 \right)^{-0.5} \int_{-\infty}^{V_o} \int_{-\infty}^{T_o} e^{-\frac{(T_o V_o - L_{КА} + d)^2}{2(\sigma_{T_o}^2 (\sigma_{V_o}^2 + M_{V_o}) + M_{T_o} \sigma_{V_o}^2)}} dV_o dT_o, \quad (4)$$

где $\sigma_{V_o}, \sigma_{T_o}$ – средние квадратические отклонения;

M_{V_o}, M_{T_o} – математические ожидания соответственно V_o и T_o .

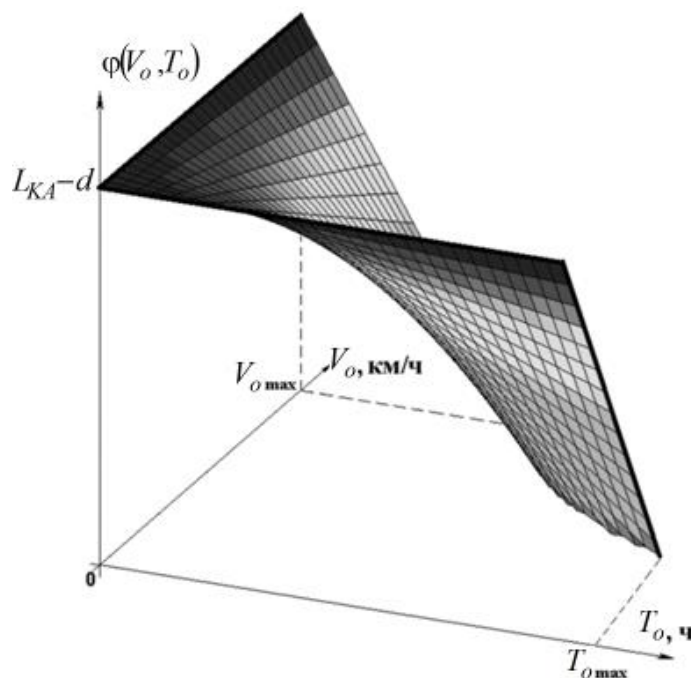


Рис. 3. Поверхность, образуемая функцией $\varphi(V_o, T_o)$, ограниченная положительными квадратами координатных плоскостей

Если один из случайных параметров V_o или T_o при проведении расчетов принять как величину неслучайную, тогда выражение (4) упрощается. После проведения преобразований выражение для вероятности выполнения задачи ДЗЗ в районе ЭЧС вырождается в два частных случая:

$$P_H(T_o) \Big|_{\substack{d=const \\ V_o=const \\ L_{КА}=const}} = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{T_o}} \int_{-\infty}^{T_o} e^{-\frac{\left(\frac{T_o - L_{КА} - d}{V_o}\right)^2}{2\sigma_{T_o}^2}} dT_o, \quad (5)$$

$$P_H(V_o) \Big|_{\substack{d=const \\ T_o=const \\ L_{КА}=const}} = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{V_o}} \int_{-\infty}^{V_o} e^{-\frac{\left(\frac{V_o - L_{КА} - d}{T_o}\right)^2}{2\sigma_{V_o}^2}} dV_o. \quad (6)$$

Рассмотрим оценивание возможности выполнения задачи ДЗЗ в районе ЭЧС. Вероятность выполнения задачи ДЗЗ в районе ЭЧС для каждого варианта размещения перебазированной КИС является характеристикой возможности выполнения целевых задач космической системой при выбранном взаимном пространственном расположении отдельных элементов наземного комплекса управления. Проведение исследований функции распределения вероятности выполнения задачи ДЗЗ в районе ЭЧС целесообразно осуществлять для большей наглядности в двумерной системе координат.

Наибольший интерес будут представлять зависимости вероятности выполнения задачи ДЗЗ в районе ЭЧС следующих видов:

- зависимость от длительности подготовительного этапа при различных значениях скорости движения ЭЧС и заданных величинах ширины полосы захвата и размеров участка съемки;
- зависимость от длительности подготовительного этапа при различных значениях ширины полосы захвата и заданных величинах скорости движения ЭЧС и размеров участка съемки;
- зависимость от скорости движения ЭЧС при различных значениях длительности подготовительного этапа и заданных величинах ширины полосы захвата и размеров участка съемки.

Для исследования зависимости вероятности выполнения задачи ДЗЗ в районе ЭЧС от длительности подготовительного этапа при различных значениях скорости движения ЭЧС используем выражение (5). На рис. 3 показаны зависимости вероятности выполнения задачи ДЗЗ в районе ЭЧС $P_n(T_o)$ для математических ожиданий скорости движения ЭЧС со значениями 10, 20, 30, 40 и 50 км/ч при ширине полосы захвата КА ДЗЗ, равной 40 км.

Анализ графиков (рис. 4) показывает, что при заданной вероятности $P_n(T_o)$ с увеличением скорости перемещения ЭЧС для выполнения целевой задачи необходимо значительное сокращение длительности подготовительного этапа. Например, для $P_n(T_o) = 0,87$ при скорости перемещения ЭЧС $V_o = 10$ км/ч длительность подготовительного этапа (T_o) должна составлять не более 3 ч, а при $V_o = 30$ км/ч – не более 1 ч.

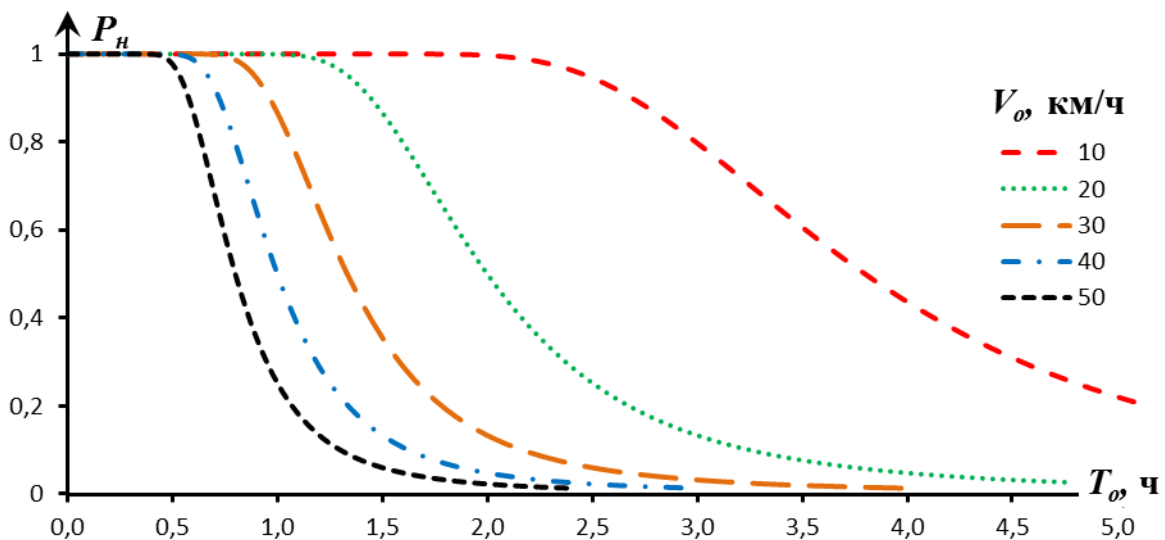


Рис. 4. Графики зависимостей вероятности выполнения задачи ДЗЗ в районе ЭЧС от длительности предварительного интервала $P_n(T_o)$ для различных скоростей перемещения ЭЧС (V_o) при $L_{КА} = 40$ км, $d = 2$ км

Исследование зависимости вероятности выполнения задачи ДЗЗ в районе ЭЧС от длительности подготовительного этапа при различных значениях ширины полосы захвата произведем также по формуле (5). Графики указанных зависимостей для полос захвата КА ДЗЗ со значениями 10, 20, <...> и 100 км при математическом ожидании скорости перемещения ЭЧС, равном 30 км/ч, и размерах участка съемки 2 км представлены на рис. 4.

Как видно из графиков (рис. 5), при заданной вероятности $P_n(T_o)$ увеличение ширины полосы захвата КА ДЗЗ позволяет увеличить длительность подготовительного этапа T_o . Например, для $P_n(T_o) = 0,87$ при $L_{КА} = 100$ км длительность подготовительного этапа составляет 2,5 ч, в то время как для $L_{КА} = 40$ км – не более 1 ч.

Исследование зависимости вероятности выполнения задачи ДЗЗ в районе ЭЧС от скорости движения ЭЧС при различных значениях длительности подготовительного этапа и заданных величинах ширины полосы захвата и размеров участка съемки производится с использованием выражения (6).

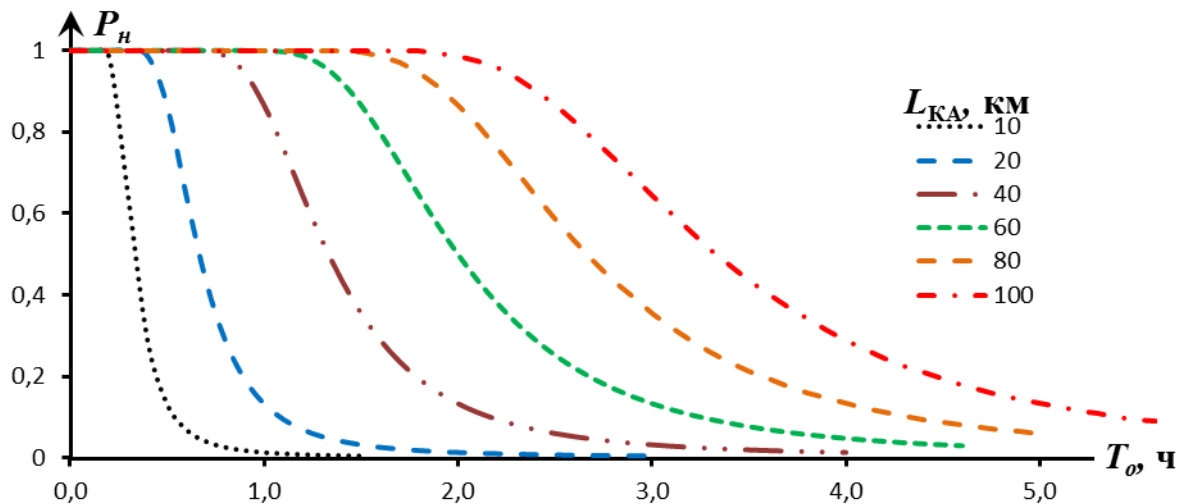


Рис. 5. Графики зависимостей вероятности выполнения задачи ДЗЗ в районе ЭЧС от длительности предварительного интервала $P_n(T_o)$ для разной ширины полосы захвата КА ($L_{КА}$) при $V_o=30$ км/ч, $d=2$ км

Графики зависимостей вероятности выполнения задачи ДЗЗ в районе ЭЧС для длительностей подготовительного этапа 50, 70, 90 и 180 мин при ширине полосы захвата 20 км и размеров участка съемки 2 км показаны на рис. 6.

Как видно из графиков (рис. 6), при заданной вероятности $P_n(T_o)$ выполнения целевой задачи в случае увеличения скорости ЭЧС требуется уменьшить длительность подготовительного этапа T_o . Например, для $P_n(T_o) = 0,9$, $L_{КА} = 40$ км, $d = 2$ км длительность подготовительного этапа при $V_o = 12$ км/ч должна составлять не более 3 ч (180 мин), в то время как при $V_o = 30$ км/ч — не более 70 мин.

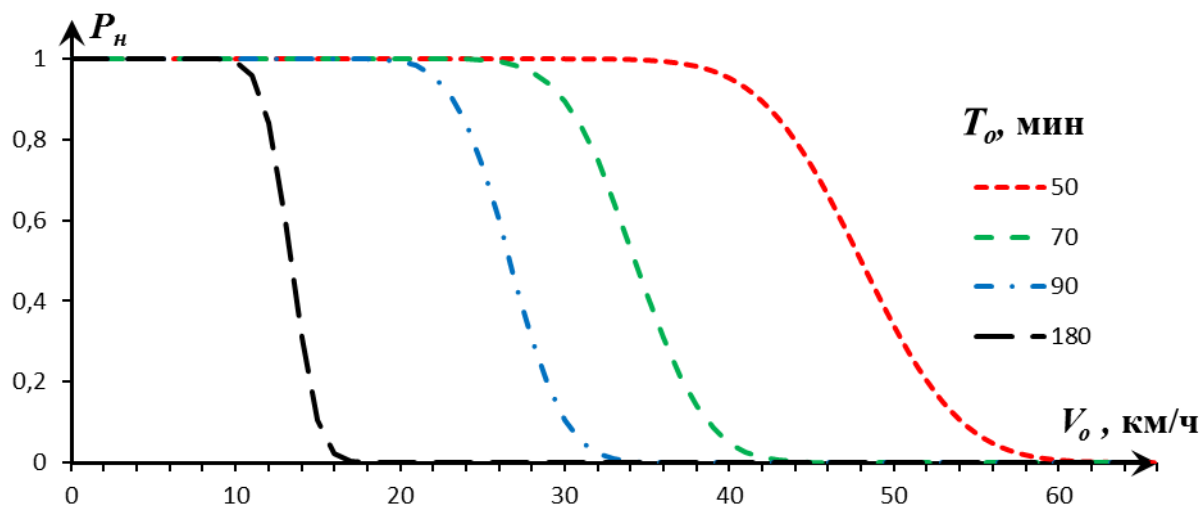


Рис. 6. Графики зависимостей вероятности выполнения задачи ДЗЗ в районе ЭЧС от скорости движения эпицентра $P_n(V_o)$ при различных значениях длительности подготовительного этапа (T_o) при $L_{КА} = 40$ км, $d = 2$ км

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований определено, что при заданных значениях вероятности выполнения задачи ДЗЗ в районе ЭЧС с увеличением скорости перемещения ЭЧС для выполнения целевой задачи необходимо значительное сокращение длительности подготовительного этапа при фиксированной ширине полосы захвата КА ДЗЗ. При условии минимизации затрат времени на выполнение задач этапов, с первого по шестой, сократить длительность подготовительного этапа возможно лишь путем изменения расположения перебазируемой КИС. Она должна располагаться как можно ближе по трассе КА к району ЧС. Увеличение ширины полосы захвата КА ДЗЗ позволяет при заданной вероятности выполнения задачи ДЗЗ в районе ЭЧС увеличить максимальную длительность подготовительного этапа T_0 , но для КА ДЗЗ, функционирующих на орбите, изменение этих технических характеристик возможно лишь при условии ухудшения разрешающей способности в ограниченных пределах.

Список используемых источников

1. Закон Российской Федерации от 20 августа 1993 г. № 5663-1. О космической деятельности // Российская газета. – 1993. – 6 окт.
2. Постановление Правительства РФ от 28 мая 2007 г. N 326. О порядке получения, использования и предоставления геопространственной информации // Собрание законодательства РФ. – 2007. – № 31.
3. Постановление Правительства РФ от 10 июня 2005 г. № 370. Об утверждении Положения о планировании космических съемок, приеме, обработке и распространении данных дистанционного зондирования Земли высокого линейного разрешения на местности с космических аппаратов типа "Ресурс-ДК" // Собрание законодательства РФ. – 2005. – № 38.
4. *Воробьев Ю.Л.* Предупреждение и ликвидация ЧС. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 368 с.
5. Маневрирование космическим аппаратом с целью улучшения характеристик наблюдения района поверхности Земли / Н.Ф. Аверкиев, С.А. Власов, В.В. Салов, В.В. Киселев // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2015. – Т.58, № 10. – С. 748–803.
6. *Вентцель Е.С.* Теория вероятности: учебник для вузов. – 6-е изд. – М.: Высшая школа, 1999. – 576 с.

Г.И. Козырев,
доктор техн. наук, профессор;
А.И. Лоскутов,
доктор техн. наук, доцент;
А.А. Хаматов

КОНЕЧНО-АВТОМАТНАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ АВТОНОМНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

В рамках современных требований к автономности космических аппаратов обоснована необходимость совершенствования системы контроля технического состояния бортовой аппаратуры на основе применения конечно-автоматных моделей и нечеткой логики. Предложена математическая постановка задачи синтеза конечно-автоматной модели бортовой аппаратуры космических аппаратов для последующего применения алгоритмов контроля технического состояния на основе нечеткой логики. Синтезирована конечно-автоматная модель функционирования передатчика бортовой информационно-телеметрической системы БР-91Ц для контроля технического состояния на основе нечеткой логики.

Ключевые слова: конечный автомат, контроль технического состояния, нечеткая логика, достоверность контроля.

ВВЕДЕНИЕ

Автономность космического аппарата (КА) – это комплексное свойство, характеризующее способность КА функционировать в течение определенного интервала времени с заданным уровнем эффективности без связи с наземным комплексом управления (НКУ) или другими орбитальными средствами. Степень автономности КА можно определить с помощью количественной оценки выполняемых автономно функций к общему количеству функций, среди которых основную роль играет контроль технического состояния (ТС) бортовой аппаратуры (БА) КА [1].

Проведенный анализ отказов изделий ракетно-космической техники (РКТ), выявленных за последние несколько лет на этапе целевого функционирования, показывает, что используемые методы контроля ТС не позволяют с требуемой достоверностью определить ТС. Причины отказов удается установить не более чем в 75–80% случаев [2, 3]. Данное обстоятельство в целом приводит к повышению стоимости эксплуатации БА и снижает эффективность применения КА в целом.

Применительно к целевому функционированию БА КА использование управляющих воздействий (с учетом времени их выполнения) и возможность дискретизации состояний БА КА по значениям выходных контролируемых параметров (КП) позволяют рассматривать БА КА как объект с дискретным входом X (множество команд управления) и дискретным выходом Y (множество КП), функционирующий в дискретные моменты. Из предположения о том, что БА КА, как искусственно созданный объект, не может иметь бесконечного разнообразия КП, следует, что множество состояний Q БА КА является конечным. Таким образом, можно рассматривать БА КА как дискретную динамическую систему. Так как множества X , Y , Q являются конечными, то в дальнейшем представим модель функционирования БА КА в виде конечного автомата.

В настоящее время для контроля ТС БА КА часто используется алгоритм, основанный на опросе датчиков и последующем сравнении полученных значений КП с допусками. Такой

подход часто приводит к необходимости принятия решения о ТС БА КА в условиях недостатка необходимой информации (неопределенности).

Одним из возможных вариантов решения проблемы неопределенности может стать применение нечеткой логики. Каждому состоянию БА КА в зависимости от того, насколько БА правильно функционирует, исправна она или работоспособна, можно присвоить значение некоторой лингвистической (нечеткой) переменной. Аналогично любое значение каждого КП в зависимости от близости к допуску можно оценить лингвистически. Причем конкретный набор значений КП должен соответствовать только одному ТС.

Исходя из вышеизложенного, процесс совершенствования контроля ТС БА КА будем решать путем разработки методов и средств автономного контроля на основе применения конечно-автоматных моделей (КАМ) и нечеткой логики [4, 5].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ СИНТЕЗА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Предлагается следующая математическая постановка задачи.

Дано:

C – реальная бортовая система (БС) из состава БА КА, например передатчик бортовой информационно-телеметрической системы (БИТС) БР-91Ц;

$\Delta_{\text{кон}}(C)$ – алгоритм контроля ТС БС C ;

$D(\Delta_{\text{кон}}(C))$ – методическая достоверность контроля ТС БС C с помощью алгоритма $\Delta_{\text{кон}}(C)$.

Требуется: разработать конечно-автоматную модель $A(C)$, описывающую процесс функционирования БС C вида

$$\begin{cases} A(C) = \langle T, X, Y, Q, f, \varphi \rangle \\ D(\Delta_{\text{нл}}(C)) > D(\Delta_{\text{кон}}(C)), \end{cases} \quad (1)$$

где

T – множество моментов времени t , в которые контролируется БС C ;

X – множество входных воздействий, $X = X_K \cup X_Y$, причем X_K – множество штатных команд, подаваемых на БС C , $X_K = \langle x_{K1}, x_{K2}, \dots, x_{KB} \rangle$, X_Y – множество условных команд – случайных воздействий внешних или внутренних неконтролируемых факторов, $X_Y = \langle x_{Y1}, x_{Y2}, \dots, x_{YE} \rangle$;

Y – множество контролируемых параметров, $Y = Y_{\text{фп}} \cup Y_{\text{сп}} \cup Y_{\text{тс}}$, причем $Y_{\text{фп}}$ – множество контролируемых параметров функционального типа (например, температура, мощность и др.), $Y_{\text{фп}} = \langle y_{\text{фп}1}, y_{\text{фп}2}, \dots, y_{\text{фп}G} \rangle$, $Y_{\text{сп}}$ – множество контролируемых параметров сигнального и цифрового типа (например, включение аппаратуры, состав аппаратуры и др.), $Y_{\text{сп}} = \langle y_{\text{сп}1}, y_{\text{сп}2}, \dots, y_{\text{сп}H} \rangle$, $Y_{\text{тс}}$ – множество контролируемых параметров, характеризующих техническое состояние БА (например, исправность и др.), $Y_{\text{тс}} = \langle y_{\text{тс}1}, y_{\text{тс}2}, \dots, y_{\text{тс}O} \rangle$;

Q – множество состояний БС, $Q = Q_{\text{шт}} \cup Q_{\text{ншт}}$, причем $Q_{\text{шт}}$ – множество штатных состояний БС, $Q_{\text{шт}} = \langle q_{\text{шт}1}, q_{\text{шт}2}, \dots, q_{\text{шт}H} \rangle$, $Q_{\text{ншт}}$ – множество нештатных состояний, $Q_{\text{ншт}} = \langle q_{\text{ншт}1}, q_{\text{ншт}2}, \dots, q_{\text{ншт}Z} \rangle$;

f – функция переходов, $f: Q \times X \rightarrow Q$ (возможные виды переходов: $Q_{\text{шт}} \times X_K \rightarrow Q_{\text{шт}}$; $Q_{\text{шт}} \times X_Y \rightarrow Q_{\text{ншт}}$; $Q_{\text{ншт}} \times X_K \rightarrow Q$; $Q_{\text{ншт}} \times X_K \rightarrow Q_{\text{ншт}}$; $Q_{\text{ншт}} \times X_Y \rightarrow Q_{\text{ншт}}$);

φ – функция выходов, $\varphi: (Q \rightarrow Y_{\text{сп}}) \cup (Q \rightarrow Y_{\text{тс}} \rightarrow Y_{\text{фп}})$;

$\Delta_{\text{нл}}(C)$ – алгоритм контроля ТС БС C с использованием нечеткой логики;

$D(\Delta_{\text{нл}}(C))$ – методическая достоверность контроля ТС БС C с помощью алгоритма $\Delta_{\text{нл}}(C)$.

Множеству $Y_{\text{фп}}$ соответствует $Y_{\text{фп}}^*$ – множество лингвистических переменных, характеризующих показания КП на предмет соответствия допускам, указанным в эксплуатационно-технической документации (ЭТД), $Y_{\text{фп}}^* = \langle y_{\text{фп}1}^*; y_{\text{фп}2}^*; \dots y_{\text{фп}G}^* \rangle$, $y_{\text{фп}g}^* = (R_g, Y_g, M_g)$, где $R_g = \langle r_{g1}; r_{g2}; \dots r_{gL} \rangle$ – множество термов лингвистической переменной (например, норма, почти норма, ненорма и др.); Y_g – область определения показаний КП $y_{\text{фп}g}$; M_g – множество функций принадлежности термов лингвистической переменной, $M_g = \langle \mu_{g1}; \mu_{g2}; \dots \mu_{gL} \rangle$.

Множеству $Y_{\text{тс}}$ соответствует $Y_{\text{тс}}^*$ – множество лингвистических переменных, характеризующих показания КП $Y_{\text{тс}}$ на предмет соответствия штатным техническим состояниям, $Y_{\text{тс}}^* = \langle y_{\text{тс}1}^*; y_{\text{тс}2}^*; \dots y_{\text{тс}O}^* \rangle$, $y_{\text{тс}o}^* = (R_o, Y_o, M_o)$, где R_o – множество термов лингвистической переменной (например, исправно, почти работоспособно, достаточно исправно, неработоспособно и др.), $R_o = \langle r_{o1}; r_{o2}; \dots r_{oP} \rangle$; Y_o – область определения показаний контролируемого параметра $y_{\text{тс}o}$; M_o – множество функций принадлежности термов лингвистической переменной, $M_o = \langle \mu_{o1}; \mu_{o2}; \dots \mu_{oP} \rangle$.

ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА КОНЕЧНО-АВТОМАТНОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА С УЧЕТОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Контроль ТС проводится по текущим значениям $Y_{\text{тс}}$. Вычисление значений $Y_{\text{тс}}$ осуществляется по алгоритму $\Delta_{\text{нл}}$ на основе результатов измерений $Y_{\text{фп}}$.

В целях повышения достоверности предполагается проведение контроля ТС в два основных этапа: на первом этапе – функциональный контроль при работе в штатных режимах, на втором этапе (при выявлении отклонения) – тестовый контроль. Глубина, объемы и продолжительность тестового контроля зависят от значений $Y_{\text{тс}}$, определенных на первом этапе. Возможные варианты тестовых программ приведены в табл. 1 [6].

Таблица 1

Варианты тестовых программ

Номер тестовой программы	Объем, количество команд	Глубина контроля	Продолжительность, секунд
1	1–3	Проверка состояний одной подсистемы БА	5–15
2	3–10	Проверка состояний нескольких подсистем БА	15–50
3	10–100	Проверка состояний всех подсистем БА	50–500

Значения $Y_{\text{тс}}$, определенные после второго этапа, влияют на глубину, объемы и продолжительность восстановительных операций. Возможные варианты восстановительных операций приведены в табл. 2 [6].

Таблица 2

Варианты восстановительных операций

Номер восстановительной операции	Объем, количество команд	Операция восстановления и ее глубина	Продолжительность, секунд
1	1–2	Перезагрузка одной подсистемы БА	5–10
2	1–2	Включение резервного комплекта одной подсистемы БА	5–10
3	100–1000	Структурно-функциональный анализ всех подсистем БА	500–5000

Таким образом, при синтезе КАМ БС С необходимо учесть следующие особенности:

1. Дополнительные режимы работы БС С: тестирования и восстановления.
2. Дополнительные штатные команды управления для перехода БС С в режим тестирования или восстановления.
3. Дополнительный КП для различения работы БС С в основных и дополнительных режимах.
4. Глубина контроля определяется уровнем подсистемы БС С, для которой возможна и целесообразна восстановительная операция.

АЛГОРИТМ СИНТЕЗА КОНЕЧНО-АВТОМАТНОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Алгоритм синтеза КАМ для контроля ТС БА КА с использованием нечеткой логики включает следующие этапы [4]:

1. Определение множества входных воздействий X и множества КП Y .
2. Построение таблицы влияния команд на КП и определение для каждого параметра y_i из множеств $Y_{тс}$ и $Y_{сп}$ множества команд X'_i , которые на него влияют.
3. Разбиение множества КП Y (без множества $Y_{кп}$) на классы $S = \langle S_1, \dots, S_K \rangle$. При этом y_i и y_j принадлежат одному классу, если множества команд X'_i и X'_j , которые на них влияют, совпадают, т.е. $y_i, y_j \in S_k$, если $X'_i = X'_j = X''_k$; $i, j = 1, \dots, (H + O)$.
4. Уточнение ограничений на управление БА КА. Построение таблицы влияния одних контролируемых параметров на другие контролируемые параметры. Определение для каждого класса S_k множества параметров S'_k , каждый из которых влияет на какой-либо параметр из S_k . В множество S'_k могут входить только КП, которые не входят в S_k , т.е. $S_k \cap S'_k = \emptyset$.
5. Получение K логических подсистем (ЛПС) КАМ БА КА вида $[S_k, X''_k, S'_k]$. Построение графа взаимовлияния ЛПС.
6. Построение автоматов, описывающих работу каждой ЛПС.
 - 6.1. Выделение множества состояний каждой ЛПС. Построение таблиц состояний ЛПС.
 - 6.2. Построение таблиц допусков КП.
 - 6.3. Построение графов переходов ЛПС (без петлевых дуг). Переходы между состояниями в нижних по иерархии ЛПС (по командам из множества X''_k) возможны только при условии, если верхние по иерархии ЛПС (параметры которых принадлежат множеству S'_k) находятся в некоторых определенных состояниях.
7. Формирование на основе экспертных знаний баз правил нечеткого вывода с входами из КП $Y_{фп}$ и выходами из КП $Y_{тс}$. Правила нечеткого вывода используются для определения состояний ЛПС, у которых в множество S_k входят КП из множества $Y_{тс}$. Построение функций принадлежности (ФП) M_g и M_o .
8. Построение КАМ в виде таблицы состояний БА КА (состояния модели в таблице определяются декартовым произведением состояний каждой ЛПС) и графа КАМ.

СИНТЕЗ КОНЕЧНО-АВТОМАТНОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПЕРЕДАТЧИКА БИТС БР-91Ц

БИТС БР-91Ц устанавливается на КА военного и двойного назначения. БИТС служит для регистрации и передачи телеметрической информации через радиолинию, ее запоминания и воспроизведения. Источником исходных данных для синтеза КАМ является техническое описание [6].

Для передатчика (П) БИТС БР-91Ц характерны четыре режима функционирования: «непосредственная передача» (НП), «выключение непосредственной передачи» (ВЫКЛ. НП), «непосредственная передача и запись» (НП+ЗИ) и «запись» (ЗИ).

Множество команд управления X приведено в табл. 3, а множество КП Y – в табл. 4.

Таблица 3

Множество команд

Номер команды	Обозначение	Время, мин	Действие команды в БИТС	Класс команды
x_1	ВКЛ. НП	1	Включение непосредственной передачи	X_k
x_2	ВЫКЛ. НП	1	Выключение непосредственной передачи	X_k
x_3	ЗИ	1	Запись	X_k
x_4	СТОП ЗИ	1	Стоп записи	X_k
x_5	БП1	1	Подключение комплекта П1	X_k
x_6	БП2	1	Подключение комплекта П2	X_k
x_7	ПР	0	Переход в ТС «почти работоспособно»	X_y
x_8	НР	0	Переход в ТС «неработоспособно»	X_y
x_9	ОСН	1	Основной режим	X_k (доп.)
x_{10}	Т	1	Режим теста	X_k (доп.)
x_{11}	В	1	Режим восстановления	X_k (доп.)

Таблица 4

Множество КП

Индекс КП	Наименование КП	Допуски на значения КП	Семантическая нагрузка	Класс КП
y_1	Температура приборного отсека, °С	≥ 0 и ≤ 40	Норма	$Y_{фп}$
		< 0 и > 40	Ненорма	
y_2	Напряжение питания бортового передатчика, В	≥ 24 и ≤ 33	Норма	$Y_{фп}$
		< 24 и > 33	Ненорма	
y_3	Выходная мощность бортового передатчика, Вт	≥ 7 (НП) и 0 (ВЫКЛ. НП)	Норма	$Y_{фп}$
		< 7 (НП) и > 0 (ВЫКЛ. НП)	Ненорма	
y_4	Работоспособность	0,0-0,3	Работоспособно	$Y_{тс}$
		0,3-0,7	Почти работоспособно	
		0,7-1,0	Неработоспособно	
y_5	Контроль основного режима работы	00	Выключен НП и стоп записи	$Y_{сп}$
		01	НП	
		10	ЗИ	
		11	НП+ЗИ	
y_6	Состав аппаратуры	0	Подключен П1	$Y_{сп}$
		1	Подключен П2	
y_7	Контроль дополнительных режимов работы	00	Основной режим	$Y_{сп}$ (доп.)
		01	Режим теста	
		10	Режим восстановления	

Используя действия из ранее описанного алгоритма (п. 3–6), синтезируем ЛПС. Полученные ЛПС вида $[S_k, X''_k, S'_k]$ приведены в табл. 5.

Таблица 5

Логические подсистемы

ЛПС	S_k	X''_k	S'_k
ЛПС 1 (работоспособность)	$S_1 = \{y_4\}$	$X''_1 = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8\}$	$S'_1 = \{\emptyset\}$
ЛПС 2 (тест и восстановление)	$S_2 = \{y_7\}$	$X''_2 = \{x_9, x_{10}, x_{11}\}$	$S'_2 = \{y_4\}$
ЛПС 3 (состав аппаратуры)	$S_3 = \{y_6\}$	$X''_4 = \{x_5, x_6\}$	$S'_4 = \{y_4, y_7\}$
ЛПС 4 (основной режим)	$S_4 = \{y_5\}$	$X''_5 = \{x_1, x_2, x_3, x_4\}$	$S'_5 = \{y_4, y_6, y_7\}$

Граф взаимовлияния ЛПС показан на рис. 1.

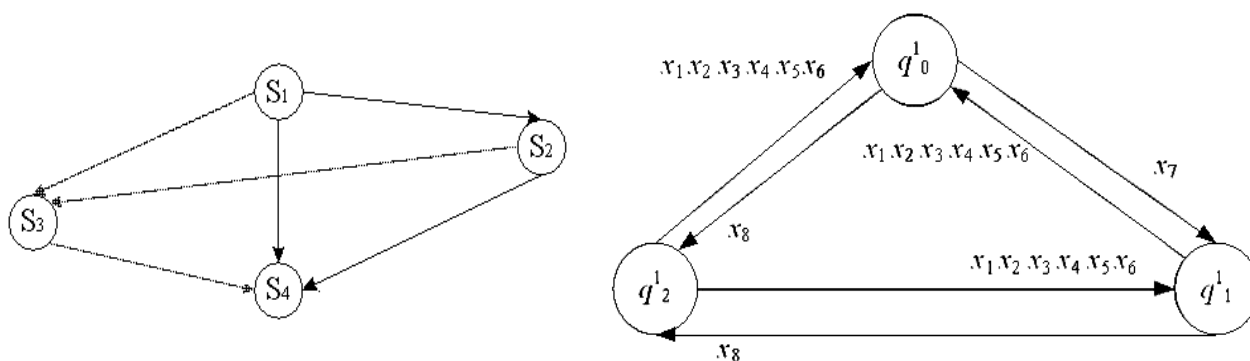


Рис. 1. Граф взаимовлияния ЛПС и граф ЛПС 1 (работоспособность)

Состояния ЛПС приведены в табл. 6.

Таблица 6

Состояния ЛПС

ЛПС	Состояния	Обозначение
ЛПС 1	q_0^1 – работоспособно	Р
	q_1^1 – почти работоспособно	ПР
	q_2^1 – неработоспособно	НР
ЛПС 2	q_0^2 – основная программа	ОСН
	q_1^2 – тест	Т
	q_2^2 – восстановление	В
ЛПС 3	q_0^3 – подключен П1	П1
	q_1^3 – подключен П2	П2
ЛПС 4	q_0^4 – выключен НП, стоп ЗИ	ВЫКЛ
	q_1^4 – НП	НП
	q_2^4 – ЗИ	ЗИ
	q_3^4 – НП+ЗИ	НПЗИ

Рассмотрим обозначение q_m^u : u означает номер ЛПС, m – номер состояния этой ЛПС. Допуски состояний ЛПС 1 приведены в табл. 7.

Таблица 7

Допуски состояний ЛПС 1 (работоспособность)

Состояния ЛПС	Допуски КП y_4	Техническое состояние П БИТС
q^1_0	0,0–0,29	Работоспособно
q^1_1	0,3–0,69	Почти работоспособно
q^1_2	0,7–1,0	Неработоспособно

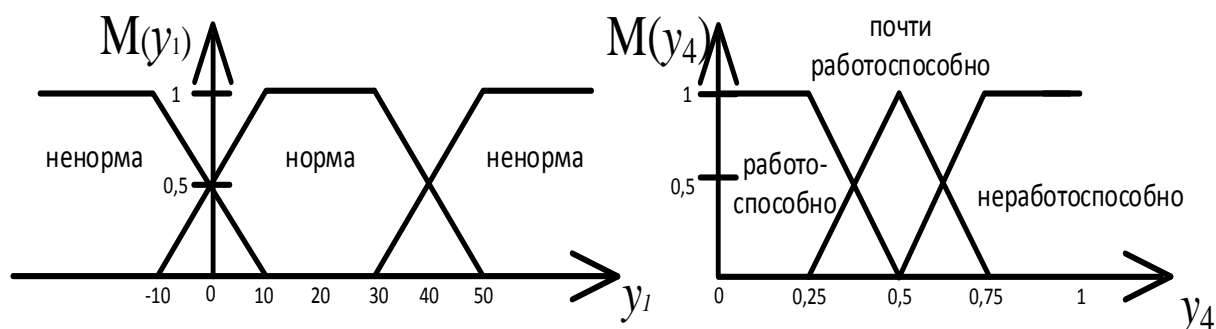
Граф переходов (без петлевых дуг) ЛПС 1 показан на рис. 1. Наборы команд у линий графа, означающих переходы, говорят о том, что данные переходы могут осуществиться в зависимости от обстоятельств функционирования по любой из указанных команд.

База правил нечеткого вывода для функционального контроля работоспособности приведена в табл. 8.

Таблица 8

База правил нечеткого вывода для функционального контроля работоспособности

№ п/п	y_1 (температура приборного отсека)	y_2 (напряжение питания передатчика)	y_3 (выходная мощность передатчика)	y_4 (работоспособность)
1	Норма	Норма	Норма	Работоспособно
2	Норма	Норма	Ненорма	Почти работоспособно
3	Норма	Ненорма	Норма	Почти работоспособно
4	Ненорма	Норма	Норма	Почти работоспособно
5	Ненорма	Ненорма	Норма	Почти работоспособно
6	Норма	Ненорма	Ненорма	Неработоспособно
7	Ненорма	Норма	Ненорма	Неработоспособно
8	Ненорма	Ненорма	Ненорма	Неработоспособно

Рис. 2. ФП КП y_1 и y_4

ФП для КП y_1 и y_4 показаны на рис. 2.

Некоторые характерные состояния синтезированной КАМ функционирования П БИТС БР-91Ц приведены в табл. 9. Состояния в таблице определяются декартовым произведением состояний каждой ЛПС.

Таблица 9

Состояния передатчика БИТС БР-91Ц

№	ЛПС1	ЛПС2	ЛПС3	ЛПС4	Содержание состояния Q	Обозначение состояния модели
1	00	00	0	00	Работоспособно; основной режим; ПОДКЛ. П1; ВЫКЛ. НП	Q_1
2	00	00	0	01	Работоспособно; основной режим; ПОДКЛ. П1; ВКЛ. НП	Q_2
3	01	01	0	00	Почти работоспособно; тест; ПОДКЛ. П1; ВЫКЛ. НП	Q_3
-	-	-	-	-	-	-
N-1	10	01	1	00	Неработоспособно; тест; ПОДКЛ. П2; ВЫКЛ. НП	Q_{N-1}
N	10	00	1	00	Неработоспособно; основной режим; ПОДКЛ. П2; ВЫКЛ. НП	Q_N

Фрагмент графа КАМ функционирования П БИТС БР-91Ц показан на рис. 3.

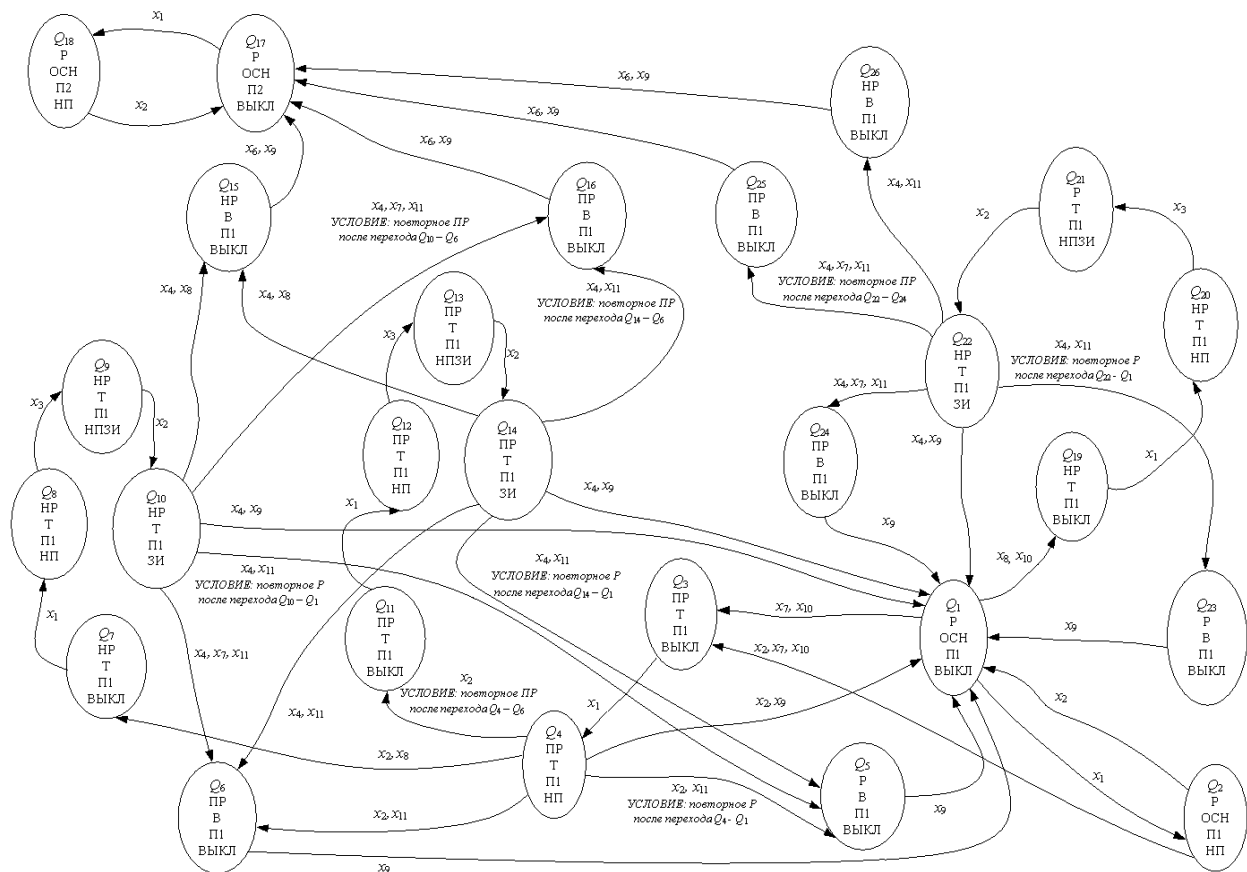


Рис. 3. Фрагмент графа КАМ функционирования П БИТС БР-91Ц

ОПИСАНИЕ РАБОТЫ ПЕРЕДАТЧИКА БОРТОВОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ БР-91Ц

При штатном функционировании П находится в состоянии Q_1 или Q_2 , которые характеризуются работоспособным ТС. При этом П функционирует согласно основной программе ра-

боты, и включен основной комплект аппаратуры П1. В соответствии с нечетким алгоритмом осуществляется функциональный контроль ТС по приведенным выше КП. При определенном отклонении параметров от допуска фиксируется возникновение неисправности и происходит оценка текущей работоспособности. Причем П по итогам оценки может перейти в состояние Q_3 (почти работоспособно) или Q_{19} (неработоспособно). В этих состояниях отключается режим НП, передатчик выходит из основной программы работы, включается тестовая программа, соответствующая степени работоспособности. При проведении простого теста П последовательно проходит основные рабочие режимы: ВЫКЛ. и НП, в которых измеряется значение КП $Y_{\text{фп}}$. В состоянии Q_4 происходит нечеткая оценка работоспособности по показаниям $Y_{\text{фп}}$ в каждом рабочем режиме. При определенном отклонении параметров от допуска фиксируются возникновение отказа и соответствующая ему степень работоспособности. В соответствии с выявленной работоспособностью передатчик либо возвращается в Q_1 (при ТС работоспособно), либо переходит к программе простого восстановления работоспособности (выключение на определенное время и включение П) и коррекции работы Q_6 (при ТС почти работоспособно), либо при выявлении неработоспособного состояния переходит к программе сложного теста Q_7 . Следует учесть, что П может сразу перейти к программе сложного теста при выявлении неработоспособного состояния из Q_1 в Q_{19} . Программа сложного теста предусматривает последовательное прохождение режимов работы П и записывающего устройства (ЗУ): ВЫКЛ., НП, НП+ЗИ и ЗИ. В этих режимах измеряются значения контролируемых параметров $Y_{\text{фп}}$, которые затем используются для нечеткой оценки работоспособности П. По итогам сложного теста П либо возвращается к основной программе работы Q_1 , либо переходит к программе простого восстановления работоспособности (выключение на определенное время и включение П) и коррекции работы Q_6 (Q_{24}), либо при выявлении неработоспособного состояния переходит к программе жесткого восстановления работоспособности (включение резервного комплекта П2) Q_{15} (Q_{26}).

При повторном принятии решения (в течение короткого промежутка времени) о работоспособном состоянии по итогам тестовых программ для исключения зацикливания П перед возвратом к основной программе работы в Q_1 переходит к программе восстановления путем коррекции алгоритма контроля Q_5 , чтобы функциональные показания контролируемых параметров соответствовали работоспособному состоянию. Также при повторном принятии решения о почти работоспособном состоянии после простого теста П переходит к программе сложного теста (вместо простого восстановления). При повторном принятии решения о почти работоспособном состоянии после сложного теста П переходит к жесткому восстановлению.

ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ АЛГОРИТМА КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПЕРЕДАТЧИКА БОРТОВОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ БР-91Ц НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Достоверность алгоритма контроля ТС может быть оценена полнотой представления в КАМ БА получаемой информации о поведении БА (методической достоверностью) при условии, что погрешностью измерения КП функционального типа можно пренебречь (инструментальная достоверность близка к единице) [7]. Полноту алгоритма контроля предлагается оценить с помощью комплексного показателя вида

$$\begin{cases} D(\Delta) = \{D_Y, D_Q, D_B\} \\ D_Y = \sum_{g=1}^G y'_{\text{фп}g} / \sum_{g=1}^{G'} y'_{\text{фп}g} \\ D_Q = \sum_{w=1}^W n_w \gamma_w / \sum_{w=1}^{W'} n'_w \gamma_w \\ D_B = N_B(\Delta) / N_B, \end{cases} \quad (2)$$

где $D(\Delta)$ – оценка достоверности контроля алгоритма Δ ;
 D_Y – полнота контроля по параметрам;
 D_Q – полнота контроля по объему тестовых программ;
 D_B – полнота контроля по вариантам восстановления;
 $y'_{\text{фпг}}$ – экспертная оценка степени важности КП $y_{\text{фпг}}$;
 G – количество контролируемых параметров функционального типа;
 G' – количество параметров в ЭТД;
 γ_w – экспертная оценка интенсивности отказа, выявляемого при тестовом контроле;
 n_w – количество контролируемых состояний при w тестовой программе;
 n'_w – количество возможных состояний при w тестовой программе;
 W – количество используемых тестовых программ;
 W' – количество возможных тестовых программ;
 $N_B(\Delta)$ – количество вариантов восстановления работоспособности, учтенное в модели;
 N_B – количество вариантов восстановления работоспособности.

В процессе исследований был проведен экспертный опрос о степени важности контролируемых параметров П БИТС БР-91Ц среди сотрудников кафедры телеметрических систем и комплексной обработки информации Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. Экспертные оценки степени важности КП приведены в табл. 10.

Таблица 10

Экспертные оценки степени важности КП

Контролируемые параметры	Оценки степени важности				
	У _{фп1} (мощность)	У _{фп2} (температура)	У _{фп3} (напряжение)	У _{фп4} (давление)	У _{фп5} (влажность)
Эксперт № 1	0,75	0,1	0,15	0,0	0,0
Эксперт № 2	0,6	0,1	0,1	0,1	0,1
Эксперт № 3	0,65	0,15	0,1	0,05	0,05
Эксперт № 4	0,8	0,1	0,05	0,0	0,05
Эксперт № 5	0,7	0,05	0,1	0,1	0,05
Средняя оценка	0,7	0,1	0,1	0,05	0,05
Алгоритм $\Delta_{\text{кон}}$	+	-	-	-	-
Алгоритм $\Delta_{\text{нл}}$	+	+	+	-	-

Таким образом, $D_Y(\Delta_{\text{кон}}) = 0,7 / 1,0 = 0,7$ и $D_Y(\Delta_{\text{нл}}) = 0,7 + 0,1 + 0,1 / 1,0 = 0,9$.

При расчете D_Q учтем следующее:

- возможное количество тестовых программ: $W' = 3$;
- количество тестовых программ в алгоритмах $W(\Delta_{\text{кон}}) = 1$; $W(\Delta_{\text{нл}}) = 2$;
- количество проверяемых состояний при 1-й и 2-й тестовых программах: $n_1 = 2$; $n_2 = 4$;
- зависимость между экспертными оценками интенсивностей отказов, выявляемых при тестовом контроле для разных тестовых программ: $\gamma_1 \gg \gamma_2 \gg \gamma_3$.

Сделаем допущение, что $\gamma_1 \approx n_2\gamma_2$ и $\gamma_2 \approx n_3\gamma_3$. Также $n_w = n'_w$, (в тестовых программах используются все предусмотренные ими проверки). Тогда в соответствии с [9]

$$D_Q(\Delta_{\text{кон}}) \approx (n_1 n_2) / (n_1 n_2 + n_2 + 1) = (2*4) / (2*4 + 4 + 1) = 8 / 13 \approx 0,62;$$

$$D_Q(\Delta_{\text{нл}}) \approx (n_1 n_2 + n_2) / (n_1 n_2 + n_2 + 1) = (2*4 + 4) / (2*4 + 4 + 1) = 12 / 13 \approx 0,92.$$

Для расчета D_B учтем, что возможное количество вариантов восстановления работоспособности $N_B = 4$. Для алгоритмов контроля $\Delta_{\text{кон}}(C)$ и $\Delta_{\text{нл}}(C)$ соответственно $N_B(\Delta_{\text{кон}}(C)) = 2$ и $N_B(\Delta_{\text{нл}}(C)) = 3$. Тогда $D_B(\Delta_{\text{кон}}) = 2 / 4 = 0,5$ и $D_B(\Delta_{\text{нл}}) = 3 / 4 = 0,75$.

Оценка полноты алгоритмов контроля $\Delta_{\text{кон}}(C)$ и $\Delta_{\text{нл}}(C)$ приведена в табл. 8.

Таблица 8

Оценка полноты алгоритмов контроля $\Delta_{\text{кон}}$ и $\Delta_{\text{нл}}$

Показатель полноты контроля	$\Delta_{\text{кон}}(C)$	$\Delta_{\text{нл}}(C)$
D_Y	0,70	0,90
D_Q	0,62	0,92
$D_{\text{нл}}$	0,50	0,75

Таким образом, достоверность контроля алгоритма $\Delta_{\text{нл}}(C)$ в среднем выше, чем у алгоритма $\Delta_{\text{кон}}(C)$ на 20–30 %.

ВЫВОДЫ

1. В рамках современных требований к автономности КА обоснована необходимость совершенствования системы контроля ТС БА КА на основе применения КАМ и нечеткой логики.
2. Предложена математическая постановка задачи синтеза КАМ БА КА для последующего применения алгоритмов контроля ТС на основе нечеткой логики.
3. Синтезирована КАМ функционирования передатчика БИТС БР-91Ц для контроля ТС на основе нечеткой логики. При этом получена оценка достоверности алгоритма контроля на основе нечеткой логики, которая выше исходной на 20–30%.

Список используемых источников

1. *Ефимов В.В.* Нейроподобные сети в бортовых информационно-управляющих комплексах летательных аппаратов. – СПб.: ВИККА им. А.Ф. Можайского, 1996. – 113 с.
2. Теоретические основы и методы оптимизации анализа технического состояния систем: моногр. / В.В. Мышко, А.Н. Кравцов, Е.В. Копкин, В.А. Чикуров. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2013. – 303 с.
3. *В.И. Полянский* Нечеткие множества в моделях и методах диагностирования сложных технических систем: моногр. – М.: Полиграф сервис, 2010. – 242 с.
4. *Козырев Г.И., Лоскутов А.И.* Основы испытаний бортовых радиоэлектронных систем: учеб. пособие. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2013. – 158 с.
5. Нечеткая логика: алгебраические основы и приложения: моногр. / С.Л. Блюмин, И.В. Черпаков, И.А. Шуйкова, Г.В. Сараев. – Липецк: ЛЭГИ, 2002. – 112 с.
6. Современная телеметрия в теории и на практике: учеб. курс / А.В. Назаров, Г.И. Козырев, И.В. Шитов и др. – СПб.: Наука и техника, 2007. – 672 с.
7. *Кочелаев Ю.С.* Автоматизированные испытательные комплексы. Вып. 3. Оптимизация алгоритмов автоматизированного тестового контроля: учеб. пособие. – МО РФ, 1992. – 118 с.

Г.И. Козырев,
доктор техн. наук, профессор;
А.А. Хаматов

АЛГОРИТМ СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕСТОВЫХ ПРОГРАММ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОМ ТЕХНИЧЕСКОМ ДИАГНОСТИРОВАНИИ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

В рамках современных требований к автономности космических аппаратов обоснована необходимость совершенствования процессов технического диагностирования бортовой аппаратуры на основе применения конечно-автоматных моделей и нечеткой логики. Представлена математическая постановка задачи синтеза оптимальной тестовой программы автоматического технического диагностирования бортовой аппаратуры космического аппарата. Разработан алгоритм синтеза оптимальной тестовой программы автоматического технического диагностирования. Синтезирована квазиоптимальная тестовая программа автоматического технического диагностирования бортового ретранслятора.

Ключевые слова: конечный автомат, техническое диагностирование, нечеткая логика, достоверность диагностирования.

ВВЕДЕНИЕ

Автономность оказывает существенное влияние на боевые возможности космического аппарата КА [1]. Среди автономно выполняемых функций важную роль играет автоматическое техническое диагностирование (АТД) бортовой аппаратуры (БА) КА.

Основными требованиями к перспективным КА являются увеличение срока их автономного функционирования, сокращение количества сеансов телеконтроля, а также задач информационно-телеметрического обеспечения (ИТО), решаемых в НКУ, и обеспечение уровня достоверности диагностирования 0,95 [2, 3].

Использование в процессе диагностирования БА дискретных управляющих воздействий X (с учетом времени их выполнения), оценка множества состояний Q по значениям выходных диагностических параметров (ДП) Y и предположение о конечности множеств X , Y , Q позволяют синтезировать диагностическую конечно-автоматную модель (КАМ) БА [4].

Существующие подходы к АТД БА КА могут привести к необходимости принятия решения в условиях недостатка необходимой информации (неопределенности) [5]. Источниками неопределенности являются: неточность измерений реальных физических величин входных и выходных сигналов, ошибки задания допусков на ДП, невозможность полного и четкого описания систем и процессов из-за их сложности, неполнота контроля технического состояния (ТС) БА КА, не позволяющая определить все значимые ее свойства, случайный характер входных сигналов, внешних возмущающих воздействий. Все ТС объекта представляют собой случайные события, обусловленные случайностью появления отказов отдельных элементов, однако для их полного описания априорных статистических данных явно недостаточно [6].

Различные ТС, а также соответствующие им значения ДП в зависимости от близости к границам допусков можно оценить лингвистически. Такой подход позволяет использовать для решения задачи АТД БА КА в указанных условиях аппарат нечеткой логики. Основным достоинством нечеткой логики является возможность представления знаний и способов принятия решения человеком [6], что особенно актуально для АТД автономно функционирующих КА.

Процесс диагностирования может проходить в рабочем или тестовом режимах. Синтез тестовых программ (ТП), задающих последовательность управляющих воздействий, является важным содержанием задачи АТД БА КА. Использование тестовых воздействий связано с наличием жестких ресурсных ограничений. Для снижения затрат на проведение тестирования применяются сокращенные ТП, а также процедуры оптимизации сокращенных ТП [4, 7].

Из практики применения технических систем известно, что вероятность отказа отдельных приборов (устройств) обычно значительно выше, чем вероятность отказа цепей управления приборами [4]. Следовательно, при синтезе тестовой программы можно сделать допущение, что функция переходов всегда верна, а искажаться может только функция выходов. А значит, можно сократить время проведения тестового АТД с учетом соотношения вероятностей отказов, пренебрегая прежде всего полной проверкой функции переходов модели системы, оставив при этом проверку функции выходов. При этом тестовая программа будет представлять собой последовательность команд, задающую обход всех состояний, а не обход всех переходов КАМ.

Другой дополнительной возможностью для минимизации времени выполнения тестовой программы является применение подхода на основе семантического анализа структуры КАМ БА КА с последующим выделением нескольких классов дефектов с близкими вероятностями проявления. При этом можно использовать возможность задания нескольких условных уровней значений коэффициентов интенсивности отказов, выявляемых при проверке определенных состояний КАМ и соответствующих выделенным классам дефектов [7].

Диагностическая модель БА в виде конечного автомата позволяет применить для оптимизации сокращенных ТП алгоритм ближайшего соседа [4].

Исходя из вышеизложенного, процесс совершенствования АТД БА КА будем решать путем разработки алгоритма синтеза оптимальных ТП на основе применения конечно-автоматных моделей (КАМ), нечеткой логики и семантического анализа.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕСТОВОЙ ПРОГРАММЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Предлагается следующая математическая постановка задачи.

Дано:

S – БА КА;

$A(S) = \langle T, X, Y, Y^*, Q, f, \varphi \rangle$ – диагностическая КАМ БА S , где T – множество моментов времени t , в которые осуществляется АТД БА S ;

X – множество входных воздействий, $X = X_k \cup X_y$, причем X_k – множество штатных команд, подаваемых на БА S , $X_k = \langle x_{k1}, x_{k2}, \dots, x_{kB} \rangle$, X_y – множество случайных воздействий внешних или внутренних неконтролируемых факторов, при которых БА переходит в нештатное ТС, $X_y = \langle x_{св1}, x_{св2}, \dots, x_{свE} \rangle$;

Y – множество ДП, $Y = Y_{фп} \cup Y_{сп} \cup Y_{дп}$, причем $Y_{фп}$ – множество ДП функционального типа (например, температура, напряжение, мощность и др.), $Y_{фп} = \langle y_{фп1}, y_{фп2}, \dots, y_{фпG} \rangle$, $Y_{сп}$ – множество ДП, сигнального и цифрового типа (например, контроль включения аппаратуры, контроль состава аппаратуры и др.), $Y_{сп} = \langle y_{сп1}, y_{сп2}, \dots, y_{спO} \rangle$, $Y_{дп}$ – ДП, характеризующий работоспособность БА;

Y^* – множество лингвистических переменных, характеризующих показания ДП на предмет соответствия допускам, $Y^* = Y^*_{фп} \cup Y^*_{дп}$, причем $Y^*_{фп}$ – множество лингвистических переменных, характеризующих показания ДП $Y_{фп}$ на предмет соответствия допускам, указанным в эксплуатационно-технической документации (ЭТД), $Y^*_{фп} = \langle y^*_{фп1}, y^*_{фп2}, \dots, y^*_{фпG} \rangle$, $y^*_{фпg} = (R_g, Y_g, M_g)$, где R_g – множество термов лингвистической переменной $y_{фпg}$ (например, норма, почти норма, ненорма и др.); $R_g = \langle r_{g1}, r_{g2}, \dots, r_{gL} \rangle$; Y_g – область определения показаний ДП $y_{фпg}$; M_g – множество функций принадлежности термов лингвистической переменной

$y_{\text{фпг}}^*$, $M_g = \langle \mu_{g1}, \mu_{g2}, \dots, \mu_{gL} \rangle$; $y_{\text{дп}}^*$ – лингвистическая переменная, характеризующая показания ДП $u_{\text{дп}}$ на предмет соответствия допускам на ТС БА, $y_{\text{дп}}^* = (R_{\text{дп}}, Y_{\text{дп}}, M_{\text{дп}})$, где $R_{\text{дп}}$ – множество термов лингвистической переменной $y_{\text{дп}}^*$ (например, работоспособно, почти работоспособно, достаточно работоспособно, неработоспособно и др.), $R_{\text{дп}} = \langle r_{\text{дп}1}, r_{\text{дп}2}, \dots, r_{\text{дп}P} \rangle$; $Y_{\text{дп}}$ – область определения показаний ДП $u_{\text{дп}}$ (например, $Y_{\text{дп}} = [0; 1]$); $M_{\text{дп}}$ – множество функций принадлежности термов лингвистической переменной $y_{\text{дп}}^*$, $M_{\text{дп}} = \langle \mu_{\text{дп}1}, \mu_{\text{дп}2}, \dots, \mu_{\text{дп}P} \rangle$;

Q – множество состояний БА, $Q = Q_{\text{ш}} \cup Q_{\text{нш}}$, причем $Q_{\text{ш}}$ – множество штатных состояний БА, $Q_{\text{ш}} = \langle q_{\text{ш}1}, q_{\text{ш}2}, \dots, q_{\text{ш}H} \rangle$, $Q_{\text{нш}}$ – множество нештатных состояний, $Q_{\text{нш}} = \langle q_{\text{нш}1}, q_{\text{нш}2}, \dots, q_{\text{нш}Z} \rangle$;

$f: Q \times X \rightarrow Q$ – функция переходов. Возможные виды переходов: $Q_{\text{ш}} \times X_k \rightarrow Q_{\text{ш}}$; $Q_{\text{ш}} \times X_y \rightarrow Q_{\text{нш}}$; $Q_{\text{нш}} \times X_k \rightarrow Q$; $Q_{\text{нш}} \times X_k \rightarrow Q_{\text{нш}}$; $Q_{\text{нш}} \times X_y \rightarrow Q_{\text{нш}}$;

$\varphi: (Q_{\text{ш}} \rightarrow Y_{\text{сп}}) \cup (Q_{\text{нш}} \rightarrow y_{\text{дп}} \rightarrow Y_{\text{фп}})$ – функция выходов;

$\Delta_{\text{нл}}: Y_{\text{фп}} \rightarrow y_{\text{дп}}$ – алгоритм АТД БА С с использованием нечеткой логики.

Требуется: для заданного значения $u_{\text{дп}}$ синтезировать тестовую программу U , причем $T(U) \rightarrow \min$, $D(U) \geq D_{\min}$, где $T(U)$ – время выполнения тестовой программы; $D(U)$ – методическая достоверность (полнота) АТД при выполнении тестовой программы U ; D_{\min} – минимальное допустимое значение методической достоверности (полноты) АТД.

В целях повышения достоверности предполагается АТД в два основных этапа: на первом этапе – функциональное АТД, на втором этапе – тестовое АТД.

Необходимость проведения тестового диагностирования обоснована недостаточным уровнем достоверности на этапе функционального диагностирования, что может быть вызвано прежде всего нахождением значений одного или нескольких функциональных параметров $Y_{\text{фп}}$ в критической близости от допуска. В этом случае достоверность снижается из-за погрешности измерения, неточности задания допусков и ряда других факторов.

На первом этапе АТД осуществляется по текущему значению $u_{\text{дп}}$, которое вычисляется с помощью алгоритма $\Delta_{\text{нл}}$ по результатам измерений $Y_{\text{фп}}$. Алгоритм $\Delta_{\text{нл}}$ работает на основе предварительно построенной с помощью экспертных знаний базы нечетких правил вида: если $u_{\text{фп}1}$ есть r_{1l} и $u_{\text{фп}2}$ есть $r_{2l}, \dots, u_{\text{фп}G}$ есть r_{Gl} , то $u_{\text{дп}}$ есть $r_{\text{дп}r}$. Вычисление значения ДП $u_{\text{дп}}$, включает в себя: фаззикацию значений ДП $Y_{\text{фп}}$, агрегирование подусловий в нечетких правилах, активизацию подзаклучений в нечетких правилах, аккумуляирование заключений нечетких правил и дефаззификацию значения ДП $u_{\text{дп}}$ [8].

Пример работы алгоритма $\Delta_{\text{нл}}$ показан на рис. 1. В указанном примере база нечетких правил состоит из трех правил (рис. 1, а–в). В левой части иллюстрируется, как текущим значениям ДП u_1 и u_2 присваиваются значения функций принадлежности μ_1, μ_2 (фаззификация), после чего сравниваются значения их функций принадлежности (агрегирование подусловий). Минимальное из значений функций принадлежности определяет в правой части примера степень истинности правила (активизация подзаклучений). Ниже демонстрируются суммированные степени истинности всех трех правил (аккумуляирование заключений), а также полученное в результате дефаззификации четкое значение $u_{\text{дп}} = 0,4$ (рис. 1, г).

Таким образом, чем ближе значения $Y_{\text{фп}}$ приближаются к границам допусков работоспособного состояния, тем больше значение показателя $u_{\text{дп}}$. С другой стороны, значения параметров $Y_{\text{фп}}$ также влияют на вероятность возникновения отказов БА, в том числе маловероятных. В условиях автономного функционирования повышается угроза выхода КА из строя, что говорит о необходимости проведения более полного тестового АТД для точного определения последующих восстановительных операций. Тогда значению параметра $u_{\text{дп}}$, выявленному на первом этапе АТД, целесообразно поставить в соответствие минимальное допустимое значение методической достоверности D_{\min} на второй этапе. Указанное значение D_{\min} определяет некоторое количество состояний $Q_{\text{ш}}$ из числа возможных, которые БА должна последовательно пройти в процессе тестирования. АТД на втором этапе осуществляется

по значению $u_{дп}$, вычисляемому уже по результатам измерений $Y_{фп}$ во всех пройденных состояниях.

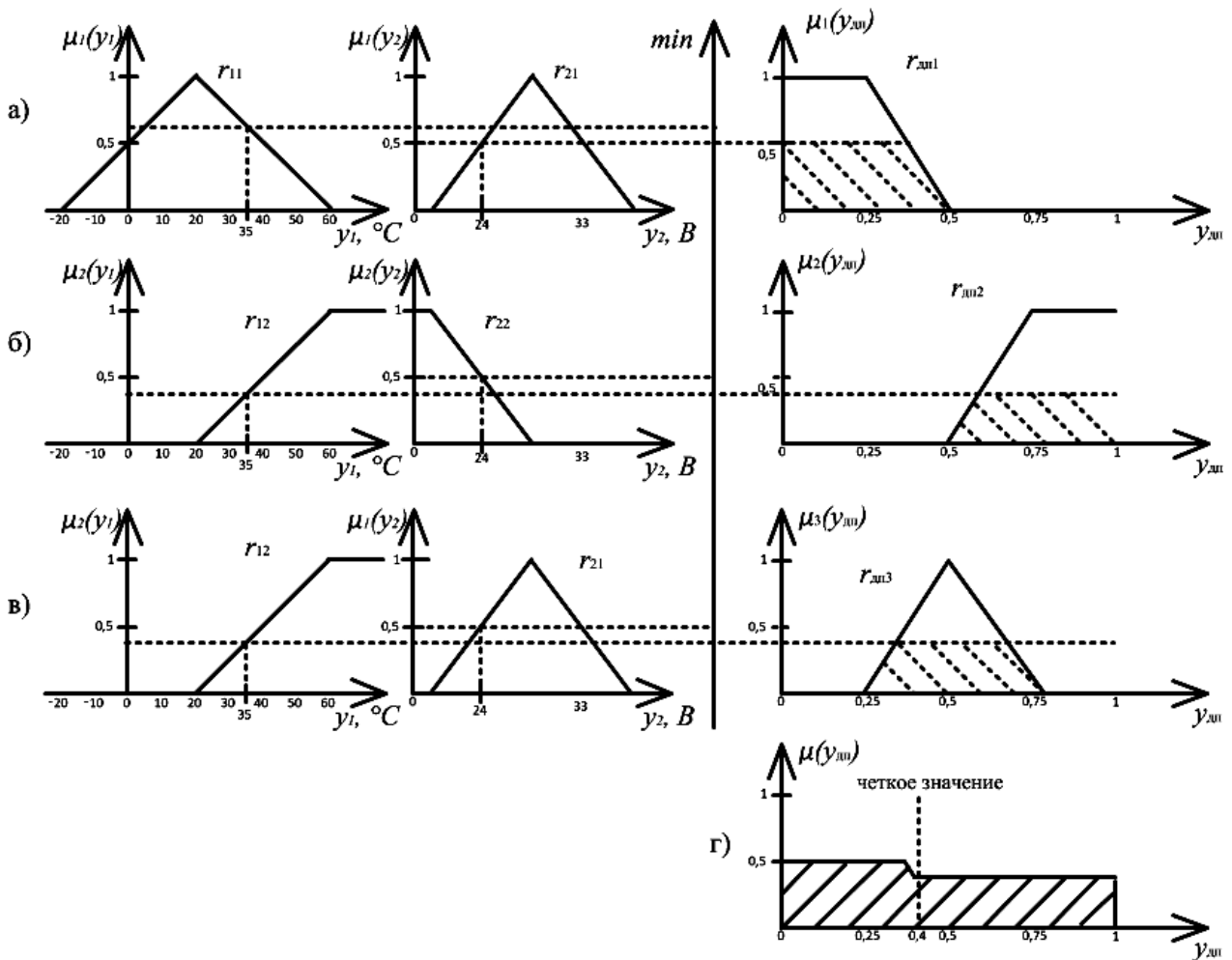


Рис. 1. Пример работы алгоритма $\Delta_{нл}$

Процесс тестового диагностирования целесообразно начинать после достижения некоторого порогового значения $u_{дп\ пор}$. Значение $u_{дп\ пор}$ определяется предварительно опытным путем на этапе построения подсистемы нечеткого вывода.

С учетом требований, предъявляемых к достоверности диагностирования, минимальное допустимое значение методической достоверности (полноты) АТД $D_{\min}(u_{дп\ пор}) = 0,95$. В случае превышения порогового значения параметра $u_{дп}$ целесообразно проведение тестового диагностирования с $D_{\min}(u_{дп}) > 0,95$. Причем, при $u_{дп} \rightarrow 1$ $D_{\min}(u_{дп}) \rightarrow 1$.

В отсутствие устойчивых статистических данных на начальном этапе исследований зависимость $D_{\min}(u_{дп})$ можно отобразить как прямо пропорциональную (рис. 2).

Указанный график представляет возможный вид зависимости минимальной допустимой методической достоверности (полноты) АТД на втором (тестовом) этапе от численного значения ДП $u_{дп}$, характеризующего степень работоспособности БА на первом (функциональном) этапе. При $u_{дп} = 0$ работоспособность БА максимальная, а при $u_{дп} = 1$ работоспособность БА минимальная. График начинается с точки $u_{дп} = u_{дп\ пор}$, $D_{\min}(u_{дп\ пор}) = 0,95$, т. е. процесс тестового АТД начинается с некоторого порогового значения ДП $u_{дп}$ и подразумевает необходимость тестового АТД с полнотой не менее 0,95. Заканчивается график в точке $u_{дп} = 1$, $D_{\min}(1) \approx 1$, т. е. в техническом состоянии БА, которое характеризуется минимальной степенью работоспособности, необходимо тестовое АТД с максимально возможной полнотой. При промежуточных значениях $u_{дп}$: $u_{дп\ пор} < u_{дп} < 1$ значение полноты АТД находится в

промежутке между 0,95 и 1, что вызвано прежде всего необходимостью эффективного расходования ресурсов на АТД.

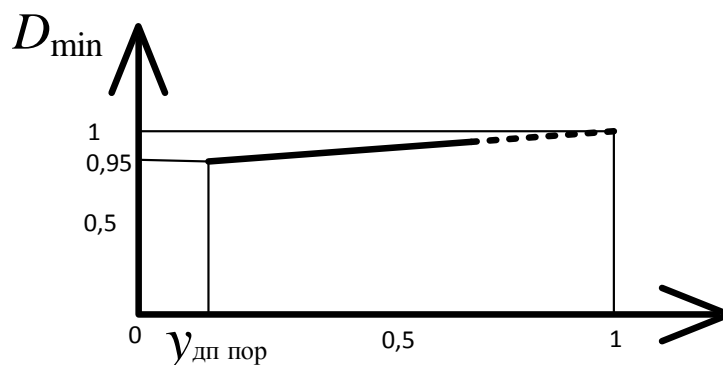


Рис. 2. Примерный вид зависимости D_{\min} от диагностического параметра $y_{\text{дп пор}}$

Методическая достоверность (полнота) АТД при выполнении тестовой программы U в соответствии с подходом на основе семантического анализа КАМ БА определяется по формуле [7]

$$D(I) \geq (h_I H_{II} H_{III} + h_{II} H_{III} + h_{III}) / H_{III} (1 + H_{II} (1 + H_I)), \quad (1)$$

где H_I – общее количество состояний при обходе I вида (обход всех состояний логических подсистем (ЛПС) КАМ, описывающих различные режимы функционирования, при одном заданном фиксированном состоянии других ЛПС КАМ, описывающих различные режимы функционирования, и ЛПС КАМ, описывающих переключение комплектов резервируемой аппаратуры);

H_{II} – общее количество состояний при обходе II вида [обход всех состояний ЛПС КАМ, описывающих переключение комплектов резервируемой аппаратуры, при одном заданном фиксированном состоянии других ЛПС КАМ, описывающих различные режимы функционирования, и ЛПС КАМ, описывающих переключение комплектов резервируемой аппаратуры (после обхода I вида)];

H_{III} – общее количество состояний при обходе III вида [обход всех состояний ЛПС КАМ, кроме состояний, проверяемых при обходах I и II видов (только после обходов I и II видов)];

h_I – количество проверяемых состояний I вида;

h_{II} – количество проверяемых состояний II вида;

h_{III} – количество проверяемых состояний III вида.

АЛГОРИТМ СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕСТОВЫХ ПРОГРАММ

Алгоритм синтеза и оптимизации сокращенных тестовых программ для АТД БА КА на основе нечеткой логики включает следующие этапы [4–6]:

1. Определение длин обходов H (количества состояний для обхода).

1.1. Определение H_I – длины тестовой программы при полном обходе I вида.

1.2. Определение H_{II} – длины тестовой программы при полном обходе II вида.

1.3. Определение H_{III} – длины тестовой программы при полном обходе III вида.

2. Расчет методической достоверности (полноты) АТД D при выполнении тестовой программы I , включающей различные виды обходов.

2.1. Расчет методической достоверности (полноты) АТД $D(I)$ при выполнении тестовой программы I , включающей обход I вида.

2.2. Расчет методической достоверности (полноты) АТД $D(II)$ при выполнении тестовой программы U , включающей обход II вида.

3. Расчет длины тестовой программы для полученного (заданного) значения $u_{дп}$.

4. Построение предварительного маршрута обхода и уточнение множества состояний $Q_{ш}(U)$ для обхода.

5. Нахождение весов кратчайших путей (1-й этап алгоритма Дейкстры) [4].

6. Построение оптимальной программы тестирования (алгоритм ближайшего соседа) по алгоритму ближайшего соседа ($T(U) \rightarrow \min$).

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕСТОВОЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ БОРТОВОГО РЕТРАНСЛЯТОРА

Бортовой ретранслятор (БР) устанавливается на КА связи военного и двойного назначения. БР служит для приема и передачи полученных радиосигналов наземным станциям и другим КА [9].

Перечень приборов, входящих в состав БР, включает в себя:

- входную антенну (ВхАН);
- два комплекта малошумящих усилителей (МШУ1, МШУ2);
- входной мультиплексор (ВхМУЛ);
- два комплекта усилителей мощности первого ствола (УМ11, УМ12);
- два комплекта усилителей мощности второго ствола (УМ21, УМ22);
- выходной мультиплексор (ВыхМУЛ);
- выходную антенну (ВыхАН).

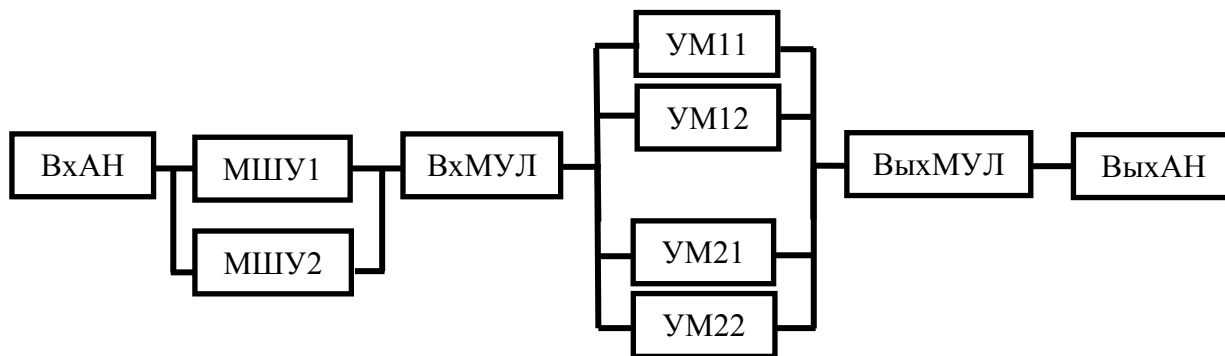


Рис.3. Структурная схема БР

На рис. 3 показана обобщенная структурная схема БР.

ЛПС КАМ БР и их содержательные состояния приведены в табл. 1.

Таблица 1

Содержательные состояния ЛПС

№ п/п	ЛПС	Содержательные состояния	Обозначение	Вид обхода
1	Кондиция	q^1_0 – норма q^1_1 – ненорма	Н НН	-
2	БР-МШУ	q^2_0 – выключен q^2_1 – включен	БР-МШУ ВЫКЛ БР-МШУ ВКЛ	I

Окончание табл. 1

№ п/п	ЛПС	Содержательные состояния	Обозначение	Вид обхода
3	УМ11	q^3_0 – выключен q^3_1 – включен	УМ11 ВЫКЛ УМ11 ВКЛ	I
4	Запирание УМ11	q^4_0 – запирание q^4_1 – отмена запирания	УМ11 ЗАП УМ11 ОТМ ЗАП	I
5	УМ12	q^5_0 – выключен q^5_1 – включен	УМ12 ВЫКЛ УМ12 ВКЛ	I
6	Запирание УМ12	q^6_0 – запирание q^6_1 – отмена запирания	УМ12 ЗАП УМ12 ОТМ ЗАП	I
7	УМ21	q^7_0 – выключен q^7_1 – включен	УМ21 ВЫКЛ УМ21 ВКЛ	I
8	Запирание УМ21	q^8_0 – запирание q^8_1 – отмена запирания	УМ21 ЗАП УМ21 ОТМ ЗАП	I
9	УМ22	q^9_0 – выключен q^9_1 – включен	УМ22 ВЫКЛ УМ22 ВКЛ	I
10	Запирание УМ22	q^{10}_0 – запирание q^{10}_1 – отмена запирания	УМ22 ЗАП УМ22 ОТМ ЗАП	I
11	Комплект МШУ	q^{11}_0 – МШУ1 q^{11}_1 – МШУ2	МШУ1 МШУ2	II
12	Комплект первого ствола	q^{12}_0 – УМ11 q^{12}_1 – УМ12	УМ11 УМ12	II
13	Комплект второго ствола	q^{13}_0 – УМ21 q^{13}_1 – УМ22	УМ21 УМ22	II

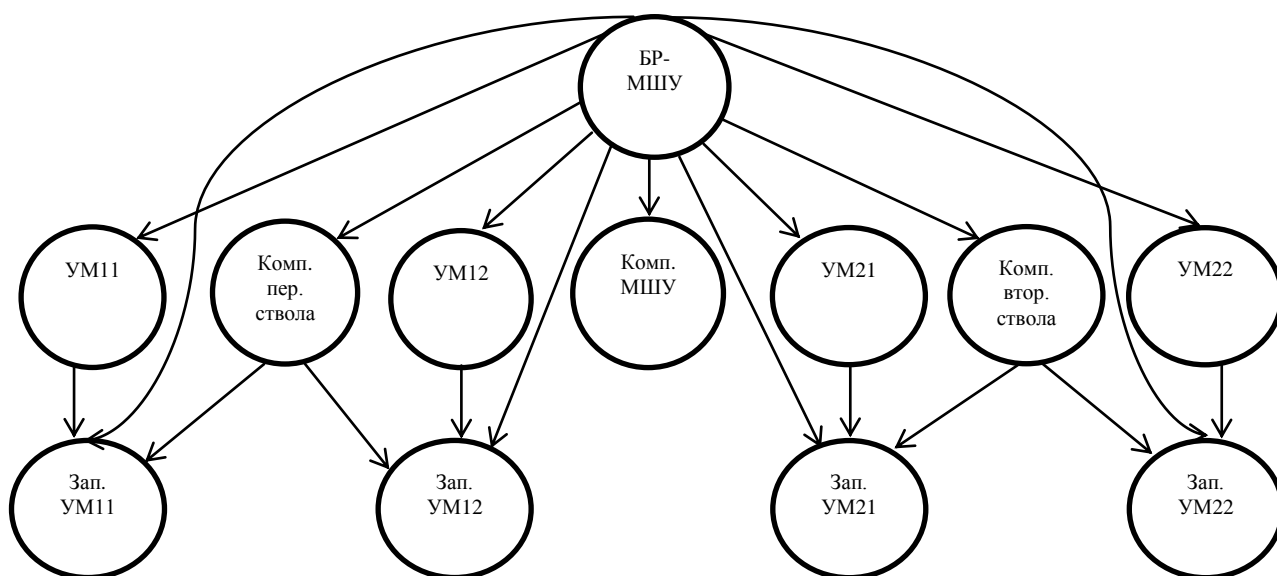


Рис. 4. Граф взаимовлияния ЛПС БР

Граф взаимовлияния ЛПС БР показан на рис. 4.

Состояния диагностической КАМ БР для первого ствола приведены в табл. 2. Состояния в таблице определяются декартовым произведением состояний каждой ЛПС.

Таблица 2

Состояния бортового ретранслятора (для первого ствола)

№ п/п	ЛПС1 БР- МШУ	ЛПС2 УМ11	ЛПС3 Зап. УМ 11	ЛПС4 УМ12	ЛПС5 Зап. УМ 12	ЛПС11 Комплект первого ствола	Содержание состояния Q
1	0	0	0	0	0	0	БР-МШУ ВЫКЛ, УМ11 ВЫКЛ, УМ11 ЗАП, УМ12 ВЫКЛ, УМ12 ЗАП, УМ11
2	1	0	0	0	0	0	БР-МШУ ВКЛ, УМ11 ВЫКЛ, УМ11 ЗАП, УМ 12 ВЫКЛ, УМ ЗАП, УМ11
3	1	1	0	0	0	0	БР-МШУ ВКЛ, УМ11 ВКЛ, УМ11 ЗАП, УМ12 ВЫКЛ, УМ12 ЗАП, УМ11
4	1	1	1	0	0	0	БР-МШУ ВКЛ, УМ11 ВКЛ, УМ11 ОТМ ЗАП, УМ12 ВЫКЛ, УМ12 ЗАП, УМ11
5	1	1	1	1	0	0	БР-МШУ ВКЛ, УМ11 ВКЛ, УМ11 ОТМ ЗАП, УМ12 ВКЛ, УМ12 ЗАП, УМ11
6	1	1	0	1	0	0	БР-МШУ ВКЛ, УМ11 ВКЛ, УМ11 ЗАП, УМ12 ВКЛ, УМ12 ЗАП, УМ11
7	1	0	0	1	0	0	БР-МШУ ВКЛ, УМ11 ВЫКЛ, УМ11 ЗАП, УМ12 ВКЛ, УМ12 ЗАП, УМ11
8	1	0	0	0	0	1	БР-МШУ ВКЛ, УМ11 ВЫКЛ, УМ11 ЗАП, УМ12 ВЫКЛ, УМ12 ЗАП, УМ12
9	1	1	0	0	0	1	БР-МШУ ВКЛ, УМ11 ВКЛ, УМ11 ЗАП, УМ12 ВЫКЛ, УМ12 ЗАП, УМ12
10	1	1	0	1	0	1	БР-МШУ ВКЛ, УМ11 ВКЛ, УМ11 ЗАП, УМ12 ВКЛ, УМ12 ЗАП, УМ12
11	1	1	0	1	1	1	БР-МШУ ВКЛ, УМ11 ВКЛ, УМ11 ЗАП, УМ12 ВКЛ, УМ12 ОТМ ЗАП, УМ12
12	1	0	0	1	1	1	БР-МШУ ВКЛ, УМ11 ВЫКЛ, УМ11 ЗАП, УМ12 ВКЛ, УМ12 ОТМ ЗАП, УМ12
13	1	0	0	1	0	1	БР-МШУ ВКЛ, УМ11 ВЫКЛ, УМ11 ЗАП, УМ12 ВКЛ, УМ12 ЗАП, УМ12

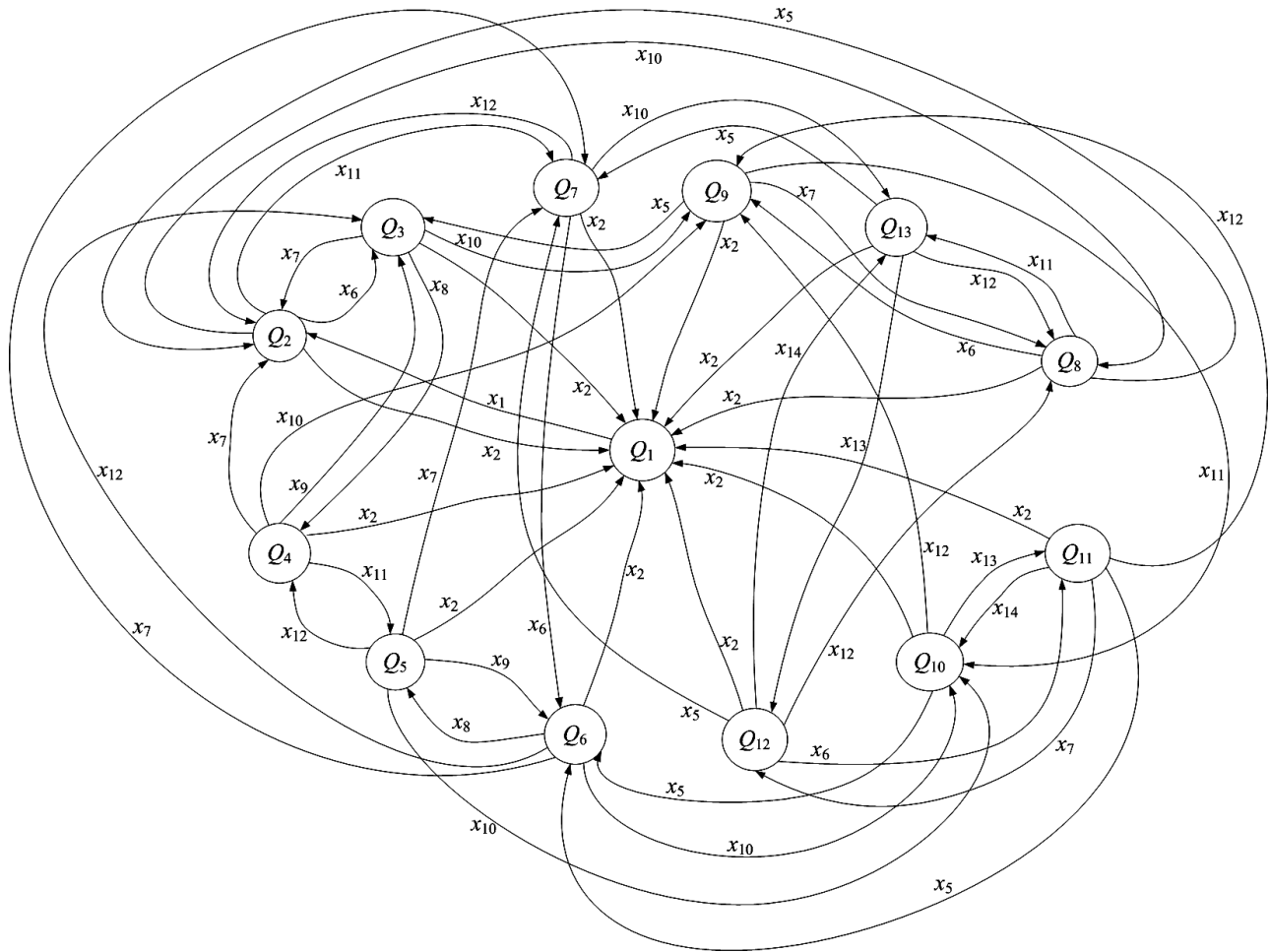


Рис. 5. Фрагмент графа диагностической КАМ БР для первого ствола

Фрагмент графа диагностической КАМ БР для первого ствола показан на рис. 5.

Общее количество состояний КАМ БР для первого ствола БР составляет 13.

К обходу I вида относятся состояния ЛПС № 2–6. Указанные ЛПС содержат по два состояния. Тогда длина обхода I вида в общей структуре КАМ $H_I = 6$ состояний.

К обходу II вида относятся состояния ЛПС № 11. Указанная ЛПС также содержит два состояния. При обходе I вида был проверен один комплект, тогда длина обхода II вида в общей структуре КАМ $H_{II} = 1$ состояние.

Длина тестовой программы при обходе III вида $H_{III} = 13 - 6 - 1 = 6$ состояний.

В соответствии с формулой (1) методическая достоверность (полнота) АД при выполнении тестовой программы, состоящей из обхода I и II видов будет следующей:

$$D(I) = (h_I H_{II} H_{III} + h_{II} H_{III} + h_{III}) / H_{III}(1 + H_{II}(1 + H_I)) = 6 * 1 * 6 / (6(1 + 1(1 + 6))) = 6 / 8 = 0,75;$$

$$D(II) = (6 * 1 * 6 + 1 * 6) / (6(1 + 1(1 + 6))) = 7 / 8 = 0,875.$$

Пусть в текущем состоянии q_1 получено значение $y_{дп} = y_{дп\ пор}$. Тогда $D_{min}(y_{дп\ пор}) = 0,95$.

Данное значение превышает $D(II)$. Это говорит о том, что длина тестовой программы $H(y_{дп\ пор}) = H_I + H_{II} + h_{III}$.

По формуле (1) $h_{III} = D_{min}(H_{III}(1 + H_{II}(1 + H_I))) - H_I H_{II} H_{III} - H_{II} H_{III} = 3,6$.

С учетом округления в большую сторону $h_{III} = 4$ состояния. Тогда $H(y_{дп\ пор}) = 11$. При этом методическая достоверность (полнота) АД при выполнении тестовой программы

$$D(U) = (h_I H_{II} H_{III} + h_{II} H_{III} + h_{III}) / H_{III}(1 + H_{II}(1 + H_I)) = (6 * 1 * 6 + 1 * 6 + 4) / (6(1 + 1(1 + 6))) \approx 0,958.$$

В качестве начального состояния тестовой программы $q_{ш0}$ целесообразно выбрать текущее рабочее состояние q_1 .

Таблица 3

Веса кратчайших путей

Начальные состояния	Конечные состояния и кратчайшие пути до них, секунд												
	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6	q_7	q_8	q_9	q_{10}	q_{11}	q_{12}	q_{13}
q_1	*	5	185	190	370	365	185	10	190	370	375	195	190
q_2	5	*	180	185	365	360	180	5	185	365	370	190	185
q_3	5	5	*	5	185	180	185	10	5	185	190	195	190
q_4	5	5	5	*	180	185	185	10	5	185	190	195	190
q_5	5	10	10	5	*	5	5	15	10	5	10	15	10
q_6	5	10	5	10	5	*	5	15	10	5	10	15	10
q_7	5	5	185	190	185	180	*	10	190	185	190	10	5
q_8	5	5	185	190	370	365	185	*	180	360	365	185	180
q_9	5	10	5	10	190	185	190	5	*	180	185	190	185
q_{10}	5	15	10	15	10	5	10	10	5	*	5	10	5
q_{11}	5	15	10	15	10	5	10	10	5	5	*	5	10
q_{12}	5	10	190	195	190	185	5	5	185	185	180	*	5
q_{13}	5	10	190	195	190	185	5	5	185	180	185	5	*

Веса кратчайших путей в секундах, определенные по алгоритму Дейкстры (1-й этап), приведены в табл. 3 [9].

Один из возможных вариантов ТП, определенный по алгоритму ближайшего соседа: $Q_{ш}(U) = q_1, q_2, q_8, q_9, q_3, q_4, q_5, q_6, q_7, q_{13}, q_{12}$. При этом время на выполнение ТП составит 400 секунд. Верхняя оценка погрешности найденного решения [4] такова, что вес построенной ТП может превышать вес оптимальной ТП не более чем в 2 раза.

ВЫВОДЫ

1. В рамках современных требований к автономности КА обоснована необходимость совершенствования АТД БА КА путем разработки алгоритма синтеза и оптимизации ТП на основе применения конечно-автоматных моделей, нечеткой логики и семантического анализа.

2. Предложена математическая постановка задачи синтеза и оптимизации ТП БА КА с учетом применения алгоритмов АТД на основе нечеткой логики.

3. С учетом требований, предъявляемых к достоверности диагностирования, определена минимальная длина ТП для первого ствола БР – 11 состояний.

4. Синтезирована квазиоптимальная ТП БР по критерию минимума временных затрат при значении методической достоверности АТД $D(U) \approx 0,958$. Верхняя оценка погрешности найденного решения такова, что вес построенной ТП может превышать вес оптимальной ТП не более чем в 2 раза.

Список используемых источников

1. Ефимов В.В. Нейроподобные сети в бортовых информационно-управляющих комплексах летательных аппаратов. – СПб.: ВИККА им. А.Ф. Можайского, 1996. – 113 с.

2. Управление космическими аппаратами и средствами наземного комплекса управления: учебник / Ю.С. Мануйлов, В.Н. Калинин, В.С. Гончаревский, И.И. Делий, Е.А. Новиков. – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2010. – 346 с.

3. Метрологическое обеспечение эксплуатации вооружения и военной техники: учебник / под ред. д-ра техн. наук А.Н. Миронова. – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2009. – 755 с.
4. *Козырев Г.И., Лоскутов А.И.* Основы испытаний бортовых радиоэлектронных систем: учеб. пособие. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2013. – 158 с.
5. Современная телеметрия в теории и на практике: учеб. курс / А.В. Назаров, Г.И. Козырев, И.В. Шитов и др. – СПб.: Наука и техника, 2007. – 672 с.
6. *Полянский В.И.* Нечеткие множества в моделях и методах диагностирования сложных технических систем: моногр. – М.: Полиграфсервис, 2010. – 242 с.
7. *Кочелаев Ю.С.* Автоматизированные испытательные комплексы. Вып. 3. Оптимизация алгоритмов автоматизированного тестового контроля: учеб. пособие. – МО РФ, 1992. – 118 с.
8. Нечеткая логика: алгебраические основы и приложения: моногр. / С.Л. Блюмин, И.В. Черпаков, И.А. Шуйкова, Г.В. Сараев. – Липецк: ЛЭГИ, 2002. – 112 с.
9. *Орлов А.Г., Севастьянов Н.Н.* Бортовой ретрансляционный комплекс (БРК) спутника связи. Принципы работы, построение, параметры / науч. ред. В.Н. Бранец. – Томск : Издательский Дом Томского государственного университета, 2014. – 208 с.

Б.М. Олейник,
кандидат военных наук;
Д.М. Попов

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ МНОЖЕСТВА АЛЬТЕРНАТИВ В ЗАДАЧАХ СИНТЕЗА СТРУКТУРЫ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Рассматривается методика, позволяющая решить задачу формирования множества альтернатив в задачах синтеза структуры систем управления. Дано математическое описание этапов выполнения методики с использованием теории графов.

Ключевые слова: структура сложных систем, системы управления.

ВВЕДЕНИЕ

Анализ и синтез структуры являются задачами, зачастую возникающими при исследованиях военно-технических систем, но чаще приходится решать задачу синтеза структуры. Ее цель состоит в выборе рациональных структурных характеристик системы, при которых ее качество удовлетворяет заданным критериям.

Основными задачами, возникающими при подобных исследованиях, являются: математическое моделирование системы, анализ свойств системы, наблюдение состояния системы, выбор. В свою очередь, задача выбора состоит из ряда подзадач: формирования множества элементов выбора, определения множества допустимых элементов выбора и условий допустимости (ограничений), определения условий выбора и критериев сравнения исходов [2].

Зачастую как структура системы рассматриваются только функциональные связи между ее элементами. Но при решении задачи синтеза структуры системы управления (СУ) этого явно недостаточно. Необходимо также решать задачу распределения задач управления между элементами СУ [3]. Анализ существующих СУ военного назначения показывает, что ее элементы могут находиться в различных состояниях. Как правило, каждое состояние элемента СУ характеризуется перечнем решаемых задач управления и перечнем возможных функциональных связей с другими элементами, а также другими параметрами.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Задачу формирования возможных вариантов структуры СУ предлагается решить с использованием математического аппарата теории графов [1].

Рассмотрим СУ, состоящую из конечного числа элементов. Представим СУ через множество V ее элементов v_i :

$$V = \{v_i, i = \overline{1, I}\}. \quad (1)$$

Каждый элемент v_i множества V ставим в соответствие множеству M^i , описывающему возможные состояния этого элемента (режимы работы) – m_j^i , тогда

$$v_i \equiv M^i = \{m_j^i, j = \overline{1, J}\}, \quad \cup M^i = M. \quad (2)$$

Выразим возможные функциональные связи между элементами СУ, находящимися в различных состояниях, через I -дольный граф KI (рис. 1.), в котором долями являются элементы множества V , а возможные связи характеризуются множеством EI :

$$K1_{card(v_1), \dots, card(v_i)} = (M, E1). \tag{3}$$

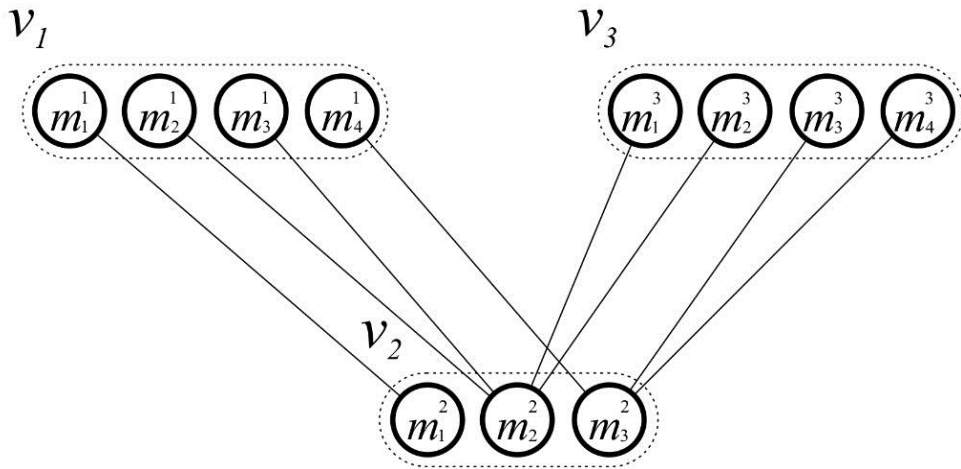


Рис. 1. 3-дольный граф, описывающий функциональные связи элементов СУ в различных состояниях (режимах работы)

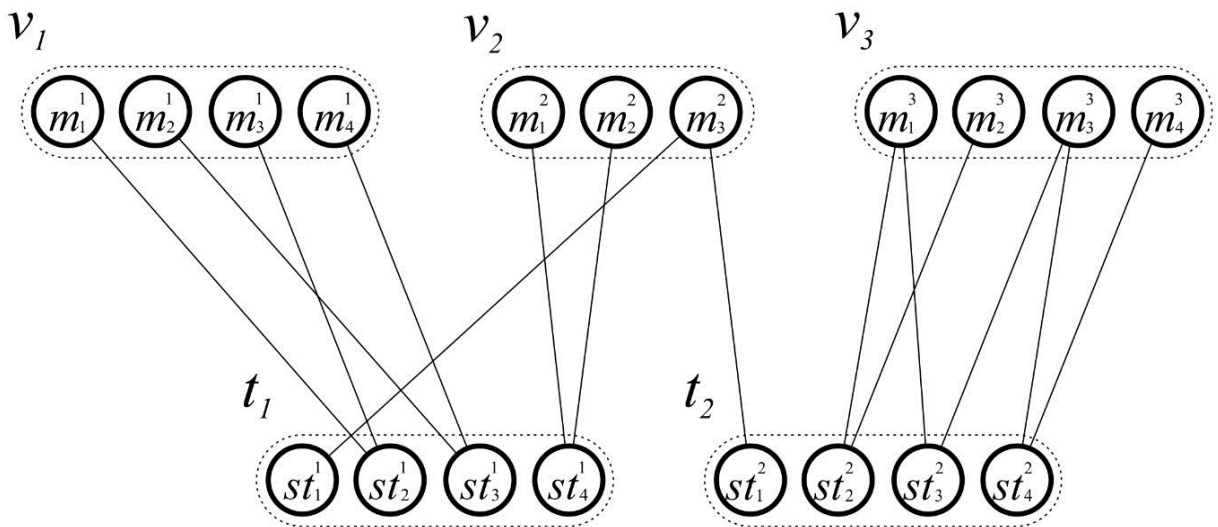


Рис. 2. 5-дольный граф, описывающий возможности элементов СУ решать задачи в различных состояниях (режимах работы)

Рассмотрим способ представления задач, решаемых СУ. Задачи, решаемые реальными СУ, как правило, объединяются по классам взаимно-зависимых задач, очередность выполнения которых строго регламентирована алгоритмом функционирования данной системы.

Перечень классов задач, решаемых СУ, представим множеством T , обладающим конечным числом элементов. Тогда

$$T = \{t_l, l = \overline{1, L}\}. \tag{4}$$

Каждому элементу t_l множества T ставим в соответствие множество ST^l , элементами которого являются задачи, решаемые СУ и принадлежащие классу t_l задач. В результате

$$t_l \equiv ST^l = \{st_n^l, n = \overline{1, N}\}. \tag{5}$$

Порядок следования элементов st_n^l в каждом множестве ST^l определен.

Опишем возможности элементов СУ, находящихся в различных состояниях, выполнять задачи через $(I+L)$ -дольный граф $K2$ (рис. 2.), в котором долями являются элементы множества W , а возможности элементов решать задачи характеризуются множеством $E2$:

$$W = M \cup T, \quad (6)$$

$$K2_{\text{card}(t_1), \dots, \text{card}(t_l), \text{card}(v_1), \dots, \text{card}(v_i)} = (W, E2). \quad (7)$$

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ВАРИАНТОВ ВЫБОРА

Построим множество всех остовных подграфов графа $K1_{\text{card}(v_1), \dots, \text{card}(v_i)}$, описывающего функциональные связи элементов СУ в различных состояниях (режимах работы):

$$P1 = \{p1_{\text{card}(v_1), \dots, \text{card}(v_i)}(V, E1') \mid E1' \in \mathfrak{B}(E1)\}. \quad (8)$$

Аналогично последнему выражению построим множество всех остовных подграфов графа $K2_{\text{card}(T), \text{card}(v_1), \dots, \text{card}(v_i)}$, описывающего возможности элементов СУ в различных состояниях (режимах работы) решать задачи, стоящие перед СУ:

$$P2 = \{p2_{\text{card}(t_1), \dots, \text{card}(t_l), \text{card}(v_1), \dots, \text{card}(v_i)}(W, E2') \mid E2' \in \mathfrak{B}(E2)\}. \quad (9)$$

Так как каждый элемент реальной СУ может находиться только в одном состоянии, т.е. одновременная работа в нескольких режимах невозможна, то необходимо ввести две функции φ_1 и φ_2 , исключающие из множеств $P1$ и $P2$ элементы, не удовлетворяющие указанным требованиям.

Функция φ_1 принимает значение, равное 1, в случае, если для любого элемента $v_i \in M^i$ множества V существует один и только один элемент m_j^i , степень соответствующей вершины в остовном подграфе $p1_{\text{card}(v_1), \dots, \text{card}(v_i)}(V, E1')$ которой больше или равна 1, степень других вершин, соответствующих остальным элементам m_j^i , равна 0. Это можно выразить следующим отношением:

$$\varphi_1(V, p1) = \left\{ \begin{array}{l} 1, \text{ если } \forall M^i \in V \exists! j \text{ deg}(m_k^i) \geq 1 \\ 0 \text{ в противном случае} \end{array} \right\}. \quad (10)$$

Таким образом, реализуется требование нахождения элемента СУ только в одном фиксированном состоянии.

Функция φ_2 принимает значение, равное 1, в случае, если для любого элемента $v_i \in M^i$ множества V существует один и только один элемент m_j^i , степень соответствующей вершины в остовном подграфе $p2_{\text{card}(T), \text{card}(v_1), \dots, \text{card}(v_i)}((V \cup T), E1')$ которой больше или равна 1, степень других вершин, соответствующих остальным элементам m_j^i , равна 0 и степень любой вершины графа, соответствующая элементу множества T , больше или равна 1. Это выражается следующим отношением:

$$\varphi_2(V, p2) = \left\{ \begin{array}{l} 1, \text{ если } (\forall M^i \in V \exists! j \text{ deg}(m_k^i) \geq 1) \wedge (\forall st_l^n \text{ deg}(st_l^n) \geq 1) \\ 0 \text{ в противном случае} \end{array} \right\}. \quad (11)$$

Таким образом, реализуется требование нахождения элемента СУ только в одном фиксированном состоянии и отсутствия хотя бы одной задачи, на решение которой не назначен ни один элемент.

Анализируя каждый вариант распределения задач управления между элементами, необходимо рассматривать только те варианты функциональных связей, при которых этот вариант реализуем. С точки зрения описания функциональных связей это означает, что любой элемент СУ, отвечающий за решение текущей задачи, должен быть функционально связан хотя

бы с одним элементом, отвечающим за решение последующей задачи, и любой элемент СУ, отвечающий за решение последующей задачи, должен быть функционально связан хотя бы с одним элементом, отвечающим за решение текущей задачи. Данное ограничение соответствует функции φ_3 .

Имея множества $P1$, $P2$ и функции $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$, задача формирования вариантов выбора сводится к следующему:

$$P = \{(p1, p2) | \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3\}. \quad (12)$$

Для оценивания вариантов структуры вводятся показатели, которые сопоставляют каждому элементу множеств $E1$ и $E2$ соответствующие значения входного параметра, например: времени передачи информации, вероятности передачи информации, вероятности выполнения целевой задачи элементов СУ и т.д. В этом случае ребрам графа $K1_{card(v_1), \dots, card(v_i)}$ и $K2_{card(t_1), \dots, card(t_l), card(v_1), \dots, card(v_i)}$ присваиваются веса, а сами графы становятся взвешенными.

Таким образом, указанная методика позволяет формировать полное множество альтернатив вариантов структуры СУ при заданных исходных данных и ограничениях. Формирование полного множества альтернатив выбора обеспечивает полное рассмотрение всех возможных вариантов построения систем управления и дальнейший выбор оптимальных вариантов согласно заданным критериям выбора.

Список используемых источников

1. Белоусов А.И., Ткачев С.Б. Дискретная математика: учебник для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 744 с.
2. Калинин В.Н. Теоретические основы системных исследований: краткий авторский курс. – Изд. второе, испр. и доп. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2013. – 278 с.
3. Цвиркун А.Д. Основы синтеза структуры сложных систем. – М.: Наука, 1982. – 200 с.

А.М. Андреев,
кандидат техн. наук, доцент

АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ СПУТНИКОВОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ДВИЖЕНИЯ СУДОВ

ЧАСТЬ 1. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ

В первой части статьи представлен обзор истории развития спутниковой автоматической идентификационной системы (АИС). Проведенный анализ тенденций развития спутниковой АИС отражает появление много-спутниковых орбитальных группировок, интегрирующих новую космическую технологию в дополнение к существующей, а также создание орбитальных группировок на базе микро- и наноспутников, в которых реализуется только функция приема и ретрансляции сигналов АИС.

Ключевые слова: автоматическая идентификационная система, космическая система, мониторинг движения судов.

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия в связи с ростом международных коммуникаций существенно возрос трафик судов в океанах, морях и других водных акваториях. Для обеспечения безопасной навигации движения судов служит ряд систем, новейшей из которых следует считать так называемую автоматическую идентификационную систему (АИС), средства которой стали обязательными для применения на судах с начала 2000-х годов. АИС предназначена для идентификации судов, определения их характеристик, местоположения, скорости, курса, а также других данных с помощью сообщений, периодически излучаемых бортовыми транспондерами в диапазоне УКВ радиоволн. С появлением АИС береговые службы получили практически неограниченные возможности мониторинга морских и речных акваторий в пределах прямой радиовидимости от базовых станций АИС. Расширение пространственного сектора мониторинга морского и особенно океанского трафика оказалось возможным только путем ретрансляции судовых сообщений АИС с помощью систем дальней связи, наилучшим решением которой в данном случае стали системы спутниковой передачи данных. За счет оснащения спутников приемниками сигналов судовых транспондеров АИС и ретрансляции принятых сообщений на наземные станции появилась возможность отслеживания судов в глобальном масштабе, и развилось новое направление – спутниковая АИС (С-АИС).

В декабре 2015 года произошло знаменательное событие в развитии С-АИС. После запуска 22 декабря одиннадцати спутников второго поколения «Орбкомм-2Ж» завершено развертывание орбитальной группировки С-АИС на базе новых спутников зарекомендовавшей себя наилучшим образом системы передачи данных ОРБКОММ.

В настоящей работе освещены основные этапы развития систем С-АИС в мире.

ПЕРВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАПУСКИ

На четвертом симпозиуме Международной академии астронавтики по малым космическим аппаратам наблюдения Земли в 2003 году была представлена статья Норвежского центра оборонных исследований FFI (Forsvarets Forskningsinstitutt), посвященная новой возможной роли малых КА в наблюдении мореплавания [1]. Авторами была показана возможность использования приемника АИС космического базирования в процессе поддержки отслеживания судов путем периодической передачи отчетов по результатам идентификации

кораблей и другой дополнительной информации. После этого началось создание спутников, оснащенных аппаратурой АИС.

В 2005 и 2006 годах Норвегия совершила две попытки вывода на орбиту разработанных в студенческих проектах спутников Ncube-1 и Ncube-2 с установленными на них приемниками АИС. На Земле транспондеры АИС планировалось размещать на оленях и благодаря этому отслеживать миграции оленей. К сожалению, ИСЗ Ncube-1 был потерян при аварии ракеты-носителя, а ИСЗ Ncube-2 не развернулся на орбите.

После норвежских исследований проблему С-АИС стали решать в США, Японии и в других странах. В Европе, кроме того, известны общеевропейские проекты 2011 года: LIMES (Land and Sea Monitoring for Environment and Security) и MARISS (Maritime Security Services Project) [2].

В 2006 году на орбиту был выведен американский технологический космический аппарат TacSat-2, предназначенный для отработки ряда технологий в военных целях. КА был создан фирмой MicroSat Systems по заказу исследовательской лаборатории ВВС США. Среди десяти его полезных нагрузок (ПН) была установлена экспериментальная аппаратура обнаружения морских целей TIE/AIS (Target Indicator Experiment/Automated Identification System). Аппаратура TIE была создана в центре космических технологий ВМС США NRL/NCST (Naval Center for Space Technology). ПН TIE включала широкополосное радиоприемное средство, функционирующее в диапазоне 0,5–18 ГГц и использующее 11 антенн, а также телескоп коммерческого назначения с апертурой 50 см.

Прием сигналов АИС аппаратурой TIE/AIS обеспечивался с помощью приемника программного радио SDR. Антенны для приема сигналов АИС были установлены на солнечных панелях и формировали направленную антенную решетку с усилением около 10 дБ. Принятые оцифрованные сигналы записывались и затем демодулировались с целью получения сообщений АИС. Выделенные сообщения с помощью протокола NMEA-0183 помещались в строки, которые передавались на Землю.

Эксперименты по приему сообщений АИС на борту космического аппарата TacSat-2 фактически стали первым положительным опытом использования С-АИС [8].

Наряду с государственными проектами ряд коммерческих организаций стали проводить эксперименты С-АИС, в частности фирмы SpaceQuest, ORBCOMM и exactEarth (дочернее предприятие компании COMDEV) [3].

В 2007–2009 годах на орбиту были выведены на борту последних ступеней ракет-носителей разработанные в Германии экспериментальные образцы полезной нагрузки типа Rubin, предназначенные для последующего оснащения спутников второго поколения «Орбкомм-2Ж». Образцы аппаратуры созданы компанией LuxSpace, являющейся дочерним предприятием немецкого концерна OHB-System, при участии Университета прикладных наук (в г. Бремен).

В 2009 году в рамках проекта ЕКА COLAIS были доставлены на борт МКС и размещены в модуле Columbus два комплекта приемников АИС, функционирующие на общую внешнюю антенну. На рис. 1 показан момент установки астронавтом приемной антенны на корпусе МКС. Приемник NorAIS, разработанный за один год Норвежским центром оборонных исследований FFI и компанией Kongsberg Seatex, использовался в течение июня–сентября 2010 года. Затем он был заменен приемником LuxAIS, который был разработан фирмами LuxSpace и EmTroniX. Однако в аппаратуре LuxAIS отказала аппаратура передачи данных, и неполадка не была устранена даже с помощью консультаций с Земли. В последующем снова был подключен приемник NorAIS, который проработал до настоящего времени.

Экспериментальные наблюдения на МКС показали весьма положительные результаты. В хороший день принималось порядка 400000 сообщений о координатах от более чем 22000 различных кораблей. В обобщенном анализе, выполненном в октябре 2011 года, количество принятых сообщений о местоположении превысило 110 миллионов от более чем 82000 зарегистрированных судов.



Рис. 1. Установка антенны АИС на модуле Columbus астронавтом Р. Бресником 21.11.2009г. (фото ЕКА, НАСА с сайта <https://directory.eoportal.org>)

СОЗДАНИЕ ОРБИТАЛЬНЫХ ГРУППИРОВОК

В 2008 году коммерческие фирмы США и Канады начали создавать орбитальные группировки С-АИС в интересах организации предоставления платных услуг глобального мониторинга трафика судов.

Канадская фирма exactEarth, являющаяся дочерним предприятием компаний COMDEV и испанской HISDESAT Servicios Estrategicos, стала оператором создаваемой системы exactVIEW и провайдером услуг С-АИС exactAIS. 28 апреля 2008 года по заказу фирмы exactEarth на полярную орбиту высотой 635 км был выведен первый экспериментальный комплект ретрансляторов системы С-АИС, установленный на наноспутнике CanX-6 [5].

Американская компания «Орбкомм», являющаяся оператором спутниковой системы передачи данных на базе многоспутниковой группировки низкоорбитальных аппаратов, в рамках создания системы второго поколения с 2008 года начала запускать спутники с дополнительной нагрузкой – приемниками С-АИС. 19 июня 2008 года с помощью РН «Космос-3М» на орбиту были выведены в кластерном запуске пять спутников (разработанных по «технологии быстрого запуска») вместе с третьим демонстрационным ИСЗ. Все спутники вскоре вышли из строя из-за проблем в системе электропитания.

В том же 2008 году компания «Орбкомм» заключает договор с американским производителем малых спутников компанией «Сьерра-Невада» о создании 18 ИСЗ «Орбкомм» второго поколения (OG2) с возможностью последующего серийного производства еще 30 спутников для расширения и обновления группировки второго поколения [9].

В 2012 году Китаем осуществлен запуск первого ИСЗ с приемником АИС ТТ1. Япония в 2012 году вывела на орбиту технологический ИСЗ SDS-4 с дополнительной нагрузкой SPAISE, обеспечивающей прием сигналов АИС [10].

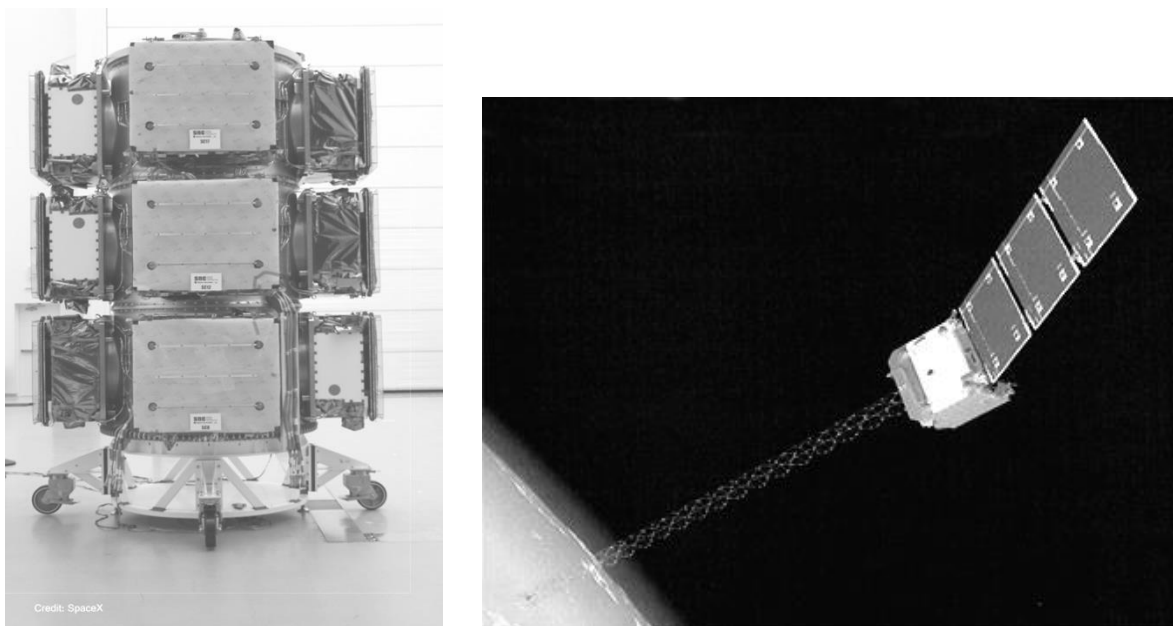
В 2014 году Россия произвела запуск космического аппарата оптико-электронного наблюдения «Ресурс-П2» с дополнительной нагрузкой – аппаратурой приема сигналов АИС.

Фактически с 2009–2010 годов начался новый этап в развитии С-АИС – создание орбитальных группировок спутников с отработанными в экспериментальных запусках приемниками сигналов корабельных транспондеров.

Норвегией были выведены на орбиту спутники AISSat-1 и AISSat-2.

Канадская компания exactEarth создала группировку со своей полезной нагрузкой на базе спутников AprizeSat 3–AprizeSat 10, ResourceSat 2, exactView 1 и NLS-14.

Американская компания «Орбкомм» после неудачи со спутниками, запущенными в 2008 году, сначала включает в свою группировку два люксембургских наноспутника VesselSat-1 и VesselSat-2 и производит в 2012 году пробный запуск одного ИСЗ второго поколения «Орбкомм-2Ж». Затем в 2014 и 2015 годах после кластерных запусков соответственно шести и одиннадцати аппаратов разворачивает группировку второго поколения [9]. На рис. 2 показаны сборка аппаратов «Орбкомм-2Ж» в головной части ракеты-носителя и внешний вид КА в развернутом состоянии на орбите.



а)

б)

Рис. 2. Внешний вид КА «Орбком-2Ж» перед запуском (а) и на орбите (б)

В 2013 году на борту МКС был проведен военно-космический эксперимент (ВКЭ) GLADIS (Global Awareness Data-Exfiltration International Satellite Constellation Concept), подготовленный исследовательской лабораторией ВМС США [12, 13]. Эксперимент должен был продемонстрировать возможности создания глобальной космической системы освещения обстановки на базе группировки, состоящей из порядка 30 наноспутников. Отработана технология одновременного ведения приема сигналов АИС от корабельных транспондеров и двустороннего обмена данными в поддиапазоне УКВ диапазона в районе 400 МГц с элементами распределенной наземной сети освещения надводной обстановки.

В США, кроме того, в 2015 году был произведен запуск четырех наноспутников дистанционного зондирования Земли типа Lemuig-2 с дополнительной полезной нагрузкой приема АИС.

Китай в 2015 году вывел на орбиту три аппарата класса «микроспутник» с приемниками АИС. Причем КА TT-3 и LilacSat-2 кроме аппаратуры мониторинга судов оснащены приемниками сигналов самолетных транспондеров системы автоматического зависимого наблюдения ADS-B, позволяющей отслеживать трафик воздушных судов.

В России в 2014 году на орбиту были выведены три ИСЗ с аппаратурой АИС, созданные компанией «Даурия Эйерспейс»: DX-1, Perseus-M1 и Perseus-M2 [4, 7].

Запуск космического аппарата DX-1, созданного первой частной космической компанией России «Даурия Аэроспейс» (Daugia Aerospace), осуществлен в июле 2014 года попутным запуском с КА «Метеор-М» №2 ракетой-носителем «Союз-2-1Б» с разгонным блоком «Фрегат». Запуск осуществлен в рамках подписанного в 2013 году соглашения о совместном использовании КА для мониторинга трафика судов между ФГУП «Морсвязьспутник» и компанией «Даурия Аэроспейс». КА массой 21 кг с расчетным сроком активного существования 3 года разрабатывался как экспериментальный аппарат, на базе которого должно быть испытано бортовое оборудование, отработаны технологии и программное обеспечение для создания унифицированной платформы микроспутника [11].

Двумя неделями ранее, перед запуском КА DX-1, с помощью ракеты-носителя «Днепр» в кластерном запуске из 33 малых КА на орбиту были выведены два наноспутника Perseus-M, также разработанные компанией «Даурия Аэроспейс». Однако в конце 2015 года в СМИ появилось сообщение, что компания завершила сделку по продаже двух спутников Perseus-M с необходимыми лицензиями на использование технологий создающей собственную орбитальную группировку американской компании Aquila Space.

Таким образом, можно считать, что с 2014–2015 годов начался третий этап развития С-АИС, характеризующийся практическим использованием различных многоспутниковых космических систем в интересах глобального мониторинга судоходства. Лидерами в предоставлении этих услуг на сегодняшний день являются компании exactEarth (Канада) и ORBCOMM (США).

Ниже представлена таблица КА, на которых установлены приемники АИС [6, 7].

Анализ приведенных в табл.1 данных отражает современное состояние С-АИС и тенденции развития новой космической технологии, что позволяет сделать следующие выводы:

- системы С-АИС базируются на космических аппаратах как в виде основной полезной нагрузки, так и в виде дополнительной;
- наиболее перспективным комплексированием дополнительной полезной нагрузки на сегодняшний день следует считать размещение средств АИС на КА передачи данных;
- при условии развития технологии комплексной обработки разнородной информации представляется актуальным размещение средств АИС на КА дистанционного зондирования Земли (как радиолокационных, так и оптико-электронных);
- для достижения высоких показателей системы С-АИС по глобальности, оперативности и периодичности наблюдения в ее составе должны использоваться десятки КА;
- применение средств АИС на борту микро- и наноспутников предоставляет уникальные возможности по развертыванию орбитальных группировок в короткие сроки при ограниченных финансовых и материальных затратах.

Таблица 1

Выведенные на орбиту космические аппараты с приемниками АИС

№ п/п	Дата запуска, м.н.	Наименование ИСЗ	Страна	Масса, кг	Примечание
1	27.10.2005 2005-043H	Ncube 2	Норвегия	1	Авария при выводе на орбиту
2	26.07.2006 2006-F03	Ncube 1 (Rudolf)	Норвегия	1	Авария при выводе на орбиту
3	12.07.2010 2010-035C	AISSat 1	Норвегия	6,5	-
4	08.07.2014 2014-037G	AISSat 2	Норвегия	6,5	-

Продолжение табл.1

№ п/п	Дата запуска, м.н.	Наименование ИСЗ	Страна	Масса, кг	Примечание
5	16.11.2009	ISS: ПН ColAIS (NorAIS и LuxAIS)	ЕКА, Норвегия	-	Два комплекта ПН на МКС
6	01.11.2007 2007-053B	Rubin 7-AIS	Германия	-	На 2-й ступени РН «Космос-3М»
7	28.04.2008 2008-021K	Rubin 8-AIS	Германия	7	На 4-й ступени РН «ПСЛВ-ЦА»
8	23.09.2009 2009-051F	Rubin 9 (AIS-Pathfinder 2)	Германия	16	На 4-й ступени РН «ПСЛВ-ЦА». Отказ на орбите
9	30.06.2014 2014-034B	AISat 1	Германия	14	-
10	16.12.2006 2006-058A	TacSat-2 (JWS D1, ST 6ISC)	США	370	Доп. ПН технологического ИСЗ
11	19.06.2008 2008-031C, E,A,D,F,B	Orbcomm-CDS 3 (Orbcomm FM29), Orbcomm FM37-FM41	США	80 115	Доп. ПН ИСЗ передачи данных. Отказ на орбите
12	12.10.2011 2011-058C, B	VesselSat-1, -2 (Orbcomm FM42, FM43)	Люксембург	29	Без ПН передачи данных
13	08.10.2012 2012-054B	Orbcomm FM101 (OG2 1, H1)	США	172	Дополнительная ПН ИСЗ передачи данных
14	14.07.2014 2014-040F, E,C,B,A,D	Orbcomm FM103, FM104, FM106, FM107, FM109, FM111	США	172	Дополнительная ПН ИСЗ передачи данных
15	22.12.2015 2015-081B, C,J,D,F,G, A,H,L,K,E	Orbcomm FM102, FM105, FM108, FM110, FM112-118	США	172	Дополнительная ПН ИСЗ передачи данных
16	03.08.2013	ISS, КК HTV-4 ПН GLADIS (в составе STP-H4)	США		Комплект ПН на МКС по программе ВКЭ МО США
17	28.04.2008 2008-021B	CanX 6 (NTS, exactView 0, EV 0)	Канада	6,5	-
18	22.07.2012 2012-039C	exactView 1 (EV 1)	Канада	100	-
19	28.09.2015 2015-052C	NLS-14 (exactView 9, EV9)	Канада	5,5	-
20	29.07.2009 2009-041F,D	AprizeSat-3, -4 (exactView-3,-4)	США	12	-
21	17.08.2011 2011-044E,F	AprizeSat-5, -6 (exactView-5, -6)	США	12	-
22	21.11.2013 2013-066A,K	AprizeSat-7, -8 (exactView-5R, -12)	США	12	-
23	19.06.2014 2014-033J,K	AprizeSat-9, -10 (exactView-11, -13)	США	12	-

Окончание табл.1

№ п/п	Дата запуска, м.н.	Наименование ИСЗ	Страна	Масса, кг	Примечание
23	19.06.2014 2014-033J,K	AprizeSat-9, -10 (exactView-11, -13)	США	12	-
24	28.09.2015 2015-052D E, F, G	Lemur-2 Joel, Peter, Jeroen, Chris	США	4	Доп. ПН SENSE ИСЗ с ОЭЖ
25	26.12.2014 2014-087A	Ресурс-П2	Россия	6570	Дополнительная ПН ИСЗ с ОЭЖ
26	08.07.2014 2014-037C	DX-1	Россия	27	-
27	20.06.2014 2014-033AF AD	Perseus-M1, -M2	Россия	5	-
28	17.09.2009 2009-049F	Sumbandila (ZA-002, SO 67)	ЮАР	81	Дополнительная ПН ИСЗ с ОЭЖ
29	17.05.2012 2012-025C	SDS-4	Япония	50	Доп. ПН SPAISE технол. ИСЗ
30	24.05.2014 2014-029A	ALOS 2 (Daichi 2)	Япония	2120	Доп. ПН SPAISE -2 ИСЗ с PCA
31	20.04.2011 2011-015A	ResourceSat 2	Индия	1200	Доп. ПН exactView 2 ИСЗ с ОЭЖ
32	10.05.2012 2012-021B	TT 1	КНР	9	Дополнительная ПН технол. ИСЗ
33	19.09.2015 2015-049	TT 3 (Luliang 1)	КНР		с приемом ADS-B
34	19.09.2015 2015-049K	LilacSat 2 (Zid- ingxiang 2)	КНР	11	с приемом ADS-B
35	25.09.2015 2015-051C	NJUST 2 (TW 1B, Tianwang 1B)	КНР		-
36	21.11.2013 2013-066Y	VELOX P2	Сингапур	1,33	-
37	28.09.2015 2015-052B	LAPAN-A2 (Indo- nesia-OSCAR 86)	Индонезия	76	Дополнительная ПН ИСЗ с ОЭЖ
38	21.11.2013 2013-066M	Triton 1	Нидерланды, Великобрит.	3	-
39	13.07.2014 1998-067GB	Lambdasat	Греция	1	Запущен с борта МКС
40	25.02.2013 2013-009B	AAUSAT 3	Дания	1	-
41	19.08.2015 1998-067HA	AAUSAT 5	Дания	1	-

Список используемых источников

1. Wahl T., Høye G.K. New Possible Roles of Small Satellites in Maritime Surveillance // Proc. of Fourth IAA Symp. on Small Satellites for Earth Observation. – Berlin, 2003.
2. Carson-Jackson J. Satellite AIS – Developing Technology or Existing Capability? // The Journal of Navigation. – 2012. – Iss.65. – P. 303–321.
3. Beattie A.M., Hellen O., Zee R.E. In-flight Operations of a High-availability Nanosatellite Constellation for Maritime Observation // 64th International Astronautical Congress, 23–27 Sept. 2013, Beijing, China. – Publ. by the IAF, University of Toronto. – IAC-13-B4.3.1. – P.1–8.
4. Шустиков В. Отчет о летных испытаниях космических аппаратов Perseus-M1 и Perseus-M2. 18 декабря 2015 года. – URL: <http://sk.ru/news/b/articles/archive/2015/12/18/otchet-o-letnyh-ispytaniyah-kosmicheskikh-apparatov-perseusm1-i-perseusm2.aspx> (дата обращения: 23.05.2016).
5. ExactVIEW открывает новые возможности. 01 августа 2012. – URL: <http://press.scanex.ru/index.php/ru/news/item/2476-exactview> (дата обращения: 23.05.2016).
6. URL: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/> (дата обращения: 23.05.2016).
7. URL: <http://space.skyrocket.de/directories/> (дата обращения: 23.05.2016).
8. The Target Indicator Experiment on TacSat-2 / T.M.Duffey, C.M.Huffine, S.B.Nicholson, M.L.Steininger // NRL Review. – 2008. – P.243–245.
9. Orbcomm Second Generation. – URL: <http://spaceflight101.com/spacecraft/orbcomm-g2/> (дата обращения: 23.05.2016).
10. Кучейко А. Контроль судоходства из космоса – сегодня и завтра // Новости космонавтики. – 2014. – №4. – С.54–55.
11. Ильин А. «Метеор» в хорошей компании // Новости космонавтики. – 2014. – №9. – С.33–41.
12. McLeroy J. Highlights of DoD Research on the ISS. 27 June 2012. – Houston, Texas: DoD Human Spaceflights Payloads Office.
13. GLADIS Hosted Payload Demonstrates Nanosatellite Technology /J.Middour, I.Galysh, K.Clark, T.Rodilosso et al // NRL Review. – 2013. – P.168–169.

А.В. Егин;
 Д.В. Левин,
кандидат техн. наук;
 А.В. Паршуткин,
доктор техн. наук, доцент

ОБОБЩЕННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ АКТИВНЫХ ПОМЕХ НА ТЕХНИЧЕСКОЕ СРЕДСТВО ПЕРЕХВАТА ПОБОЧНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ ОТ РАСТРОВЫХ СИСТЕМ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

В данной статье рассмотрен процесс воздействия структурных и шумовых помех на технические средства перехвата побочных электромагнитных излучений от растровых систем отображения информации из состава автоматизированных рабочих мест. Авторами предложена обобщенная математическая модель воздействия активных помех на технические средства перехвата побочных электромагнитных излучений, а также порядок оценивания результативности их применения в условиях неопределенности алгоритмов функционирования средств перехвата побочных электромагнитных излучений.

Ключевые слова: активные помехи, структурные помехи, побочные электромагнитные излучения, растровые системы отображения информации.

ВВЕДЕНИЕ

Функционирование технических средств (ТС) автоматизированных рабочих мест (АРМ) всегда сопровождается выводом изображений на экраны растровых систем отображения информации (РСОИ), такие, как мониторы, проекторы, видеостены и др. [1–3]. Отображение информации на экранах РСОИ осуществляется с использованием специализированных цифровых интерфейсов организации обмена данными. В настоящее время широко применяются интерфейсы стандарта DVI (*Digital Visual Interface*), в которых для обеспечения высокой пропускной способности реализован алгоритм кодирования TMDS (*Transition Minimized Differential signaling*), т.е. алгоритм дифференциальной передачи сигналов с минимизацией перепадов уровней.

Передача и отображение данных в РСОИ, использующих стандарт DVI, сопровождается возникновением сверхширокополосных побочных электромагнитных излучений (ПЭМИ) от сотен килогерц до единиц гигагерц [4–6]. Поэтому при обработке в АРМ информации, в том числе и служебной, необходимо обеспечивать ее защиту от утечки по техническим каналам.

Опасность ПЭМИ РСОИ определяется возможностью осуществлять перехват информации на достаточно больших расстояниях за счет реализации в ТС перехвата режимов накопления и адаптивных алгоритмов обработки данных. Большая дальность перехвата ПЭМИ РСОИ определяется возможностью сжатия излученного сигнала в точке приема в количество раз, соответствующее коэффициенту сжатия $K_{\text{ПЭМИ}}$:

$$K_{\text{ПЭМИ}} = N_F \cdot N_T \cdot N_R, \quad (1)$$

где N_F, N_T, N_R – коэффициенты повторения сигнала ПЭМИ по частоте, по времени и по пространству. Например, если монитор стандарта DVI отображает информацию с кадровой частотой 100 Гц в течение 10 с, то $N_T = 1000$. Если ширина спектра изображения 20 МГц, а прием возможен на частотах до 2 ГГц, то $N_F = 100$. Тогда даже при приеме на одну ненаправленную антенну $K_{\text{ПЭМИ}} = 10^5$. Поэтому применение устройств перехвата ПЭМИ с

накоплением во времени и по спектру позволяет вести перехват информации от РСОИ при уровнях сигнала, значительно меньших средней мощности фоновых шумов [3, 7].

Для защиты информации от утечки по каналу ПЭМИ применяются генераторы шума или системы активного зашумления (САЗ) с широкополосными шумовыми помехами. Мощность излучения таких помех в ряде ситуаций недопустимо высока и вызывает проблемы электромагнитной совместимости. Для снижения требуемой мощности излучения помех без потерь эффективности их применения в теории и практике радиоэлектронного подавления широко используется сочетание маскирующих (шумовых) и имитирующих (структурных) помех [3, 7]. Однако до настоящего времени не разработаны методы совместного применения шумовых и структурных помех в условиях неопределенности алгоритмов функционирования ТС перехвата ПЭМИ, а также методы оценивания эффективности применения таких помех при защите РСОИ, использующих стандарт DVI. Поэтому исследования процессов воздействия активных структурных помех на ТС перехвата широкополосных ПЭМИ от РСОИ, использующих стандарт DVI, являются актуальными.

Цель исследований, рассмотренных в статье, заключается в разработке обобщенной математической модели воздействия активных помех на ТС перехвата ПЭМИ от РСОИ, использующих стандарт DVI, в интересах обеспечения требуемой защищенности АРМ от утечки по техническим каналам при заданном допустимом уровне суммарной мощности помех.

СТРУКТУРА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВОЗДЕЙСТВИЯ АКТИВНЫХ ПОМЕХ НА ТЕХНИЧЕСКОЕ СРЕДСТВО ПЕРЕХВАТА ИНФОРМАЦИИ

Для математического описания воздействия активных помех, формируемых САЗ на ТС перехвата ПЭМИ, введены следующие достаточно общие допущения.

1. *Защищаемая информация и циркулирующие в модели сигналы описываются конечномерными векторами, допускающими вероятностное описание.* Циркулирующие в модели сигналы в виде непрерывных функций временных и пространственных координат представляются векторами в многомерных евклидовых пространствах. При этом вероятностное описание предполагает статистическую устойчивость характеристик векторов при росте числа однотипных событий, а множество событий связано с различными возможными состояниями одного источника информации и одного потенциального канала перехвата ПЭМИ.

2. *Информации о состоянии АРМ для ТС перехвата ПЭМИ доступна,* т.е. ТС перехвата ПЭМИ является единственным источником информации о текущем состоянии обрабатываемой в АРМ информации.

3. *Модель канала разведки ПЭМИ известна,* т.е. доступно статистическое описание связей текущего состояния обрабатываемой в АРМ информации и множества входных реализаций для любого варианта размещения ТС перехвата ПЭМИ.

4. *Предельная суммарная мощность излучения структурных и шумовых помех ограничена тем, что $P_{\Sigma} \leq P_{\text{доп}}$.*

Указанные допущения позволяют описать воздействие активных помех САЗ на ТС перехвата ПЭМИ с использованием языка теории множеств, теории меры и теории вероятностей. Модель воздействия САЗ на ТС перехвата ПЭМИ состоит из последовательности элементов и связей между ними (рис. 1). На рис.1 обозначены пространства: Λ – состояний обрабатываемой информации (информационного вектора), S – сигналов, E – электромагнитного поля, создаваемого ПЭМИ, Φ – состояний структурных составляющих помех, X – помех в формирователе структурных помех из состава САЗ, Z – электромагнитного поля, создаваемого структурными помехами САЗ, U – входных реализаций ТС перехвата ПЭМИ, Λ^* – решений системы перехвата ПЭМИ. Здесь также обозначены операторы: V – образования сигналов в АРМ, Y – образования помех в САЗ, L – образования электромагнитного поля,

создаваемого ПЭМИ, F – образования электромагнитного поля, создаваемого помехами САЗ, J – преобразования излучений сигналов и помех в каналах распространения, W – обработки в системе перехвата ПЭМИ. В первом приближении считается, что обратные связи между элементами отсутствуют. Операторы канала перехвата ПЭМИ изображены сплошными стрелками, формирования помех – штрихпунктирными, а оценивания результативности применения помех – штриховыми.

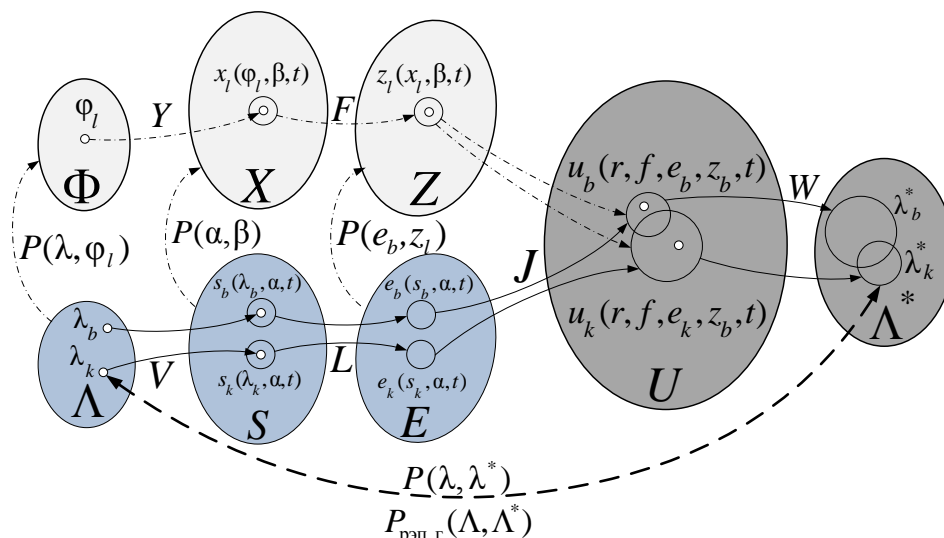


Рис. 1. Структура математической модели воздействия активных помех на техническое средство перехвата побочных электромагнитных излучений

Для описания преобразующих свойств модели воздействия САЗ на ТС перехвата ПЭМИ используется феноменологический принцип, в рамках которого каждый отдельный элемент является многополюсником с определенной связью входа и выхода. Число входов и выходов многополюсника соответствует размерности входных и выходных векторных сигналов. Каждому из элементов модели в виде многополюсника сопоставляется некоторый оператор, преобразующий множество входных параметров во множество выходных сигналов [8, 9].

Основу решения задачи оценивания результативности применения САЗ $R_{\text{рзп г}}$ составляет разработка математической статистической модели воздействия структурных помех на оптимальный в условиях воздействия шумовых и структурных помех приемник ТС перехвата ПЭМИ. Для информационного вектора АРМ вводится некоторая функция потерь $D(\lambda, \lambda^*)$, которая характеризует степень опасности или нежелательности использования системой перехвата ПЭМИ гипотезы о реализации λ^* при истинном состоянии λ . Данная функция отображает декартово произведение $\Lambda \times \Lambda^*$ на множество положительных вещественных чисел. В частном случае функция потерь может являться мерой «принадлежности» и имеет множество значений на интервале $[0; 1]$. В этом случае при $\lambda = \lambda^*$ выполняется $D(\lambda, \lambda^*) = 1$ и $D(\lambda, \lambda^*) = 0$ для безопасных состояний λ^* .

С учетом введенной функции потерь $D(\lambda, \lambda^*)$ при воздействии активных помех на ТС перехвата ПЭМИ для оценивания уровня защищенности информации, обрабатываемой в АРМ, можно использовать байесовский средний риск

$$\bar{r}_6 = \int_{\Lambda} \int_{\Lambda^*} \bar{D}(\lambda, \lambda^*) P(\lambda, \lambda^*) d\lambda d\lambda^*, \quad (2)$$

где λ^* – оценка реализованной альтернативы системой перехвата ПЭМИ, $\lambda \in \Lambda$;

$P(\lambda, \lambda^*)$ – вероятностная мера, описывающая совместный закон распределения вероятностей истинного состояния обрабатываемой информации λ и ее оценки λ^* .

При этом, если оператор W описывает оптимальный приемник, то выражение (2) описывает минимальный средний риск, который и может использоваться в роли показателя оценивания результативности применения САЗ

$$R_{\text{рзпг}} = \min_W \bar{r}_6.$$

Применительно к задаче защиты информации в РСОИ модель воздействия САЗ на ТС перехвата ПЭМИ представляется следующим образом. Защищаемая информация, обрабатываемая в АРМ, задается информационным вектором λ . При этом данные, выводимые на экран монитора, являются случайным событием λ из множества возможных альтернатив Λ . Конкретная реализация λ , $\lambda \in \Lambda$, представляется вектором конечной размерности. В общем случае вектор λ является составным [9] и включает как обычные параметры сигнала, так и параметры состояния, при вариациях которых могут изменяться форма сигнала и физический смысл отдельных компонент.

Данные, выводимые на экран монитора, представляются некоторыми блоками (фрагментами текста, пакетами данных, наборами кадров видеоданных и т.д.), состоящими из N_3 элементов некоторого множества всех возможных блоков. Каждый элемент блока представляется N_c возможными символами некоторого алфавита. Текущее состояние выводимых на экран монитора данных представляется элементом множества Λ , включающего все возможные реализации блока, т.е.

$$\Lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_b, \dots, \lambda_B\}, \quad (3)$$

где λ_b – информационный вектор из N_3 элементов, а $B = |\Lambda|$.

Обрабатываемая информация, описываемая выражением (3), имеет счетное множество состояний. В соответствии с принятыми допущениями существует вероятностная мера или априорный закон распределения вероятности на этом множестве $P(\lambda)$, где $\lambda \in \Lambda$.

С помощью оператора V формируется множество информационных сигналов S . Одному элементу $\lambda = \lambda_b$, где $b = 1, 2, \dots, B$, из множества данных, выводимых на экран монитора, Λ соответствует множество S_b реализаций сигнала $s_b(\lambda_b, \alpha, t)$, различающихся неинформативными (служебными) параметрами α , $s_b(\lambda_b, \alpha, t) \in S_b$, $S_b \subset S$, где α – вектор неинформативных (служебных) параметров. Как правило, оператор преобразования V множества информационных векторов во множество сигналов $\lambda_b \xrightarrow{V} s_b(\lambda_b, \alpha, t)$ задается драйвером периферийного интерфейса средства вычислительной техники и является биективным. Одному состоянию обрабатываемой информации λ_b может соответствовать множество S_b реализаций сигнала, различающихся неинформативными (служебными) параметрами α , $s_b(\lambda_b, \alpha, t) \in S_b$, $S_b \subset S$, но, как правило, соблюдаются условия $\bigcap_{b=1}^B S_b = \emptyset$, $\bigcup_{b=1}^B S_b = S$ и отображение V всегда остается взаимно однозначным.

Оператор преобразования L множества состояний сигналов во множество, характеризующее электромагнитное поле, $s_b \xrightarrow{L} e_b(s_b, \alpha, t)$ задается излучательными характеристиками оборудования АРМ для электрической и магнитной составляющих электромагнитного поля ПЭМИ. С помощью оператора L формируется множество, характеризующее электромагнитное поле, создаваемого ПЭМИ E в месте расположения АРМ. При этом разным элементам s_b и s_k из множества сигналов S могут соответствовать пересекающиеся подмножества E_b и E_k элементов $e_b(s_b, \alpha, t)$ электромагнитного поля из множества E .

Аналогичным образом операторы Y и F из возможных состояний информационных и служебных параметров структурных помех с учетом излучательных характеристик САЗ описывают формирование электромагнитного поля структурных помех в месте ее расположения.

Входная реализация системы перехвата ПЭМИ, описываемая множеством U , включает в себя бесконечное множество элементов – непрерывных функций пространства и времени, $u(r, f, e_b, z_b, t) \in U$, связанных через оператор канала распространения в пространстве J с электромагнитными полями, формируемыми ПЭМИ и САЗ, а также с обрабатываемой в АРМ информацией.

Входная реализация помех на входе приемника ТС перехвата ПЭМИ обусловлена наличием помех, создаваемых САЗ, и тепловыми шумами самого приемного устройства, а также наличием непреднамеренных помех, присущих среде распространения. Оператор J отображает множества, характеризующие электромагнитные поля ПЭМИ $e_b(s_b, r, t)$ и структурных помех $z_l(x_l, r, t)$, $z_l(x_l, r, t) \in Z$, во множество входных реализаций U системы перехвата ПЭМИ: $u_b(r, f, e_b, z_b, t) \in U$. Каждая реализация $u_b(r, f, e_b, z_b, t) \in U$ включает в себя сигнальную компоненту e_b , шумовую компоненту и компоненту, обусловленную действием САЗ z_b . Помеховые и шумовые компоненты в общем случае являются случайными процессами. Поэтому одному параметру λ_b может соответствовать некоторое подмножество $U_b, U_b \subset U$. Именно из-за наличия преднамеренных помех и тепловых шумов в системе перехвата ПЭМИ отображение $J: E \rightarrow U$ не инъективно и восстановление λ_b^* по сигналу ПЭМИ $u_b(r, f, e_b, z_b, t)$ в системе перехвата ПЭМИ (оператор W) выполняется с ошибками.

Оператор W является оператором оценивания информационного вектора, так как он формирует вектор оценки $\lambda^* \in \Lambda^*$, $W: (U_b) \rightarrow \Lambda^*$. Никаких ограничений на оператор W не накладывается. На основе статистического описания операторов V, J и W может быть получен совместный закон распределения $P(\lambda, \lambda^*)$, который используется для оценивания эффективности применения помех.

Исходя из анализа описанной модели, задаче воздействия активных помех на ТС перехвата ПЭМИ присущи следующие особенности. Общим объектом управления для обеих сторон является канал утечки информации через ПЭМИ. ТС перехвата ПЭМИ контролирует текущее состояние канала утечки информации через ПЭМИ и осуществляет адаптацию к его текущему состоянию, управляя алгоритмом обработки информации. Для САЗ текущая оценка результативности помех не наблюдаема. Поэтому для оптимизации структуры и параметров помех используются такие оценки результативности помех, которые гарантируют, что ни при каких изменениях алгоритма обработки информации в ТС перехвата ПЭМИ результативность помех не ухудшится.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО ПРИЕМНИКА ПЕРЕХВАТА ИНФОРМАЦИИ

В РСОИ могут обрабатываться статические и динамические данные. В первом случае данные на экране монитора представлены в виде текста или изображений, а во втором – в форме видеоизображения. Статические данные в виде текста или изображений, выводимые на экран монитора, образуют единичный кадр. Такой кадр в форме информационного вектора λ_b можно представить в следующем виде:

$$\lambda_b = [\lambda_{b1}, \lambda_{b2}, \dots, \lambda_{bx}, \dots, \lambda_{bX}], \lambda_b \in \Lambda,$$

где Λ включает все возможные реализации кадра.

При сведении всего разнообразия статических изображений к классам полутоновых изображений и наборам символов появляется возможность представления каждого элемента кадра λ_{bx} символами алфавита $\lambda_{sn}, \lambda_{bx} \in \{\lambda_{s1}, \dots, \lambda_{sn}, \dots, \lambda_{sN}\}$.

В самом общем виде для кадра с числом строк M_k и числом пикселей в строке N_k прямоугольный блок графической информации размерностью $M_s \times N_s$ можно представить матрицей яркостей $\mathbf{A}_{M_s N_s}$, причем все элементы данной матрицы $\mathbf{A}_{M_s N_s}$ однозначно определяются символом $\lambda_{sn}, \mathbf{A}_{M_s N_s} = f(\lambda_{sn})$:

$$\mathbf{A}_{M_s N_s} = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1N_B} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{1M_B} & \dots & a_{M_B N_B} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Формируемый в РСОИ видеосигнал включает в себя три канала цвета: красный, синий и зеленый. После декодирования и отображения пикселя на экране РСОИ пространственный сигнал $s_i(a_{in}, x)$ в пределах одной строки на экране монитора будет отличаться от информационного сигнала в кабеле DVI масштабом и наличием кодировки яркости последовательностью из десяти бит, которая зависит не только от текущего значения яркости, но и от предыдущего в строке $s_i(a_{in-1}, a_{in}, tV)$. Здесь V – скорость обновления управляющего сигнала засветки пикселей в РСОИ (развертки), которая зависит от размеров экрана и частоты развертки. Сигнал, соответствующий кодировке яркости выводимого пикселя от 0 до 255, определяется не только текущим значением яркости, но и значением яркости предыдущего пикселя и для одной строки в пределах блока графической информации представляет собой сумму

$$s_i(a_{in-1}, a_{in}, t) = \sum_{n=1}^{N_s} s_i(a_{in-1}, a_{in}, t - n\tau) \cdot \text{rect}[t - n\tau / (0,5\tau)], \quad (5)$$

где $\text{rect}[z] = 1$ при $|z| \leq 1$ и $\text{rect}[z] = 0$ в остальных случаях.

Сигнал, формируемый видеоадаптером $s_{ib}(\lambda_b, \alpha, t)$ в кабеле канала цвета $i \in \{к \text{ (красный)}, с \text{ (синий)}, з \text{ (зеленый)}\}$, для передачи информации в РСОИ будет следующим:

$$s_{ib}(\lambda_b, \alpha, t) = \sum_{k=1}^{N_k} \sum_{m=1}^{M_s} \sum_{n=1}^{N_s} s_{ib}(a_{imm-1}, a_{imm}, t - t_0 - n\tau - T_c m - T_k k) \cdot \text{rect}[t - t_0 - n\tau - T_c m - T_k k / (0,5\tau)],$$

где N_k – число выводимых кадров изображения без изменения информационного блока;
 T_k – длительность вывода одного кадра изображения;

- t_0 – момент времени начала вывода первого элемента информационного блока;
 τ – длительность вывода сигнала одного пикселя.

Учитывая известные решения во временной области для поля элементарного излучателя, [10] возбуждаемого коротким видеоимпульсом, электрическую $e_b(s_b, r, t)$ составляющую электромагнитного поля на расстоянии $|r|$ от источника излучения можно записать в следующем виде:

$$e_b(s_b, r, t) = -\frac{\mu_0}{4\pi|r|} \frac{\partial}{\partial t} s_{ib}(\lambda_b, \alpha, t - r/c) \otimes \Psi^{-1}[a_c(f, r)], \quad (6)$$

- где μ_0 – магнитная проницаемость среды;
 c – скорость света;
 $\frac{\partial}{\partial t}$ – операция дифференцирования;
 \otimes – операция свертки;
 Ψ^{-1} – оператор обратного преобразования Фурье.

В любой точке пространства, определяемой вектором R_n , в которой возможен перехват ПЭМИ, существует аддитивная смесь сигналов ПЭМИ красного $e_k(t, r, R_n)$, синего $e_c(t, r, R_n)$ и зеленого $e_3(t, r, R_n)$ цветов. Значит,

$$e_\Sigma(t, r, R_n) = e_k(t, r, R_n) + e_c(t, r, R_n) + e_3(t, r, R_n).$$

В последнем выражении при суммировании должны учитываться мгновенные фазы сигналов, что соответствует ситуации векторного сложения. В низкочастотной области ПЭМИ разницей фаз сигналов можно пренебречь и можно суммировать амплитуды сигналов каждого канала цветности. Это допустимо, если расстояние δr между источниками сигналов цветности не превышает четверти длины волны ПЭМИ. С другой стороны, с повышением частоты ПЭМИ увеличивается изрезанность излучательной характеристики $a_c(f, r)$.

При приеме излученного $e_\Sigma(t, r, R_n)$ сигнала можно выявить информацию, содержащуюся в матрице яркостей A_{MsNs} , и на основе связи можно определить $A_{MsNs} = f(\lambda_{sn})$.

Аддитивная смесь сигналов и помех на входе ТС перехвата ПЭМИ с учетом наличия естественных фоновых шумов $\eta_\Phi(t)$ задается в следующем виде:

$$u(t) = \sum_{m=1}^M e_\Sigma(t, r, R_n) + \sum_{k=1}^K z_b^k(s_b, r_k, R_n, t) + \eta_\Phi(t). \quad (7)$$

Временная структура входной реализации сигналов и помех (7) позволяет перейти к решению задачи синтеза оптимального приемника ТС перехвата ПЭМИ. Наилучшей помехоустойчивостью при приеме сигнала на фоне аддитивных флуктуационных помех в виде белого гауссовского шума обладает приемник, в котором производится сравнение получаемых сигналов с их образцами (эталонами) и вычисляется функция взаимной корреляции сигнала и принятой реализации

$$E_{\text{кор}} = \int_0^{T_H} u(t) \cdot e_\Sigma(t, r, R_n) dt,$$

где T_H – длительность накопления данных информационного блока, при этом $T_H = N_k T_k$.

При обнаружении сигнала величина взаимной корреляции сравнивается с некоторым пороговым значением, а при приеме одного детерминированного сигнала из множества известных сигналов ищется максимум взаимной корреляции. Поэтому квазиоптимальным

приемным устройством ТС перехвата ПЭМИ в условиях воздействия активных структурных помех, формируемых САЗ, является многоканальный коррелятор с решающим устройством, реализующим адаптивное правило принятия решений в зависимости от структуры и параметров активных помех.

В качестве примера совместного воздействия структурных и шумовых помех на ТР перехвата ПЭМИ рассматривался перехват блока информации отображаемой РСОИ в виде слова из пяти букв русского алфавита. При этом создавались структурные помехи, появляющиеся с некоторой вероятностью в моменты возможного возникновения ПЭМИ информационного сигнала, и непрерывный широкополосный шум. Фиксировалась степень совпадения амплитуд g структурной помехи и информационного сигнала, а мощность шумовых помех увеличивалась до уровня, исключающего возможность воспроизведения неизвестного слова.

Зависимости полученных значений коэффициента подавления K_{Π} от степени совпадения амплитуд g показаны на рис. 2.

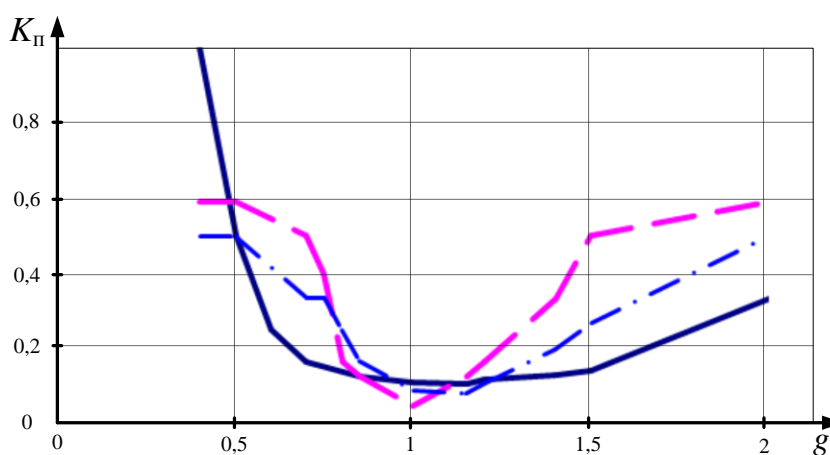


Рис. 2. Зависимости коэффициента подавления K_{Π} от уровня структурной отметки для трех типов помех

Исследования показали, что создание структурных помех с фиксированной амплитудой только в паузах информационного сигнала (на рис. 2 – штриховая линия) обеспечивает наилучшую результативность помех. Она достигается при точном соответствии амплитуд структурных помех и сигнала, $g = 1$. При этом необходим минимальный уровень шума для исключения перехвата информации через ПЭМИ РСОИ. Однако даже небольшие рассогласования амплитуд сигнала (на 15–30%) требуют повышать мощность шума в десятки раз для обеспечения защиты информации.

При применении структурных помех, аналогичных вышеописанным, но со случайной амплитудой (на рис. 2 – штрихпунктирная линия) диапазон возможных значений уровней структурных отметок расширяется, а требуемая вероятность появления ложных отметок снижается – и наоборот. Данный тип помех не требует точного равенства средней амплитуды структурных помех и импульсов ПЭМИ. Однако и минимально необходимые требования к уровню шума при этом возрастают.

Структурные помехи, не связанные с информационным сигналом (на рис. 2 – сплошная линия), формируются со случайной амплитудой, но независимо от наличия сигнала, т.е. равновероятно во все моменты времени, связанные с возможностью появления импульсов ПЭМИ. В этом случае допустимый разброс значений уровня структурной отметки находится на наибольшем интервале – от 0,7 до 1,65, что облегчает настройку формирователя и излучателя структурных помех в соответствии с характеристиками ПЭМИ конкретной РСОИ.

Полученные результаты демонстрируют возможность достижения гарантированной ре-

зультативности совместного применения структурных и шумовых помех при их суммарной мощности, не более чем на 5–20% превышающей мощность сигнала ПЭМИ. Полученные оценки требуемых уровней структурных и шумовых помех в сотни и даже в тысячи раз меньше по сравнению с излучениями существующих генераторов пространственного электромагнитного зашумления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе сформулированных достаточно общих допущений составлена операторная модель воздействия активных помех на ТС перехвата ПЭМИ. Показано, что необходимо использовать гарантирующий подход к оцениванию результативности применения активных помех. Для оценивания результативности применения различных видов структурных помех при защите данных, выводимых на экран монитора, от утечки по техническим каналам разработана математическая модель воздействия активных помех на ТС перехвата ПЭМИ. Проанализирована и обоснована возможность обеспечения требуемой результативности защиты информации при использовании в генераторе активного зашумления структурных и шумовых помех с меньшей в сотни и даже тысячи раз суммарной мощностью по сравнению с мощностью существующих генераторов, в которых используются только шумовые помехи.

Список используемых источников

1. *Хорев А.А.* Оценка возможности обнаружения побочных электромагнитных излучений видеосистемы компьютера // Доклады ТУСУРа. – 2014. – №2 (32). – С.207–213.
2. *Паршуткин А.В.* Основы оптимизации стохастических воздействий на каналы утечки информации // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. – 1999. – № 2. – С.17–24.
3. *Паршуткин А.В., Солодяников А.В.* Методика оценки качества защиты информации на основе использования обобщенных информационных показателей качества // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. – 2000. – № 2. – С.7–13.
4. Технические методы и средства защиты информации / Ю.Н. Максимов, В.Г. Сонников, В.Г. Петров, А.В. Паршуткин, М.А. Еремеев; под ред. В.Г. Сонникова. – СПб.: Полигон, 2000. – 320 с.
5. *Хорев А.А.* Техническая защита информации: учеб. пособие для студентов вузов. – М.: НИЦ «Аналитика», 2008. – Т.1: Технические каналы утечки информации. – 436 с.
6. *Бузов Г.А., Калинин С.В., Кондратьев А.В.* Защита от утечки информации по техническим каналам: учеб. пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 416 с.
7. *Куприянов А.И., Шустов Л.Н.* Радиоэлектронная борьба. Основы теории. – М.: Вузовская книга, 2011. – 800 с.
8. *Паршуткин А.В., Туктамышев М.Р.* Показатели результативности защиты информации способами скрытия и имитации // Известия вузов. Приборостроение. – 2001. – Т.44, № 9. – С.14–19.
9. *Паршуткин А.В.* Топологический подход к формализации задачи защиты информации в стратегическом управлении // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. – 2001. – № 4. – С.28–31.
10. *Крымский В.В., Бухарин В.А., Зялятин В.И.* Теория несинусоидальных электромагнитных волн. – Челябинск: Изд-во ЧГТУ, 1995. – 109 с.

Ю.С. Мануйлов,
доктор техн. наук, профессор;
Р.Р. Рахимов

СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРОВ ИНВАРИАНТНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛИНЕЙНЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА ПРИСПОСОБЛЕНИЯ К ВОЗМУЩЕНИЯМ

В работе рассмотрено решение задачи управления системой в условиях действия возмущений. Описана классификация регуляторов, приспособляющихся к возмущениям. Представлены формализация и решение задачи синтеза регуляторов, поглощающих возмущения, использующих возмущения и минимизирующих возмущения.

Ключевые слова: регулятор возмущений, поглощение возмущений, управляющее ускорение, квадратичный показатель качества Больца, асимптотический идентификатор Льюенбергера.

Известно, что все реальные системы управления функционируют в условиях тех или иных возмущений. Поэтому термин «возмущения» относится к особой категории входных сигналов системы, которые точно заранее не известны и которые не поддаются контролю проектировщика, т.е. представляют собой неуправляемые входные сигналы. Возмущения являются важным фактором в задаче построения управления, поскольку они обычно приводят к нежелательным эффектам в поведении управляемых систем. Наличие возмущений является неизбежным свойством всех практических задач управления, поэтому очевидно, что спроектированная система управления должна быть способна эффективно противостоять возмущениям, которые могли бы на нее действовать. Иными словами, система управления должна быть спроектирована таким образом, чтобы поддерживать заданное качество управления при наличии всех возмущений, которые могли бы действовать на систему в условиях реального времени.

Во многих практических ситуациях совершенно очевидно, что возмущения вызывают только нежелательные эффекты в поведении систем управления. При этом, в принципе, при решении задачи управления в условиях возмущений возможны три подхода.

Во-первых, возможен подход, предполагающий полную компенсацию действующих на систему возмущений. Регуляторы, реализующие этот подход, будем называть регуляторами, поглощающими возмущения.

Во-вторых, возможен подход, предполагающий, что возмущения иногда могут нежелательным образом влиять на поведение системы. В этом случае обеспечивается оптимальное приспособление регулятора к возмущениям. Такие регуляторы назовем регуляторами, использующими возмущения.

В-третьих, возможна оптимальная компенсация действующих возмущений с целью минимизации в некотором смысле влияния возмущений на поведение системы, что предполагает построение регуляторов, называемых регуляторами, минимизирующими возмущения.

Схематически классификация принципов синтеза регуляторов, приспособляющихся к возмущениям (РПВ), представлена на рис. 1.

В некоторых случаях выполнение заданных требований к проектируемой системе управления могут приводить к необходимости применения комбинации описанных выше принципов. Например, в задачах регулирования относительно заданной точки в фазовом пространстве, характеризующей требуемое состояние системы, при больших ошибках регулирования (на начальной стадии управления) можно применить принцип использования возмущений, а при малых ошибках регулирования (на конечной стадии управления) – принцип

поглощения возмущений. Синтезируемые при этом комбинированные регуляторы будем называть многофункциональными регуляторами, приспособляющимися к возмущениям.



Рис.1. Принципы синтеза регуляторов, приспособляющихся к возмущениям

Независимо от того, какой вариант приспособления к возмущениям используется, построение регуляторов, приспособляющихся к возмущениям, как правило, ведет к формированию закона управления, представляемого в следующем обобщенном виде:

$$u(t) = \varphi(x(t), z(t), t), \quad (1)$$

где $x(t)$ – текущее состояние системы;

$z(t)$ – текущее состояние обобщенного вектора возмущений.

Однако компоненты вектора параметров системы $x(t)$ и вектора параметров возмущений $z(t)$ обычно недоступны для непосредственного измерения, а величинами, поддающимися непосредственному измерению, являются только текущие значения выходных переменных системы $y(t) = \text{col}(y_i(t), i = \overline{1, m})$. Кроме того, известны параметры вектора управления $u(t) = \text{col}(u_j(t), j = \overline{1, k})$.

Таким образом, для решения задачи синтеза РПВ необходимо определить варианты получения оценок $\hat{x}(t)$ и $\hat{z}(t)$ за счет обработки в реальном масштабе времени измерений вектора выходных переменных $y(t)$ с учетом действующих сигналов управления $u(t)$.

СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРОВ, ПОГЛОЩАЮЩИХ ВОЗМУЩЕНИЯ

Для решения задач синтеза регуляторов рассмотрим расширенную систему «объект управления – измеритель – источник возмущений»:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= A(t)x + B(t)u(t) + F(t)z(t), \\ y &= C(t)x + E(t)u(t) + G(t)z(t), \\ \dot{z}(t) &= D(t)z(t) + \sigma(t). \end{aligned} \quad (2)$$

В системе (2) введены следующие обозначения: $\sigma(t)$ – случайная величина, описываемая импульсной функцией Дирака; A, B, F, C, E, G, D – матрицы соответствующей размерности. При этом первое дифференциальное уравнение системы (2) описывает линейный нестационарный объект управления, второе алгебраическое уравнение является моделью измерителя, а третье дифференциальное уравнение является обобщенной моделью действующих на объект возмущений. В соответствии с принципом поглощения возмущения управление $u(t)$ должно противодействовать влиянию его членов $F(t)z(t)$ и $G(t)z(t)$ в первом и втором уравнениях системы (2) и одновременно управлять состоянием $x(t)$ и выходом $y(t)$ системы

требуемым образом. Для достижения этого предположим, что общее управляющее воздействие u включает две составляющих: u_d , на которую возлагается задача приспособления к возмущению $z(t)$, и u_p , решающую задачу управления требуемым состоянием $x(t)$ и выходной $y(t)$ системы. Тогда

$$u = u_d + u_p. \quad (3)$$

Затем, подставляя выражение (3) в систему (2), получим:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu_p + Bu_d + Fz, \\ y &= Cx + Eu_p + Eu_d + Gz, \\ \dot{z} &= Dz + \sigma. \end{aligned} \quad (4)$$

Из уравнений (4) следует, что для полного поглощения возмущений вектор u_d должен выбираться таким образом, чтобы выполнялось условие

$$\begin{bmatrix} B \\ E \end{bmatrix} u_d(t) \equiv \begin{bmatrix} F \\ G \end{bmatrix} z(t) \quad (5)$$

при всех возможных векторах состояния возмущений $z(t)$. При этом искомое управление может быть сформировано в виде

$$u_d(t) = \begin{bmatrix} B \\ E \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} F \\ C \end{bmatrix} \hat{z}(t). \quad (6)$$

Несложно показать, что необходимым и достаточным условием существования единственного управления u_d , удовлетворяющего условию (5), является следующее:

$$\text{rang} \begin{bmatrix} B \\ E \end{bmatrix} = m,$$

где m – размерность вектора $u_d(t)$. Однако, если

$$\text{rang} [B \ E]^T > m,$$

то в соотношении (6) вместо обратной матрицы $\begin{bmatrix} B \\ E \end{bmatrix}^{-1}$ можно использовать псевдообратную

$\begin{bmatrix} B \\ E \end{bmatrix}^+$, которая, как известно [2], определяется следующим соотношением:

$$\begin{bmatrix} B \\ E \end{bmatrix}^+ = \left(\begin{bmatrix} B \\ E \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} B \\ E \end{bmatrix} \right)^{-1} \begin{bmatrix} B \\ E \end{bmatrix}^T. \quad (7)$$

При этом соотношение (6) трансформируется к виду

$$u_d(t) = \begin{bmatrix} B \\ E \end{bmatrix}^+ \begin{bmatrix} K \\ C \end{bmatrix} \hat{z}(t) \quad (8)$$

и позволяет получить наилучшее в среднеквадратическом смысле управление.

Возможно получение управления u_d и при условии $\text{rang} [B \ E]^T < m$. Однако при этом псевдообратная матрица преобразуется к виду

$$\begin{bmatrix} B \\ E \end{bmatrix}^+ = \begin{bmatrix} B \\ E \end{bmatrix}^T \left(\begin{bmatrix} B \\ E \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B \\ E \end{bmatrix}^T \right)^{-1}.$$

Для получения оценок $\hat{z}(t)$, используемых в соотношениях (6) и (8) при формировании управления, поглощающего возмущения, можно синтезировать асимптотический идентифи-

катор Люенбергера [3–5]. При этом могут быть получены и оценки $\hat{x}(t)$ текущего состояния объекта управления, используемые для формирования основного управления $u_p(t)$, например с использованием оптимального регулятора состояния [6]

$$u_p(t) = R(t)\hat{x}(t). \quad (9)$$

Методика синтеза таких регуляторов подробно изложена в работе [7].

Частным случаем решения рассматриваемой задачи является синтез регуляторов, поглощающих возмущения, действующий только на характеризуемый вектором параметров $y(t)$ выход объекта управления. Чтобы достигнуть полного поглощения всех возмущений, оказывающих влияние на поведение только компонентов вектора выходных переменных $y(t)$, воспользуемся соотношениями системы (2). При этом управление системой (2) также будем искать в форме (3).

Учитывая, что решение первого уравнения системы (2) можно представить в виде

$$x(t) = \Phi(t, t_0)x_0 + \int_{t_0}^t \Phi(t, \tau)B(\tau)[u_p(\tau) + u_d(\tau)]d\tau + \int_{t_0}^t \Phi(t, \tau)F(\tau)z(\tau)d\tau, \quad (10)$$

где $\Phi(t, t_0)$ – фундаментальная матрица системы, второе соотношение системы (2) можно представить в виде

$$y(t; x_0, t_0, z) = C(t)\Phi(t, t_0)x_0 + C(t)\int_{t_0}^t \Phi(t, \tau)B(\tau)u_p(\tau)d\tau + E(t)u_p(t) + E(t)u_d(t) + G(t)z(t) + C(t)\int_{t_0}^t \Phi(t, \tau)[B(\tau)u_d(\tau) + F(\tau)z(\tau)]d\tau. \quad (11)$$

Чтобы полностью исключить влияние возмущений на объект управления в течение всего времени t , необходимо и достаточно, чтобы управление u_d , поглощающее возмущение, удовлетворяло условию

$$E(t)u_d(t) + G(t)z(t) + C(t)\int_{t_0}^t \Phi(t, \tau)[B(\tau)u_d(\tau) + F(\tau)z(\tau)]d\tau \equiv 0 \quad (12)$$

для всех t и всех возможных $z(t)$. Таким образом, управление, поглощающее возмущения, действующее на выход системы (2), определяется как решение интегрального уравнения (12). Методика решения интегральных уравнений типа (12) подробно изложена в [8]. При этом одно из частных решений определяется соотношением (6).

СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРОВ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ВОЗМУЩЕНИЯ

Как ни странно, но иногда возмущения могут оказаться полезными в отношении желаемого влияния на поведение системы. Поэтому действие возмущений может быть использовано при выполнении главной задачи управления. Например, энергетические затраты и время переходного процесса, необходимые для приведения состояния системы $x(t)$ к некоторому заданному x_{st} , можно уменьшить, если как-то использовать естественное воздействие, обусловленное действием возмущений $z(t)$. При этом основная сложность, конечно, заключается в том, чтобы узнать, как именно изменять управление $u(t)$ с целью использования любого полезного эффекта, вносимого возмущениями.

Для реализации указанного подхода также потребуются получение оценок $\hat{z}(t)$ в реальном масштабе времени. Для достижения основной цели управления с одновременным макси-

мальным использованием действующих возмущений $z(t)$, моделируемых третьим уравнением системы (2), необходимо, чтобы управление $u(t)$, $t \in [t_0, T]$ минимизировало квадратичный показатель качества Больца:

$$J = \frac{1}{2} e^T(T) S e(T) + \frac{1}{2} \int_{t_0}^T [e^T(\tau) Q(\tau) e(\tau) + u^T(\tau) R(\tau) u(\tau)] d\tau, \quad (13)$$

где S, Q, R – положительно определенные симметрические весовые матрицы;
 $e(t) = y_{st} - y(t)$ – ошибка стабилизации в окрестности заданной точки выходного состояния;
 $y_{st}; [t, T]$ – заданный интервал управления.

Заметим, что при таком подходе к проектированию регуляторов, использующих возмущения, не производится разделение управляющего воздействия на две составляющих, как это делалось для регулятора, поглощающего возмущения. Наличие положительного члена $u^T R u$ в подынтегральном выражении показателя (13) стимулирует систему максимальным образом использовать «свободную энергию» возмущений $z(t)$ для достижения заданной точки регулирования y_{st} , для которой выполняется условие $e(t) = 0$.

$$u^0(x, z, y_{st}, t) = \arg \min \left[\frac{1}{2} e^T(T) S e(T) + \frac{1}{2} \int_{t_0}^T [e^T(\tau) Q(\tau) e(\tau) + u^T(\tau) R(\tau) u(\tau)] d\tau \right], \quad (14)$$

где $t \in [t_0, T]$; $u(\cdot, t) \in U$, где U – класс (область вариации) допустимых управлений.

Если теперь ввести в рассмотрение расширенный вектор состояния $\tilde{x} = (x \ y_{st} \ z)$, то система уравнений (3) в сочетании с очевидным условием $\dot{y}_{st} = 0$ может быть записана в виде

$$\dot{\tilde{x}} = \begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y}_{st} \\ \dot{z} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & 0 & F \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y_{st} \\ z \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} B & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ E & 0 & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ 0 \\ \sigma \end{bmatrix}, \quad (15)$$

где I – единичная матрица соответствующей размерности. При этом ошибка e стабилизации относительно заданной точки y_{st} может быть выражена через \tilde{x} в виде

$$e(t) = W \tilde{x}(t),$$

где $W = [-C : I : -G]$; $\tilde{x} = \text{col}(x, y_{st}, z)$.

Теперь критерий (13) может быть выражен через \tilde{x} , а для определения управления $u^0(\tilde{x}, t)$, минимизирующего показатель качества (13), с учетом уравнения (15)

$$J = \frac{1}{2} \tilde{x}^T(T) S^* \tilde{x}(T) + \frac{1}{2} \int_0^T [\tilde{x}^T(\tau) Q^* \tilde{x}(\tau) + u^T(\tau) R u(\tau)] d\tau, \quad (16)$$

где $S^* = [W^T S W]$; $Q^* = [W^T Q W]$, и может быть применена теория оптимального управления по линейному квадратическому критерию качества [6]. Окончательное выражение для синтеза управления, использующего возмущения, можно записать так:

$$u^0(x, y_{st}, z, t) = -(R^{-1} B^T K_x) x - (R^{-1} B^T K_y) y_{st} - (R^{-1} B^T K_z) z$$

или в более компактном виде – так:

$$u^0(\tilde{x}, t) = - \left[(R^{-1} B^T K_x) : (R^{-1} B^T K_y) : (R^{-1} B^T K_z) \right] \tilde{x}, \quad (17)$$

где матрицы K_x , K_y , K_z являются переменными и могут быть вычислены путем численного решения системы матричных дифференциальных уравнений Риккати:

$$\begin{aligned}\dot{K}_x &= (-A + BR^{-1}B'K_x)^T K_x - K_x A - C'QC; & K_x(T) &= C^T S C; \\ \dot{K}_y &= (-A + BR^{-1}B'K_x)^T K_y - C^T Q; & K_y(T) &= C^T S; \\ \dot{K}_z &= (-A + BR^{-1}B'K_x)^T K_z - K_z A - K_x F H; & K_z(T) &= 0.\end{aligned}\quad (18)$$

Отметим, что при реализации, управления с использованием соотношения (17) необходимо в \tilde{x} заменить x и z на их соответствующие оценки \hat{x} и \hat{z} .

СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРОВ, МИНИМИЗИРУЮЩИХ ВОЗМУЩЕНИЯ

Как показано в [9] модель объекта управления, измерителя и действующих на них возмущений может быть представлена в обобщенном виде:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= A(t)x + B(t)u(t) + F(t)\omega(t); \\ y &= C(t)x + E(t)u(t) + G(t)\omega(t); \\ \omega(t) &= H(t)z + L(t)x; \\ \dot{z} &= D(t)z + M(t)x + \sigma(x).\end{aligned}$$

Рассмотрим три варианта синтеза регуляторов, минимизирующих возмущения:

- 1) минимизация действия возмущений на объект управления;
- 2) минимизация действия возмущений на выход объекта управления;
- 3) минимизация действия комплекса возмущений, действующих и на объект управления, и на его выход.

В первом случае регулятор должен формировать компенсирующее управление $u_d(t)$, обеспечивающее минимум нормы:

$$J_1 = \left\| B(t)u_d + F(t) \begin{bmatrix} H(t) & L(t) \end{bmatrix} \begin{pmatrix} z \\ x \end{pmatrix} \right\|.$$

Введем обозначение $z^* = (z \ x)^T$. Тогда искомое управление u_d^0 может быть найдено из условия $J_1 = 0$ и, в общем случае, будет определяться соотношением

$$u_d^0 = -B^+ F [H \ L] z^*,$$

где B^+ – соответствующая псевдообратная матрица, при этом $B^+ = (B'B)^{-1} B'$.

Во втором случае регулятор должен формировать управление $u_d(t)$, обеспечивающее минимизацию нормы:

$$J_2 = \left\| E(t)u_d + G(t) \begin{bmatrix} H(t) & L(t) \end{bmatrix} z^* \right\|.$$

Тогда искомое управление u_d^0 может быть найдено из условия $J_2 = 0$ и, в общем случае, будет определяться соотношением

$$u_d^0 = -E^+ G [HL] z^*,$$

где E^+ – соответствующая псевдообратная матрица, при этом $E^+ = (E^T E)^{-1} E^T$.

В третьем случае регулятор должен формировать управление $u_d(t)$, обеспечивающее минимизацию нормы:

$$J_3 = \left\| \begin{bmatrix} B \\ E \end{bmatrix} u_d + \begin{bmatrix} FH & FL \\ GH & GL \end{bmatrix} z^* \right\|.$$

Тогда искомое управление u_d^0 может быть найдено из условия $J_3 \equiv 0$ и, в общем случае, будет определяться соотношением

$$u_d^0 = \begin{bmatrix} B \\ E \end{bmatrix}^+ \begin{bmatrix} FH & FL \\ GH & GL \end{bmatrix} z^*,$$

где $\begin{bmatrix} B \\ E \end{bmatrix}^+$ – соответствующая псевдообратная матрица.

Таким образом, в зависимости от конкретных требований, предъявляемых к синтезу инвариантного управления, может быть применен тот или иной подход. При этом на основе метода логико-аналитического синтеза [10] появляется возможность формировать многоконтурные системы управления, обеспечивающие выполнение динамических и точностных требований, предъявляемых к качеству функционирования системы управления в различных режимах, характеризующихся различной величиной исходных рассогласований текущего и требуемого состояния системы, а также уровня действующих на нее возмущений.

Список используемых источников

1. Беллман Р. Процессы регулирования с адаптацией. – М.: Наука, 1964. – 360 с.
2. Мануйлов Ю.С., Новиков Е.А. Преобразование и исследование математических моделей динамических систем. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2010. – 358 с.
3. Кузовков Н.Т. Модальное управление и наблюдающие устройства. – М.: Машиностроение, 1976. – 186 с.
4. Мануйлов Ю.С., Зиновьев В.Г., Толоконников А.В. Использование асимптотических идентификаторов для повышения качества угловой стабилизации космического аппарата нежесткой конструкции // Научное обозрение. – 2012. – №5. – С.357–367.
5. Мануйлов Ю.С., Зиновьев С.В. Методы информационного обеспечения процессов управления космическими аппаратами. – СПб.: ВКА им. А.Ф.Можайского, 2014. – 164 с.
6. Красовский А.А. Системы автоматического управления полетом и их аналитическое конструирование. – М.: Наука, 1973. – 560 с.
7. Задача синтеза оптимального регулятора стабилизации углового положения космического аппарата наблюдения / Ю.С. Мануйлов, В.Г. Зиновьев, С.В. Зиновьев, Р.Р. Рахимов // Т-сomm - Телекоммуникации и транспорт. – 2013. – №6. – С.53–55.
8. Краснов М.И., Киселев А.И., Макаренко Г.И. Интегральные уравнения, задачи и примеры с подробными решениями. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 192 с.
9. Джонсон С. Теория регуляторов, приспособляющихся к возмущениям // Фильтрация и стохастическое управление в динамических системах. – М.: Мир, 1980.
10. Мануйлов Ю.С. Метод логико-аналитического синтеза в задачах оптимального и адаптивного управления. – Л.: МО СССР, 1986. – 176 с.

П.А. Маслаков;
А.В. Паршуткин,
доктор техн. наук, доцент;
А.В. Фомин

МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КАНАЛА СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПОМЕХ

В статье рассматривается модель воздействия нестационарных помех на канал спутниковой связи. Представлена модель канала спутниковой связи стандарта DVB-S2, функционирующая в условиях воздействия нестационарных помех. В качестве показателя результативности воздействия нестационарных помех используется вероятность битовой ошибки в зависимости от коэффициента времени существования помехи. Проведен анализ воздействия импульсных помех разной интенсивности на канал спутниковой связи.

Ключевые слова: моделирование, нестационарная помеха, канал спутниковой связи, DVB-S2.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших задач при проектировании системы связи является оценивание ее помехоустойчивости в условиях воздействия помех разных типов. Для анализа помехоустойчивости системы связи, в том числе спутниковой, широко используется модель канала с аддитивным белым гауссовым шумом. В таком канале основными источниками ухудшения характеристик является тепловой шум, генерируемый в приемнике, а также естественные и искусственные источники стационарных шумов и помех. В то же время наземные станции спутниковой связи зачастую располагаются в районах со сложной радиоэлектронной обстановкой и вынуждены функционировать в условиях воздействия помех разного типа, в том числе нестационарных, которые, в свою очередь, могут быть как непреднамеренными, так и преднамеренными [1–4]. При этом под нестационарными понимаются помехи, вероятностные характеристики которых изменяются во времени.

В качестве источников непреднамеренных нестационарных помех могут выступать радиолокационные станции кругового обзора наземного и воздушного базирования. Примером источника преднамеренных нестационарных помех может служить передатчик помех с ограниченным энергопотенциалом, расположенный на борту беспилотного летательного аппарата [5].

В настоящее время вопрос воздействия нестационарных помех на широкоэвещательные системы спутниковой связи первого поколения достаточно хорошо изучен. Однако на современном этапе в системы спутниковой связи активно внедряются интегрированные телекоммуникационные технологии на основе транспортных протоколов MPEG-2 и IP/DVB, которые нашли свое отражение в распространенном стандарте DVB-S2. Он широко используется для обеспечения услугами телевизионного вещания стандартной и высокой четкости, интерактивных услуг, включая доступ в Интернет, а также в системах спутниковой связи двойного назначения [6]. В то же время вопросы воздействия нестационарных помех на системы спутниковой связи, использующие стандарт DVB-S2, не исследовались, поэтому оценивание помехоустойчивости систем спутниковой связи, применяющих данный стандарт, в условиях воздействия нестационарных помех является актуальной задачей.

Цель исследований, рассмотренных в статье, – оценивание помехоустойчивости отдельного канала спутниковой связи, использующего стандарт DVB-S2, при воздействии нестационарных помех.

СТРУКТУРА МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КАНАЛА СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПОМЕХ

Обобщенная структурная схема модели функционирования канала спутниковой связи включает в себя следующие элементы: модель наземной передающей станции, модель наземной приемной станции, модель спутникового ретранслятора и модель источника нестационарных помех (рис. 1). Кроме того, в состав радиолинии входят и два участка пространства распространения радиоволн: восходящий участок – от передающей станции до спутникового ретранслятора и нисходящий участок – от ретранслятора до приемной станции.

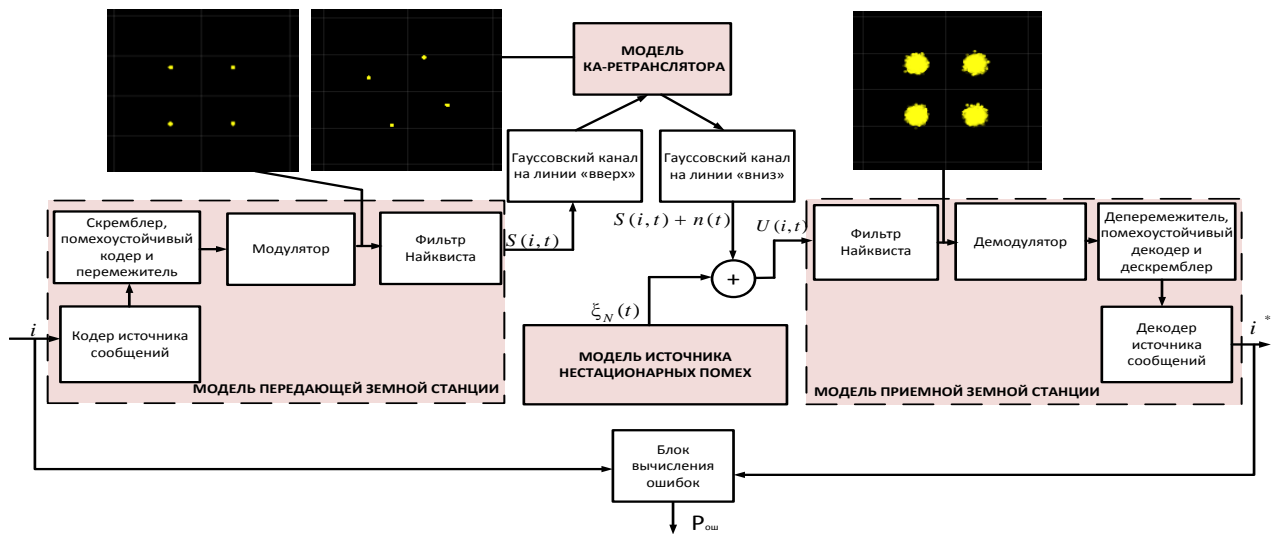


Рис. 1. Структурная схема модели канала спутниковой связи в условиях воздействия нестационарных помех

Информационное сообщение i , проходя через канал сигналообразования, преобразуется в полезный сигнал $S(i, t)$. С учетом воздействия гауссовских и нестационарных помех на вход приемника поступает аддитивная смесь

$$U(t) = S(i, t) + \xi_N(t) + n(t), \quad (1)$$

где $S(i, t)$ – полезный сигнал;
 $\xi_N(t)$ – нестационарная помеха;
 $n(t)$ – белый гауссовский шум.

Для математического описания нестационарной помехи, образованной одним или несколькими источниками, используем аддитивную смесь из N импульсов с угловой модуляцией $\psi_{\text{УМ}}(t)$ и случайными параметрами: амплитудой A_n , длительностью τ_n , временем появления t_n и частотой f_n [8]. Последовательность импульсов записывается в виде

$$\xi_N(t) = \sum_{n=1}^N A_n v\left(\frac{t-t_n}{\tau_n}\right) \sin(2\pi f_n t + \psi_{\text{УМ}}(t)), \quad (2)$$

где $v(x)$ – финитная функция, описывающая форму импульса и тождественно равная нулю вне интервала $0 \leq x \leq 1$.

Ущерб переданной информации i^* от воздействия нестационарных помех оценивается вероятностью битовой ошибки $P_{\text{ОШ}}$.

Математические выражения, применяемые в модели для описания характеристик скремблера, помехоустойчивого кода, перемежителя и модуляционного кодирования, детально описаны в технической документации консорциума DVB Project – организации, занимающейся разработкой стандартов в области цифрового телевидения для Европы [6].

Вследствие невозможности аналитического решения задачи оценивания помехоустойчивости системы спутниковой связи к воздействию нестационарных помех, для ее решения в программной среде Matlab разработана имитационная модель спутниковой радиолинии в условиях помех.

В стандарте DVB-S2 реализован механизм адаптивного помехоустойчивого кодирования и модуляции. Это позволяет оптимизировать параметры передачи для каждого пользователя в режиме вещания «точка-точка». Для реализации компромисса между излучаемой мощностью и спектральной эффективностью в DVB S2 предусматривается расширенный набор скоростей кодирования (1/4, 1/3, 2/5, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9 и 9/10) при различных видах модуляции (QPSK, 8-PSK, 16-APSK и 32-APSK). Следует подчеркнуть, что скорости кодирования 1/4, 1/3 и 2/5 введены для работы в комбинации с модуляцией QPSK для самых плохих условий связи, когда уровень сигнала меньше уровня шума [6].

В разработанной модели блок помехоустойчивого кодирования представлен в виде каскада из внешнего кода БЧХ и внутреннего LDPC-кода. В качестве ограничений при моделировании принято, что размер блока после кодирования имеет длину 64800 бит, который и является кадром физического уровня. Кроме того, моделирование проводилось применительно к условиям идеального функционирования систем фазовой и символьной синхронизации и отсутствия изменений в видах модуляции и скорости кодирования от кадра к кадру.

В большинстве спутниковых систем связи ретрансляторы используют нелинейные усилители мощности [7]. Эффективное усиление мощности получается за счет искажения сигнала, вызванного нелинейностью. Поэтому важным элементом построенной модели спутникового ретранслятора является усилитель, обладающий нелинейностью передаточной амплитудной характеристики и неравномерностью амплитудно-фазовой характеристики. Модулированный сигнал с QPSK-модуляцией и его искажение после прохождения нелинейного усилителя представлены в диаграммах созвездий сигналов в разных сечениях модели на рис. 1. Формат модуляции 16-APSK при ограниченных требованиях к линейности усилителя ретранслятора использует схемы предискажений и может применяться в передаче широкого набора приложений, включая телевизионное вещание. Формат 32-APSK предназначен для линейного режима работы ретранслятора и требует повышенных отношений сигнал/шум. Поэтому он, как правило, используется в специальных приложениях, хотя и является самым широкополосным в стандарте.

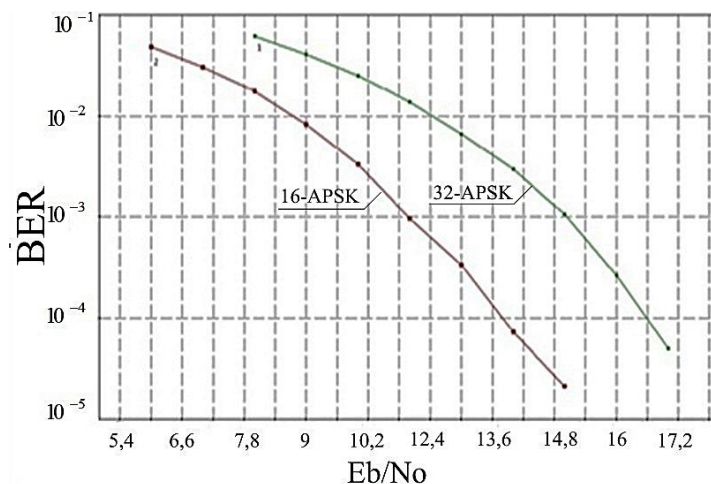


Рис. 2. Зависимость вероятности ошибки от отношения сигнал/шум для 16-,32-APSK

Некоторые результаты моделирования в виде построенных графиков зависимости вероятности ошибочного приема от отношения сигнал/шум для 16- и 32-APSK видов модуляции показаны на рис.2. Сравнение полученных зависимостей с описанными [6] показывает их сходство и подтверждает корректность работы вышеприведенной модели.

ОЦЕНИВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПОМЕХ НА КАНАЛ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

Оценим помехоустойчивость канала спутниковой связи для исследуемого вида помех. Для этого рассмотрим следующую ситуацию. Пусть некоторая станция помех генерирует импульсы шума с равномерной плотностью J в полосе частот сигнала. При этом импульсная мощность источника помех во время передачи импульса может превышать это значение. Исходя из предположения, что мощность помех может быть увеличена за счет уменьшения времени передачи (допускается использование части от полного времени передачи, обозначенное p , $0 < p < 1$). В течение используемого времени спектральная плотность мощности постановщика помех возрастет до J_0 / p , а усредненное по времени значение мощности будет постоянным.

Для рассмотренного случая средняя вероятность битовой ошибки для модуляции DS/BPSK без канального кодирования определяется следующим выражением [7, 9]:

$$P_{\text{ош}} = (1 - p)Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) + pQ\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0 + J_0 / p}}\right), \quad (3)$$

где E_b – энергия бита;

N_0 – спектральная плотность мощности шума;

p – коэффициент, условно названный «временем существования помехи»;

$Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right)$ – функция, определяющая вероятность ошибки для данного вида модуляции.

В работах [7, 9] доказано, что для выражения (4) существует такое значение p , при котором вероятность битовой ошибки P_b будет максимальной, т.е.

$$P_{\text{опт}} \approx \begin{cases} \frac{0,709}{E_b / J_0} & \text{для } \frac{E_b}{J_0} > 0,709; \\ 1 & \text{для } \frac{E_b}{J_0} \leq 0,709. \end{cases} \quad (4)$$

Вместе с тем в известных работах [7, 9] не учитывается возможность формировать импульсы различной длительности с изменяющейся импульсной мощностью в одном передатчике. В физически реализуемых передатчиках зависимость коэффициента полезного действия (КПД) от изменяющейся импульсной мощности излучения носит нелинейный характер. Рабочая точка усилительных приборов, как правило, оптимизирована в окрестностях некоторой максимальной импульсной мощности. При изменении положения рабочей точки происходит уменьшение их КПД, как показано на примере усилителя (рис. 3) на базе нитрид-галлиевого транзистора [10].

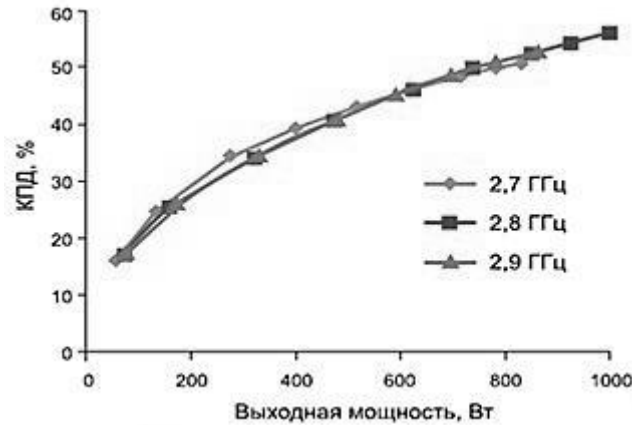


Рис. 3. Зависимость КПД от выходной мощности GaN транзистора

С учетом описанной выше особенности работы передатчика был проведен анализ влияния удельной длительности импульсных помех с постоянной средней мощностью источника питания на достоверность приема сигнала. На рис. 4 представлена зависимость вероятности битовой ошибки для разных коэффициентов времени существования помехи (для рабочего участка с КПД, изменяющим свое значение в интервале 25–55%).

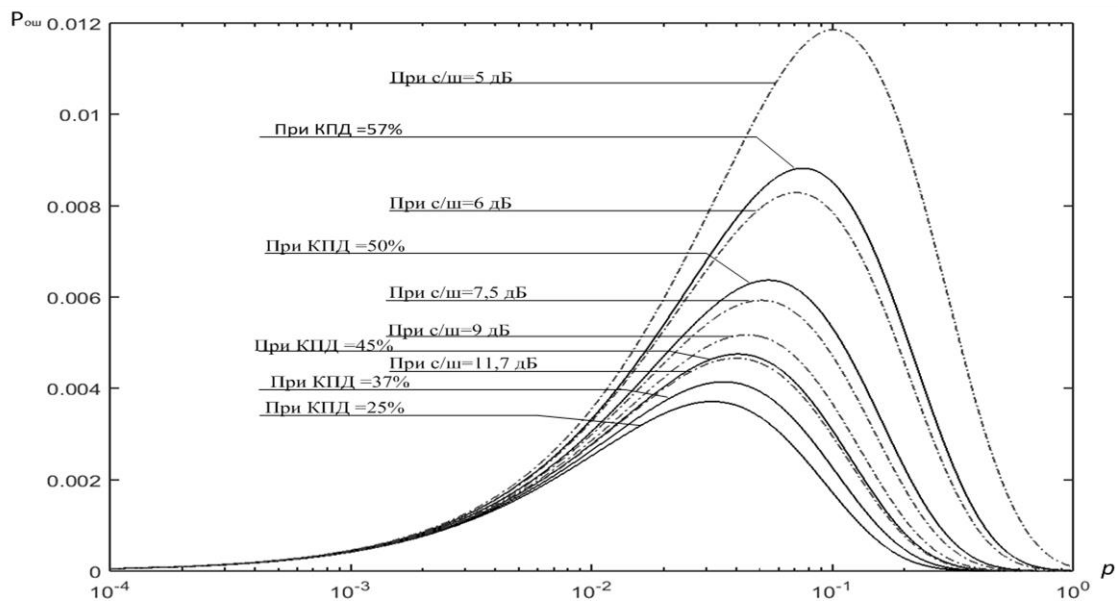


Рис. 4. Зависимость вероятности ошибки от коэффициента времени существования помехи

Анализируя полученное семейство зависимостей, приходим к выводу, что ущерб передаваемой информации по каналу связи, наносимый нестационарными помехами, может меняться в зависимости от коэффициента времени существования помех при повышении значения $P_{ош}$ от 10^{-8} до 0,012.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная модель функционирования канала спутниковой связи отличается от известных учетом влияния нестационарных помех на достоверность передачи информации. Имитационная модель позволяет исследовать помехоустойчивость канала в реальных условиях воздействия разных видов нестационарных помех. На частном примере воздействия нестационарных помех на линию связи без помехоустойчивого кодирования показано, что при низких соотношениях средних мощностей сигнал/шум нестационарные помехи более опасны, чем стационарные, вследствие резкого увеличения вероятности ошибки.

Список используемых источников

1. *Паршуткин А.В.* Концептуальная модель взаимодействия конфликтующих информационных и телекоммуникационных систем // Вопросы кибербезопасности. – 2014. – № 5 (8). – С. 2–6.
2. *Паршуткин А.В.* Основы оптимизации стохастических воздействий на каналы утечки информации // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. – 1999. – № 2. – С. 17.
3. *С.И. Макаренко* Динамическая модель системы связи в условиях функционально-разнородного информационного конфликта наблюдения и подавления // Системы управления, связи и безопасности. – 2015. – № 3. – С. 122–184.
4. *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. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2014. – Вып. 645. – С. 78–87.
5. *Мырова Л.О., Грибанов А.С., Рязановский Т.Л.* Обеспечение помехоустойчивости систем спутниковой связи // Электросвязь. – 2012. – № 8. – С. 32–36.
6. URL: <http://web.itu.edu.tr/pazarci/DVB-S2.htm/> (дата обращения: 20.08.2015).
7. *Скляр Бернгард.* Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: пер. с англ. – 2-е изд., испр. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1103 с.
8. *Левин Б.Р.* Теоретические основы статистической радиотехники. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1989. – 656 с.
9. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра прямой модуляции псевдослучайной последовательностью / В.И. Борисов, В.М. Зинчук, А.Е. Лимарев, В.И. Шестопапов. – М.: Радиософт, 2011. – 550 с.
10. GaN-транзистор Integra Technologies с выходной мощностью 1 кВт для радарных применений S-диапазана / Д. Уолкер, Г. Фармикоун, Ф. Боуери, Б.Д. Баталья // Компоненты и технологии. – 2014. – №1. – С. 84–87.

С.Г. Почивалов,
кандидат техн. наук;
С.А. Рябиик;
П.Н. Топчий

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ШУМОПОДОБНЫХ ПОМЕХ ДЛЯ КОМАНДНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКОЙ СИГНАЛОВ

В настоящее время командно-измерительные системы являются основным средством управления космическими аппаратами. Развитие вычислительных средств привело к широкому применению цифровой обработки сигналов для фильтрации и обработки принятой информации. При анализе сигнала необходимо учитывать возможность воздействия на приемное устройство различного вида помех, как естественного, так и искусственного происхождения. Статья посвящена созданию модели шумовой преднамеренной помехи.

Ключевые слова: цифровая обработка сигналов, преднамеренная помеха.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время применение методов цифровой обработки сигналов (ЦОС) в командно-измерительных системах (КИС) приобретает большое практическое значение [1]. Использование устройств ЦОС связано как с внедрением современной элементной базы радиоэлектроники, так и с расширением функциональных возможностей КИС.

Переход к использованию в радиотехнических системах цифровых методов обработки сигналов вместо классических аналоговых методов обусловлен неоспоримыми достоинствами цифровых устройств обработки сигналов. К этим достоинствам относятся:

- миниатюризация функциональных узлов КИС;
- высокая точность обработки сигналов;
- возможность реализации ряда операций и алгоритмов, принципиально не реализуемых с помощью аналоговых элементов.

Благодаря техническому прогрессу в области разработки и создания элементной базы ЦОС, особенно высокопроизводительных цифровых сигнальных процессоров (ЦСП) и программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) большой емкости, многие известные сложные вычислительные алгоритмы, в том числе алгоритмы оптимальных и адаптивных методов приема сигналов, могут быть реализованы в серийных устройствах.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СИГНАЛА И ПОМЕХИ В СИСТЕМАХ С ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКОЙ СИГНАЛА

Обобщенная модель радиолинии с цифровой обработкой сигналов в условиях воздействия преднамеренных помех изображена на рис. 1.

На рисунке использованы следующие обозначения: ИИС – источник информационного сигнала, ЛЧПУ – линейная часть приемного устройства; ФНЧ – фильтр нижних частот (антиэлайзинговый фильтр); АЦП – аналого-цифровой преобразователь; ЦСП – цифровой сигнальный процессор; ПЛИС – программируемая логическая интегральная схема большой емкости.

Цифровая обработка сигнала в приемных системах может быть использована с того места радиолинии, где частота сигнала понижается настолько, чтобы можно было без потерь дис-

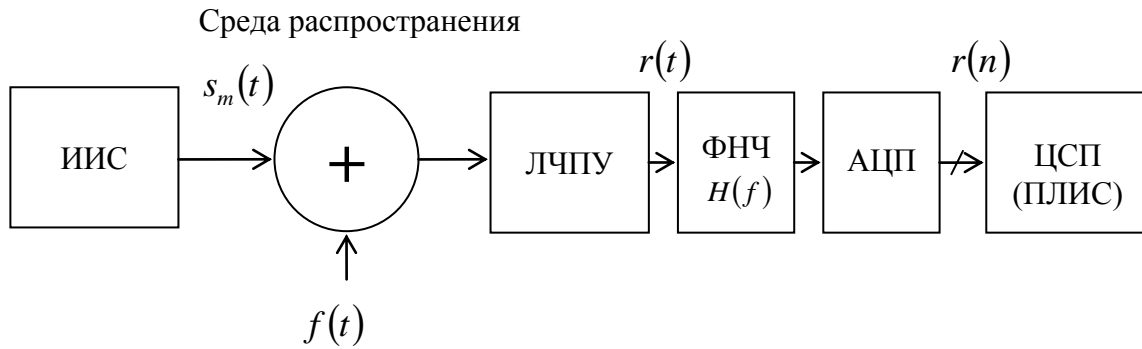


Рис. 1. Обобщенная модель радиолинии с цифровой обработкой сигналов

кретизировать сигнал с помощью АЦП и обработать затем отсчеты сигнала ЦСП или ПЛИС. При этом частота дискретизации и соответственно скорость потока данных, поступающих на сигнальный процессор, выбираются такими, чтобы они удовлетворяли требованиям теоремы Котельникова.

На выходе линейной части приемного устройства присутствует аддитивная смесь

$$r(t) = s_m(t) + f(t), \quad (1)$$

где $s_m(t)$ – сигнал из некоторого произвольного конечного набора сигналов

$$s_m(t) \in \{s_i(t)\} = \{s_1(t), s_2(t), \dots, s_{M_0}(t)\}; \quad i = 1, \dots, M_0; \quad 0 \leq t \leq T_S;$$

$f(t)$ – мешающее воздействие (преднамеренная помеха).

Первый элемент, имеющий непосредственное отношение к ЦОС, это так называемый антиэлайзинговый фильтр, который имеет заданную частотную характеристику

$$H(f) = \begin{cases} 1, & \text{для } |f| \leq f_H, \\ 0, & \text{для остальных } |f|. \end{cases} \quad (2)$$

Частота среза f_H такого фильтра должна выбираться равной половине частоты дискретизации АЦП, т.е.

$$f_H = \frac{f_T}{2},$$

которая, в свою очередь, определяется по теореме Котельникова, тогда

$$f_T = 2f_{\max},$$

где f_{\max} – максимально значимая частота в спектре $s_m(t)$.

В АЦП принятая смесь (1) подвергается дискретизации и квантованию (аналого-цифровому преобразованию), в результате чего формируется цифровая последовательность

$$r(n) = s_m(n) + f(n), \quad n = 1, \dots, N. \quad (3)$$

Полученные в результате аналого-цифрового преобразования последовательности представим векторами в унитарном пространстве:

$$\begin{aligned}\mathbf{r}^T &= [r_1 \ r_2 \ \dots \ r_N]^T, \\ \mathbf{s}_m^T &= [s_1 \ s_2 \ \dots \ s_N]^T, \\ \mathbf{f}^T &= [f_1 \ f_2 \ \dots \ f_N]^T\end{aligned}\quad (4)$$

и в векторном пространстве с заданными скалярным (\mathbf{r}, \mathbf{r}) произведением и нормой вектора –

$$\|\mathbf{r}\| = \sqrt{(\mathbf{r}, \mathbf{r})} = \sqrt{r_1^2 + r_2^2 + \dots + r_N^2}.$$

С учетом (4) входное воздействие (3) представляется в векторном виде следующей формулой:

$$\mathbf{r} = \mathbf{s}_m + \mathbf{f}. \quad (5)$$

Для векторной модели входного воздействия (5) статистические характеристики мешающего воздействия \mathbf{f} (преднамеренных помех) в общем виде задаются математическим ожиданием

$$M[\mathbf{f}] = \bar{\mathbf{f}} = [\bar{f}_1, \dots, \bar{f}_N]^T$$

и корреляционной матрицей

$$\mathbf{K}_f = M[(\mathbf{f} - \bar{\mathbf{f}})(\mathbf{f} - \bar{\mathbf{f}})^T],$$

где $M[\dots]$ – символ математического ожидания.

Очевидно, что матрица \mathbf{K}_f является положительно определенной симметричной матрицей Теплица [2]

$$\mathbf{K}_f = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1N} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{N1} & r_{N2} & \dots & r_{NN} \end{bmatrix}$$

с элементами:

$$r_{km} = \begin{cases} \sigma_k^2, & k = m, \\ \text{cor}(\xi_k, \xi_m), & k \neq m. \end{cases}$$

Диагональными элементами корреляционной матрицы являются дисперсии σ_k^2 отдельных компонент f_k , а недиагональными – корреляции $\text{cor}(\xi_k, \xi_m)$ компонент f_k и f_m случайного вектора \mathbf{f} .

Далее будем использовать нормированный вид корреляционной матрицы

$$\mathbf{K}_f = \mathbf{D}\mathbf{R}_f\mathbf{D}, \quad (6)$$

т.е. представление в виде комбинации двух матриц: диагональной матрицы средних квадратических отклонений

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sigma_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \sigma_N \end{bmatrix}$$

и матрицы коэффициентов корреляции

$$\mathbf{R}_f = \begin{bmatrix} 1 & \rho_{12} & \dots & \rho_{1N} \\ \rho_{21} & 1 & \dots & \rho_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \rho_{N1} & \rho_{N2} & \dots & 1 \end{bmatrix},$$

где $\rho_{km} = \frac{\text{cor}(\xi_k, \xi_m)}{\sigma_k \sigma_m}$.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПОМЕХ В СИСТЕМАХ С ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКОЙ СИГНАЛА

Для анализа помехоустойчивости космической радиолинии с цифровой обработкой сигналов в условиях преднамеренных помех необходимо знать корреляционные матрицы действующих преднамеренных помех.

Рассмотрим корреляционные характеристики, а именно нормированные корреляционные функции (НКФ) $R_{J_i}(n_0)$ шумовых последовательностей J_i на выходе АЦП для $n_0 \in [0, N-1]$ и матрицы коэффициентов корреляции (МКК) \mathbf{R}_{J_i} преднамеренных шумовых помех.

Спектральная плотность средней мощности $G_\xi(f)$ для шумовой помехи с равномерной спектральной плотностью в полосе АЭФ (широкополосный «белый» шум) $\xi(t)$ и $\overline{G_\xi(f)}$ для дискретной помехи изображены на рис. 2 и 3 соответственно. Утолщенным контуром выделена часть спектра дискретного процесса в полосе пропускания антиэлайзингового фильтра.

Математическая запись такой помехи имеет вид

$$G_\xi(f) = \begin{cases} \frac{J_1}{2} \overline{G_\xi(f)}, & f \in [-f_H, f_H], \\ 0, & f \notin [-f_H, f_H]. \end{cases} \quad (7)$$

В формуле (7) $\overline{G_\xi(f)} = \frac{f_T}{2f_H}$ – спектральная плотность средней мощности для шумовой помехи мощностью 1 Вт, $f_H \leq \frac{f_T}{2}$ – верхняя частота в спектре помехи, а f_T – частота дискретизации.

Можно показать [3], что корреляционная функция помехи на выходе АЦП из дельта-функции превращается в функцию вида

$$R_{J_1}(n_0) = \frac{\sin(\pi n_0)}{\pi n_0}. \quad (8)$$

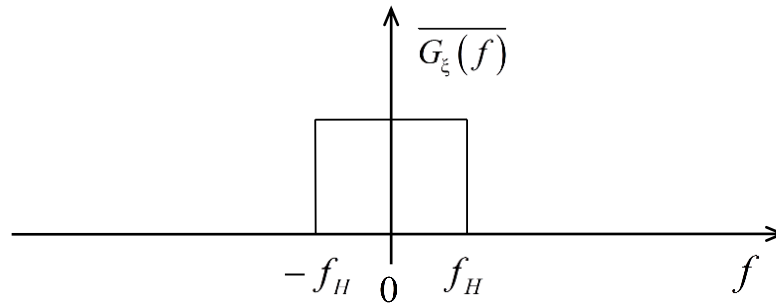


Рис. 2. Спектральная плотность средней мощности для шумовой помехи

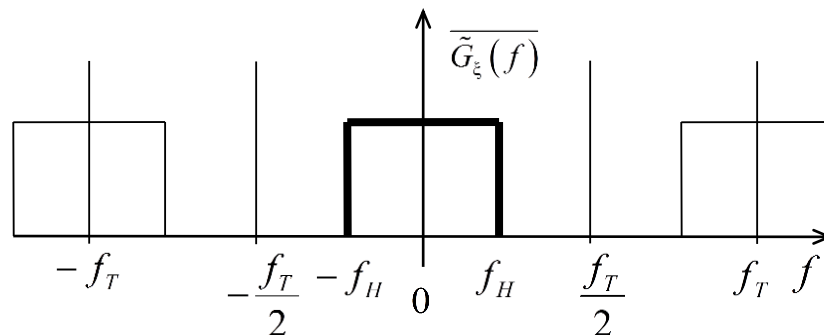


Рис. 3. Спектральная плотность средней мощности для дискретной шумовой помехи

Несмотря на то, что после АЭФ шум перестает быть белым и сформированная на выходе АЦП шумовая последовательность имеет нормированную корреляционную функцию (НКФ), которая описывается формулой (8), отсчеты вектора шума будут некоррелированными, и корреляционная матрица будет иметь диагональный вид, т.е.

$$\mathbf{R}_{J_1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Для узкополосного шума в полосе $f \in [-\nu_1 f_T/2; \nu_1 f_T/2]$, где $\nu_1 = [0, 1]$, а

$$R_{J_1}(n_0) = \frac{\sin(\pi n_0 \nu_1)}{\pi n_0 \nu_1} - \text{НКФ};$$

$$\mathbf{R}_{J_1} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{\sin(\pi \nu_1)}{\pi \nu_1} & \dots & \frac{\sin(\pi(N-1)\nu_1)}{\pi(N-1)\nu_1} \\ \frac{\sin(\pi \nu_1)}{\pi \nu_1} & 1 & \dots & \frac{\sin(\pi(N-2)\nu_1)}{\pi(N-2)\nu_1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\sin(\pi(N-1)\nu_1)}{\pi(N-1)\nu_1} & \frac{\sin(\pi(N-2)\nu_1)}{\pi(N-2)\nu_1} & \dots & 1 \end{bmatrix} - \text{МКК}.$$

Для узкополосного шума в полосе

$$f \in [(\mu_2 - \nu_2) f_T / 2; (\mu_2 + \nu_2) f_T / 2] \cup [-(\mu_2 - \nu_2) f_T / 2; -(\mu_2 + \nu_2) f_T / 2],$$

где $\nu_2 \in [0, 0.5]$, $\mu_2 \in [0, 1]$, $\mu_2 + \nu_2 \leq 1$,

$$R_{J_2}(n_0) = \frac{\sin(\pi n_0 \nu_2)}{\pi n_0 \nu_2} \cos(2\pi \mu_2 n_0) - \text{НКФ};$$

$$\rho_{km} = \frac{\sin(\pi |k-m| \nu_2)}{\pi |k-m| \nu_2} \cos(2\pi \mu_2 |k-m|) - \text{элементы МКК}.$$

Для монохроматической помехи

$$R_{J_3}(n_0) = \left[1 - \frac{|n_0|}{N}\right] \cos(2\pi \mu_3 n_0) - \text{НКФ};$$

$$\rho_{km} = \left[1 - \frac{|k-m|}{N}\right] \cos(2\pi \mu_3 |k-m|) - \text{элементы МКК}.$$

Для многочастотной помехи

$$R_{J_3}(n_0) = \sum_{i=1}^M \left[1 - \frac{|n_0|}{N}\right] \cos(2\pi \mu_{3i} n_0) - \text{НКФ};$$

$$\rho_{km} = \sum_{i=1}^M \left[1 - \frac{|k-m|}{N}\right] \cos(2\pi \mu_{3i} |k-m|) - \text{элементы МКК}.$$

Для хаотической импульсной помехи

$$R_{J_4}(n_0) = \exp(-2\lambda_0 n_0) - \text{НКФ};$$

$$\rho_{km} = \exp(-2\lambda_0 |k-m|) - \text{элементы МКК},$$

где λ_0 – среднее число импульсов в единицу времени.

Для помехи в виде несущей, модулированной по частоте

$$R_{J_5}(n_0) = \frac{\sin\left(\frac{\pi n_0 m}{N} \left(1 - \frac{n_0}{N}\right)\right)}{\frac{\pi n_0 m}{N}} \cos(2\pi \mu_5 n_0) - \text{НКФ};$$

$$\rho_{km} = \frac{\sin\left(\frac{\pi |k-m| m}{N} \left(1 - \frac{|k-m|}{N}\right)\right)}{\frac{\pi |k-m| m}{N}} \cos(2\pi \mu_5 |k-m|) - \text{элементы МКК},$$

где $m = 2f_{dev} T_S$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье рассмотрены семь видов возможных преднамеренных помех, влияющих на функционирование РЭС. Предложен удобный способ математического моделирования помеховой обстановки. Создание моделей помех и использование их при приеме сигналов позволяют оценить показатели помехоустойчивости космических радиолиний.

Список используемых источников

1. *Молотов Е.П.* Наземные радиотехнические системы управления космическими аппаратами. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 256 с.
2. *Сергиенко А.Б.* Цифровая обработка сигналов: учебник для вузов. – 2-е изд. – СПб.: Питер, 2007. – 751 с.
3. *Оппенгейм А., Шафер Р.* Цифровая обработка сигналов. – М.: Техносфера, 2006. – 856 с.

О.И. Дидык;
А.П. Доронин,
доктор техн. наук, профессор;
Н.А. Козлова;
В.М. Петроченко,
кандидат техн. наук, доцент;
С.А. Шмалько

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ СЛОИСТООБРАЗНОЙ ОБЛАЧНОСТИ НАД ЦЕНТРАЛЬНЫМИ РАЙОНАМИ РОССИИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПРОБЛЕМЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ

На основании обработки материалов самолетного зондирования атмосферы над Москвой приводятся данные о фазовом состоянии внутримассовых и фронтальных слоистообразных облаков над центральными районами России в интересах решения прикладных задач. Полученные данные о распределении фаз во внутримассовых и фронтальных облаках над центральными районами России в течение года могут использоваться для выбора реагентов и высоты засева облаков при проведении работ с целью регулирования осадков и рассеяния облачного покрова.

Ключевые слова: внутримассовые слоистообразные облака, фронтальные слоистообразные облака, модифицирование, самолетное зондирование атмосферы, фазовое состояние слоистообразных облаков.

ВВЕДЕНИЕ

Практика работ по модифицированию (МОДИФ) облаков показала, что при решении вопроса о возможности и целесообразности их проведения в том или ином физико-географическом районе необходимы сведения об основных характеристиках облачных систем, среди которых особое место занимает фазовое состояние. Данные о фазовом состоянии слоистообразных и конвективных облаков имеют большое значение для их МОДИФ с целью регулирования осадков и молниевой активности, рассеяния (стабилизации) облачного покрова. За последние годы в связи с тем, что расширяются работы по метеозащите мегаполисов от выпадения обильных летних и зимних осадков, потребность в таких сведениях значительно возросла.

Различие в методах и средствах МОДИФ облаков и туманов обуславливает необходимость подразделения их на теплые (облака и туманы, наблюдаемые в атмосфере при температуре воздуха выше 0°C) и переохлажденные (облака и туманы, наблюдаемые в атмосфере при температуре воздуха ниже 0°C).

В настоящее время наиболее проработанными и практически реализуемыми являются способы и методы МОДИФ переохлажденных облаков и туманов. В частности, в результате многочисленных натурных экспериментов, проведенных во второй половине XX столетия на полигонах Центральной аэрологической обсерватории и Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института, были получены критерии пригодности переохлажденной слоистообразной облачности к МОДИФ с целью искусственного вызывания осадков (изменения их интенсивности) и рассеяния облачного покрова [1, 2]. Следует отметить, что фазовое состояние облаков является одним из обязательных параметров этих критериев.

ХАРАКТЕРИСТИКА ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДИКА ИХ ОБРАБОТКИ

Сведения о фазовом состоянии облаков различных форм представлены в ряде фундаментальных справочников [3, 4] и монографий [5, 6]. В отдельных работах фазовое состояние облаков рассматривается для конкретных районов, например: Украины [7], Средней Азии [8], Северного Казахстана [9].

Вместе с тем работ, содержащих детальные сведения о фазовом состоянии слоистообразной облачности над центральными районами России применительно к проблеме МОДИФ, практически нет. С целью восполнения данного пробела авторами выполнена обработка материалов самолетного зондирования атмосферы ТАЭ-7,7м (5870 подъемов самолетов-зондирующих) над Москвой за период 1953–1964 годов.

Данные для Москвы считались репрезентативными для центральных районов России в соответствии с результатами исследований пространственной изменчивости характеристик слоистообразной облачности [10]. Как показано в упомянутой работе, данные о характеристиках облачности могут быть распространены на значительные площади (сотни и тысячи квадратных километров) без существенных временных изменений. В таких пределах эффекты анизотропности и неоднородности структуры облачных полей, по крайней мере, в первом приближении, могут не учитываться [11]. В этом смысле данные для одного пункта, над которым располагается центральная часть облачного массива, могут считаться репрезентативными и показательными для всего рассматриваемого района [12].

При анализе материалов зондирования к внутримассовой слоистообразной облачности (ВСО) были отнесены сплошные одно- и многослойные слоистые (St) и слоисто-кучевые (Sc) облака, наблюдающиеся как самостоятельно, так и в сочетании с высоко-кучевыми (Ac) облаками.

При определении фронтальной слоистообразной облачности (ФСО) рассматривались два класса облаков. К первому относились слоисто-дождевые облака (Ns), наблюдающиеся как самостоятельно, так и в сочетании с другими формами облаков, включая и высоко-слоистые (As), а ко второму – высоко-слоистые облака (As), наблюдающиеся как самостоятельно, так и в сочетании с другими формами облаков.

Исследование характеристик ВСО проводилось не отдельно по формам облачности, а по их совокупности, поскольку слоистые и слоисто-кучевые облака достаточно похожи как по внешнему виду, так и по условиям их образования. Облака этих форм в основном располагаются под слоями инверсии. Кроме того, они образуются в большинстве своем в пограничном слое атмосферы [13].

Изучение характеристик ФСО проводилось, как правило, отдельно для теплого (апрель–сентябрь) и холодного (октябрь–март) полугодий, а ВСО – по месяцам, сезонам и полугодиям.

Привлечение материалов самолетного зондирования атмосферы для выполнения настоящей работы объясняется тем, что наиболее надежные данные о характеристиках облаков различных форм (включая, разумеется, и данные об их фазовом состоянии) можно получить именно с их помощью [14].

ХАРАКТЕРИСТИКА ФАЗОВОЙ СТРУКТУРЫ ВНУТРИМАССОВОЙ СЛОИСТООБРАЗНОЙ ОБЛАЧНОСТИ

С учетом вышеизложенного в табл. 1 и на рис.1 приводятся данные, характеризующие фазовое состояние ВСО над центральными районами России по месяцам, сезонам и полугодиям.

Таблица 1

Повторяемость (%) фазового состояния внутримассовых слоистообразных облаков по сезонам и полугодиям (г. Москва)

Фазовое состояние облаков	Сезон				Полугодие	
	зима	весна	лето	осень	холодное	теплое
Капельное	90,7	92,8	99,7	98,2	91,6	98,1
Смешанное	8,5	7,2	0,3	1,7	7,8	1,9
Кристаллическое	0,8	–	–	0,1	0,6	–
Число случаев	481	432	319	839	804	1267

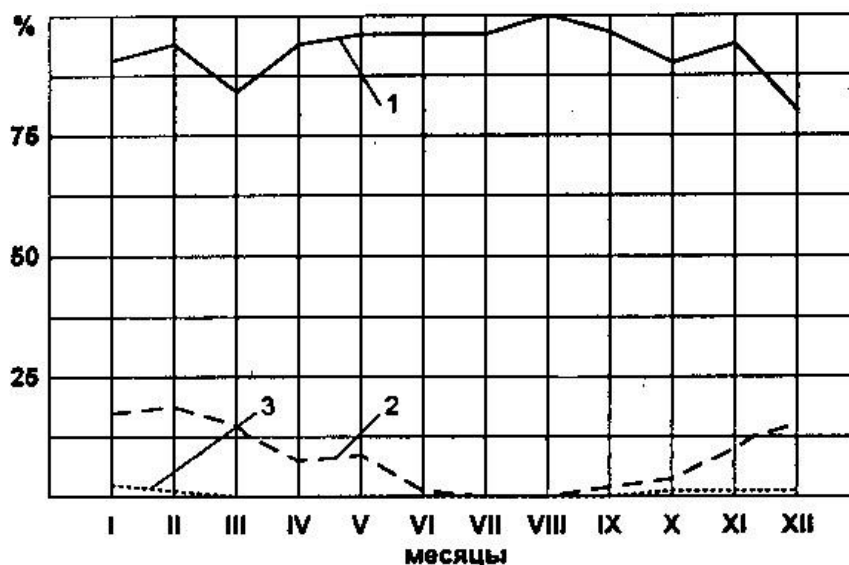


Рис. 1. Повторяемость фазового состояния внутримассовых слоистообразных облаков по месяцам (г. Москва): 1 – жидкокапельная фаза; 2 – смешанная фаза; 3 – кристаллическая фаза

Анализ полученных данных свидетельствует о преобладании в течение года жидкокапельной фазы в ВСО. Так, повторяемость капельных St-Sc облаков во все месяцы года превышает 90% (за исключением декабря и марта). Небольшое уменьшение повторяемости жидкокапельных ВСО зимой можно объяснить преобладанием пониженного фона температур во всем пограничном слое атмосферы, что приводит к закономерному повышению в них смешанной фазы. Так, например, смешанные ВСО наблюдаются в декабре в 11,3% случаев. Интересными представляются данные, свидетельствующие об уменьшении повторяемости жидкокапельных облаков в марте (84,3%) и соответствующем увеличении повторяемости в них смешанной фазы (15,7%). Эти особенности распределения фазовой структуры ВСО в марте можно объяснить, по-видимому, увеличением повторяемости прорыва холодных воздушных масс с севера и северо-востока и развитием конвективного обмена. Однако для окончательного заключения требуется проведение специального синоптико-климатологического исследования. Полностью кристаллические St-Sc облака над Москвой встречаются крайне редко, и их повторяемость не превышает 1,0%.

Анализ полученных данных указывает также на то, что в течение года с точки зрения фазовой структуры ВСО практически всегда пригодна для засева как с помощью хладореагентов, так и кристаллизирующих веществ.

ХАРАКТЕРИСТИКА ФАЗОВОЙ СТРУКТУРЫ ФРОНТАЛЬНОЙ СЛОИСТООБРАЗНОЙ ОБЛАЧНОСТИ

Результаты исследования фазовой структуры фронтальных слоистообразных облаков с осадками и без осадков приведены в табл. 2. Анализ табличных данных позволяет сделать ряд выводов относительно фазовой структуры фронтальных облаков.

Таблица 2

Повторяемость (%) фазовой структуры фронтальных слоистообразных облаков (г. Москва)

Тип ФСО	Фазовая структура ФСО	Холодное полугодие					Теплое полугодие				
		Ns, Ns- As	As	Ac	Sc	St	Ns, Ns- As	As	Ac	Sc	St
I	Капельная	<u>62,3</u>	<u>15,6</u>	<u>64,6</u>	<u>78,0</u>	<u>84,4</u>	<u>85,5</u>	<u>40,4</u>	<u>87,7</u>	<u>100</u>	<u>100</u>
		77,5	11,2	73,5	95,8	100	89,8	30,0	92,9	99,4	100
II	Капельная до H , выше – смешанная	<u>6,3</u>	<u>0,7</u>	=	=	=	<u>2,2</u>	<u>2,0</u>	<u>1,4</u>	=	=
		3,2	2,0	5,9	-	-	2,0	2,0	-	-	-
III	Капельная до H , выше – кристалли- ческая	<u>4,2</u>	<u>2,2</u>	=	=	=	<u>5,7</u>	<u>1,5</u>	=	=	=
		-	1,0	-	-	-	4,1	2,8	-	-	-
IV	Смешанная	<u>12,6</u>	<u>23,0</u>	<u>21,6</u>	<u>17,6</u>	<u>15,6</u>	<u>2,9</u>	<u>19,7</u>	<u>6,8</u>	=	=
		3,2	14,3	11,8	4,2	-	2,7	12,4	3,6	0,6	-
V	Смешанная до H , выше – капельная	<u>1,7</u>	<u>1,5</u>	=	=	=	<u>0,3</u>	=	<u>0,7</u>	=	=
		-	-	-	-	-	-	0,2	-	-	-
VI	Смешанная до H , выше – кристалли- ческая	<u>4,2</u>	<u>5,2</u>	=	=	=	=	<u>3,4</u>	=	=	=
		3,2	3,1	-	-	-	-	2,6	0,5	-	-
VII	Кристаллическая	<u>7,9</u>	<u>48,9</u>	<u>12,3</u>	<u>4,4</u>	=	<u>0,9</u>	<u>32,5</u>	<u>2,7</u>	=	=
		12,9	64,3	5,9	-	-	0,7	49,6	3,0	-	-
VIII	Кристаллическая до H , выше – сме- шанная	=	<u>2,2</u>	<u>1,5</u>	=	=	=	=	=	=	=
		-	1,1	2,9	-	-	-	0,2	-	-	-
IX	Капельная до H , выше до H_1 – сме- шанная, выше – кристаллическая	<u>0,8</u>	<u>0,7</u>	=	=	=	<u>2,5</u>	<u>0,5</u>	<u>0,7</u>	=	=
		-	3,1	-	-	-	0,7	0,2	-	-	-
-	Число случаев	<u>239</u>	<u>135</u>	<u>65</u>	<u>68</u>	<u>32</u>	<u>316</u>	<u>203</u>	<u>146</u>	<u>69</u>	<u>18</u>
		31	98	34	48	19	147	460	197	172	34

Примечание. В числителе приведены данные, относящиеся к ФСО с осадками, в знаменателе – к ФСО без осадков; H , H_1 – значения высот от нижней границы облака, на которых происходит разделение фаз.

В течение года наиболее простую фазовую структуру имеют St-Sc облака, находящиеся в зоне фронтов. Так, на фронтах без осадков St и Sc облака в холодное полугодие почти всегда бывают капельными (в 100 и 95,8% случаев соответственно); в теплое полугодие наблюдается аналогичная картина (100 и 99,4% соответственно). На фронтах с осадками эти облака в большинстве случаев также являются капельными. Однако, в отличие от фронтов без осадков, в этих ситуациях повторяемость смешанной фазы заметно возрастает и составляет в хо-

лодное полугодие 15,6% для St и 17,6% для Sc облаков. Кристаллическая фаза встречается только в Sc облаках на фронтах с осадками, и ее повторяемость не превышает в холодное полугодие 4,4%. В целом с точки зрения фазового состояния слоистые и слоисто-кучевые облака почти всегда пригодны к МОДИФ. Располагаясь, как правило, под пригодным к засеvu слоем, они могут служить дополнительным источником влаги из этих облаков.

В высоко-кучевых облаках жидкокапельная фаза преобладает чаще на фронтах без осадков в течение всего года и составляет 73,5% случаев для холодного полугодия и 92,9% – для теплого. На фронтах с осадками повторяемость жидкокапельной фазы уменьшается до 64,6% в холодное полугодие и до 87,7% – в теплое. Смешанная фаза чаще наблюдается в As облаках на фронтах с осадками и составляет 21,6% случаев в холодное полугодие и 6,8% – в теплое. Повторяемость кристаллической фазы чаще встречается в холодное полугодие, но не превышает 13,0% для фронтов с осадками и 3,0% для фронтов без осадков.

Анализ приведенных в табл. 2 данных показывает, что наиболее сложную фазовую структуру имеют высоко-слоистые (As) и особенно Ns, Ns-As облака. Применительно к району Москвы в статье впервые выделено девять типов фазовой структуры этих облаков. Из полученных данных видно, что на фронтах без осадков As облака чаще всего бывают кристаллическими (в холодное полугодие – 64,3%, в теплое – 49,6%). Преобладающей также является кристаллическая фаза в As облаках на фронтах с осадками в холодное полугодие – 48,9%. Облака этих форм со смешанной фазовой структурой встречаются чаще всего в холодное полугодие и составляют 23,0% случаев на фронтах с осадками и 14,3% – без осадков. Жидкокапельными As облака чаще всего бывают в теплое полугодие, когда их повторяемость составляет 40,4% случаев на фронтах с осадками и 30,0% – без осадков. В холодное полугодие эти величины снижаются до 15,6 и 11,2% соответственно.

Сложная фазовая структура присуща также Ns, Ns-As облакам. Вместе с тем можно отметить, что для этих форм облаков как на фронтах с осадками, так и без осадков характерно преобладание жидкокапельной фазы. Повторяемость наличия таких облаков составляет в холодное полугодие 62,3 и 77,5% случаев соответственно, а в теплое – 85,5% и 89,8% соответственно. Наличие смешанной фазы в слоисто-дождевых облаках чаще отмечается в холодное полугодие на фронтах с осадками и составляет 12,6% случаев. Чисто кристаллическими Ns облака наблюдаются также редко. В теплое полугодие их повторяемость как на фронтах с осадками, так и без осадков не превышает 1,0%, а в холодное – 7,9 и 12,9% случаев соответственно.

Таким образом, полученные в работе данные о преобладании капельной и смешанной фазы во фронтальных слоистообразных облаках свидетельствуют, как и в случае внутримассовой слоистообразной облачности, о возможности широкого применения в работах по МОДИФ облачности как кристаллизующих веществ, так и хладореагентов.

Представленные данные о фазовой структуре фронтальных и внутримассовых слоистообразных облаков над районом Москвы в значительной мере уточняют имеющиеся в соответствующей литературе сведения об этой их важной характеристике и могут быть использованы в практике работ по засеvu облачности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для внутримассовой слоистообразной облачности над центральными районами России характерно преобладание жидкокапельной фазы в течение года. Повторяемость капельных ВСО в холодное полугодие составляет 91,6%, в теплое – 98,1%. Полностью кристаллические ВСО над рассматриваемыми районами наблюдаются крайне редко – не более 1,0% случаев.

В зонах фронтов с осадками и без осадков слоистые облака всегда являются капельными, но только в теплое полугодие. В холодное полугодие эти облака являются капельными (100%) только на фронтах без осадков. На фронтах с осадками повторяемость жидкокапель-

ной фазы в слоистых облаках снижается до 84,4%. Для слоисто-кучевых облаков наблюдается аналогичная картина, только для них в холодное полугодие повторяемость капельных облаков снижается до 78,0%.

В высоко-кучевых облаках также преобладает жидкокапельная фаза. Это положение в большей мере справедливо в отношении As облаков, наблюдающихся на фронтах с осадками и без осадков, но только в теплое полугодие (87,7% и 92,9% соответственно). В холодное полугодие на повторяемость жидкокапельных As облаков приходится на фронтах с осадками 64,6% и на фронтах без осадков 73,5%.

Наиболее сложную фазовую структуру имеют системы облаков Ns, Ns-As и высоко-слоистых облаков (выделено впервые девять типов фазового состояния облачности). При этом следует отметить, что облака Ns, Ns-As чаще всего в течение года являются жидкокапельными. Так, на облака этих форм в зоне фронтов с осадками и без осадков в холодное полугодие приходится 62,3% и 77,5%, в теплое полугодие – 85,5% и 89,8% соответственно.

Высоко-слоистые облака в холодное полугодие чаще всего являются кристаллическими (48,9% – на фронтах с осадками и 64,3% – на фронтах без осадков). В теплое полугодие полностью кристаллическими As облака бывают на фронтах с осадками в 32,5% случаев, на фронтах без осадков – в 49,6% случаев. В указанный период облака этих форм довольно часто являются капельными (40,4% – на фронтах с осадками и 30,0% – на фронтах без осадков).

Полученные данные о распределении фаз во внутримассовых фронтальных облаках над центральными районами России в течение года могут использоваться для выбора реагентов и высоты засева облаков при проведении работ с целью регулирования осадков и рассеяния облачного покрова.

Список используемых источников

1. Активные воздействия на гидрометеорологические процессы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1990. – 609 с.
2. *Половина И.П.* Воздействия на внутримассовые облака слоистых форм. – Л.: Гидрометеоиздат, 1971. – 215 с.
3. Облака и облачная атмосфера: справочник. – Л.: Гидрометеоиздат, 1990. – 647 с.
4. Атмосфера: справочник: справочные данные, модели. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 503 с.
5. *Мейсон Б.Дж.* Физика облаков. – Л.: Гидрометеоиздат, 1961. – 542 с.
6. *Дубровина Л.С.* Облака и осадки по данным самолетного зондирования. – Л.: Гидрометеоиздат, 1982. – 216 с.
7. *Леонов М.П., Перелет Г.И.* Активные воздействия на облака в холодное полугодие. – Л.: Гидрометеоиздат, 1967. – 152 с.
8. *Джураев А.Д., Курбаткин В.П., Ушинцев В.Ф.* Облачные ресурсы возможности увеличения осадков в Средней Азии // Труды САРНИГМИ. – 1977. – Вып. 46(27). – С. 5–55.
9. *Титов Л.В.* Микроструктура и водность облаков над Северным Казахстаном // Сборник работ по региональной синоптике. – Алма-Ата, 1968. – Вып. 3. – С. 15–28.
10. *Сонечкин Д.М., Хандурова И.С.* Результаты исследования пространственной изменчивости облачности над Европейской частью СССР // Труды Гидрометцентра. – 1969. – Вып. 50. – С. 37–46.
11. *Волкова В.И.* Вероятность сохранения состояний облачности через различные интервалы времени над отдельными районами Советского Союза // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – 1976. – Вып. 49. – С. 20–24.
12. *Упорова Л.П.* Непрерывная продолжительность общей облачности над территорией СССР // Труды Гидрометцентра. – 1976. – Вып. 25. – С. 91–96.

13. *Матвеев Л.Т.* Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 751 с.
14. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. – М.: Гидрометеоиздат, 1958. – Вып. 4, ч. IV. – 152 с.

И.Ю. Еремеев
доктор техн. наук;
К.Л. Овчаренко

МЕТОД ВЫЧИСЛИТЕЛЬНО-ЭФФЕКТИВНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ВЗАИМНЫХ ВРЕМЕННЫХ ЗАДЕРЖЕК В УСЛОВИЯХ АПРИОРНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ЧАСТОТНЫХ СДВИГОВ СИГНАЛОВ СПУТНИКОВЫХ ТЕРМИНАЛОВ

Рассматривается метод вычислительно-эффективного оценивания взаимных временных задержек сигналов в условиях априорной неопределенности частотных сдвигов с целью определения координат спутниковых терминалов в разностно-дальномерных системах определения местоположения.

Ключевые слова: система спутниковой связи, спутниковый терминал, разностно-дальномерный метод, функция взаимной неопределенности, временная задержка.

Активное развитие систем спутниковой связи (ССС) привело к возникновению проблемы несанкционированного использования спутниковыми терминалами (СТ) частотно-энергетического ресурса спутников-ретрансляторов, расположенных на геостационарной орбите. Традиционно указанная проблема решается с помощью определения местоположения (ОМП) СТ путем измерения параметров сигнала. В качестве измеряемых координатно-информативных параметров (КИП) могут выступать амплитуда A , фаза φ , частота F , разности частот ΔF , разности задержек Δt и др. [1].

Использование известных свойств распространения радиоволн в однородной среде (радиоволны распространяются прямолинейно с постоянной скоростью) позволяет связать КИП сигнала источника радиоизлучения с параметром положения (ПП) СТ. Под ПП понимается физическая величина, которая определяет положение СТ в пространстве (пеленг, дальность, разность расстояний, сумма расстояний, разность скоростей).

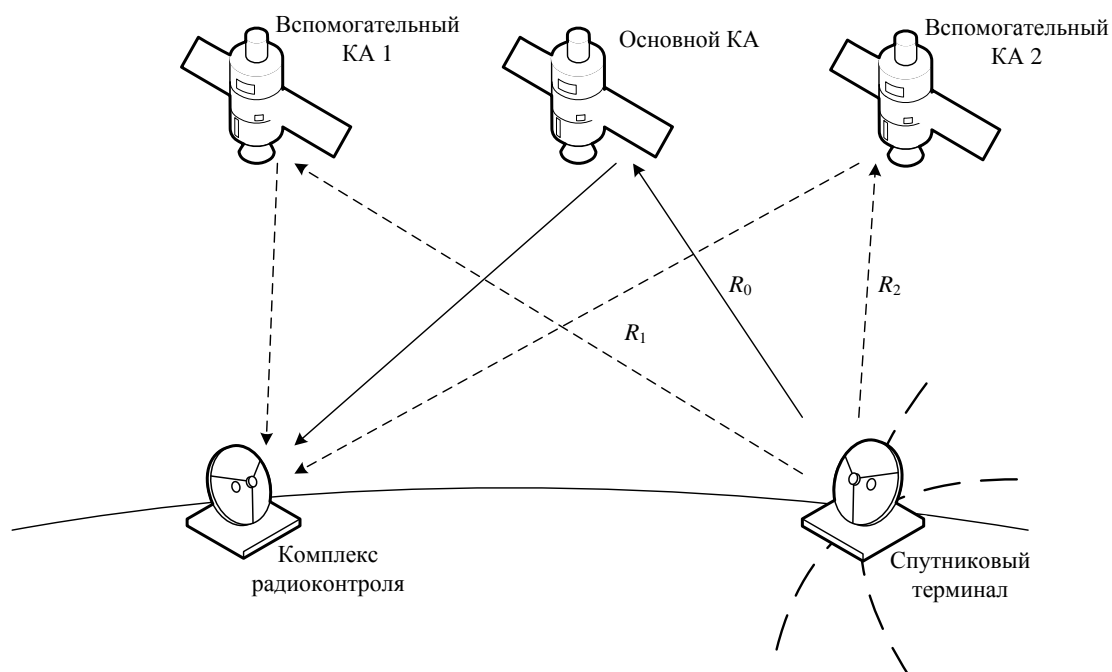


Рис. 1. Схема разностно-дальномерной системы ОМП СТ ССС

Одним из методов ОМП СТ является разностно-дальномерный метод, принцип работы которого поясняется на рис. 1. Здесь КИП является задержка времени прихода сигналов, а ПП – разность расстояний.

Сигнал, излученный СТ в направлении основного лепестка диаграммы направленности (ДН) антенны, поступает на основной космический аппарат (ОКА), а в направлении боковых лепестков ДН – на вспомогательные космические аппараты (ВКА1 и ВКА2), которые изображены на рис. 1. Далее сигнал СТ, ретранслируемый каждым космическим аппаратом, принимается комплексом радиоконтроля (РК). В комплексе РК производится измерение задержек времени прихода ретранслированных сигналов $\Delta\tau_1 = (T_{СТ_ОКА} + T_{ОКА_РК}) - (T_{СТ_ВКА1} + T_{ВКА1_РК})$ и $\Delta\tau_2 = (T_{СТ_ОКА} + T_{ОКА_РК}) - (T_{СТ_ВКА2} + T_{ВКА2_РК})$. Принимая во внимание тот факт, что координаты комплекса РК, а также ОКА, ВКА1 и ВКА2 известны, на основе измерения разностей расстояний $\Delta R_{01} = R_0 - R_1$ и $\Delta R_{02} = R_0 - R_2$ могут быть определены координаты СТ путем оценивания координаты пересечения двух гиперboloидов (с фокусами в точках пространственного положения ОКА, ВКА1 и ОКА, ВКА2) и сферы (если СТ находится на поверхности Земли).

Как правило, для измерения взаимных временных задержек сигналов Δt используется аппарат корреляционного анализа [2]. В процессе ОМП объектов в космических системах связи одна из основных проблем при отыскании Δt заключается в необходимости компенсации смещения спектра сигнала, которое может составлять несколько килоггерц. Смещение возникает по причине нестабильности положения геостационарного космического аппарата относительно подспутниковой точки (эффект Доплера), а также несовпадения частот гетеродинов транспондеров космических аппаратов.

Следствием частотного рассогласования Δf является невозможность оценки временных задержек по максимуму модуля функции взаимной корреляции (ВКФ). Одним из возможных способов преодоления данного ограничения может быть предварительная компенсация частотного рассогласования сигналов за счет нелинейной фильтрации каждого сигнала [3, 4] с последующим вычислением их ВКФ.

Обоснуем функциональное содержание указанных преобразований. Традиционно оценки взаимной временной задержки Δt и частотного рассогласования Δf i -го и k -го сигналов осуществляются путем максимизации модуля функции неопределенности (ФН) $r_{i,k}(\tau, f)$ по частотному и временному сдвигу:

$$\Delta\tau_{i,k}, \Delta f_{i,k} = \arg \max_{\tau, f} |r_{i,k}(\tau, f)|, \quad (1)$$

где

$$|r_{i,k}(\tau, f)| = \frac{\left| \int_{-\frac{T_C}{2}}^{\frac{T_C}{2}} \dot{x}_i(t) \cdot \dot{x}_k^*(t + \tau) \cdot \exp(-j \cdot 2\pi \cdot f \cdot t) dt \right|}{\sqrt{\left(\int_{-\frac{T_C}{2}}^{\frac{T_C}{2}} \dot{x}_i(t) \cdot \dot{x}_i^*(t) dt \right) \cdot \left(\int_{-\frac{T_C}{2}}^{\frac{T_C}{2}} \dot{x}_k(t) \cdot \dot{x}_k^*(t) dt \right)}}. \quad (2)$$

В выражении (2) использованы следующие обозначения: j – мнимая единица; $|\bullet|$ – модуль комплексного числа; $\dot{x}_i(t), \dot{x}_k(t)$ – комплексные сигналы источника радиоизлучения длительностью T_C , временную задержку между которыми нужно определить; t – время; $\dot{x}_i^*(t), \dot{x}_k^*(t)$ – сигналы, комплексно сопряженные с сигналами $\dot{x}_i(t), \dot{x}_k(t)$.

Наиболее серьезной проблемой, ограничивающей практическое применение ФН, является существенная вычислительная сложность алгоритма расчета (1), которая составляет $O(L \cdot M^2)$ при прямых вычислениях и $O(L \cdot (12M \log(2M) + 8M))$ при вычислении на основе теоремы о свертке преобразования Фурье [5], где L – число позиций частотных сдвигов в области возможного частотного рассогласования сигналов $\dot{x}_i(t), \dot{x}_k(t)$; M – число отсчетов сигналов $\dot{x}_i(t), \dot{x}_k(t)$. Предложенные в ряде работ, например в [6, 7], модификации алгоритма вычисления ФН за счет аппаратного распараллеливания процедур расчета ВКФ для различных частотных позиций сдвига хотя и позволяют снизить время расчетов по сравнению с последовательным методом, но кардинально не решают проблему повышения эффективности алгоритма отыскания максимума ФН (1).

Целью статьи является рассмотрение разработанного метода вычислительно-эффективного оценивания взаимных временных задержек сигналов при наличии априорной неопределенности частотных сдвигов между сигналами. Под вычислительно-эффективным оцениванием взаимных временных задержек сигналов будем понимать процесс их измерения с меньшим числом требуемых операций по сравнению с существующими аналогами.

Существо предлагаемого метода заключается в преобразовании перед вычислением ФН принимаемых сигналов $\dot{x}_i(t), \dot{x}_k(t)$ таким образом, чтобы исключить информацию об их несущих частотах, но сохранить информацию о структуре сигнала, обусловленной наличием информационной модуляции. К числу таких преобразований сигнала $\dot{x}(t)$ относится преобразование вида $\dot{y}(t) = \dot{x}(t) \cdot \dot{x}^*(t+T)$, где T – фиксированный временной сдвиг, $T \ll T_C$.

С целью оценивания потенциальной возможности реализации данного метода рассмотрим идеализированную модель сигнала без учета возмущающих факторов, к числу которых относятся аддитивный гауссовский белый шум, многолучевость при распространении радиоволн и т.д.

Поступающие на вход приемного устройства комплекса РК i -й и k -й сигналы в комплексной форме примут следующий вид:

$$\begin{cases} \dot{x}_i(t) = \mu_i \cdot A(t-t_i) \cdot \exp(j \cdot (\omega_i \cdot (t-t_i) + \varphi \cdot (t-t_i) + \Phi_i)); \\ \dot{x}_k(t) = \mu_k \cdot A(t-t_k) \cdot \exp(j \cdot (\omega_k \cdot (t-t_k) + \varphi \cdot (t-t_k) + \Phi_k)), \end{cases} \quad (3)$$

В выражении (3) обозначены: $A(t-t_i), \varphi(t-t_i)$ – действительные функции амплитудной и фазовой модуляции; $t_i, \mu_i, \Phi_i, \omega_i$ – задержка, ослабление и сдвиг начальной фазы при распространении, а также несущая частота сигнала i -го СТ соответственно. Сдвиг начальной фазы при распространении Φ_i на фиксированном интервале времени T будем считать постоянным, тогда в результате преобразования получим:

$$\begin{cases} \dot{y}_i(t) = \dot{x}_i(t) \cdot \dot{x}_i^*(t+T); \\ \dot{y}_k(t) = \dot{x}_k(t) \cdot \dot{x}_k^*(t+T). \end{cases} \quad (4)$$

Информация о несущей частоте преобразуется в фиксированный сдвиг фазы $\Delta\varphi = -\omega \cdot T$, а именно

$$\begin{cases} \dot{y}_i(t) = \mu_i^2 A(t-t_i) A(t-t_i+T) \cdot \exp\left(j\left(\omega_i((t-t_i)-(t-t_i+T)) + \varphi(t-t_i) - \varphi(t-t_i+T) + \Phi_i - \Phi_i\right)\right); \\ \dot{y}_k(t) = \mu_k^2 A(t-t_k) A(t-t_k+T) \cdot \exp\left(j\left(\omega_k((t-t_k)-(t-t_k+T)) + \varphi(t-t_k) - \varphi(t-t_k+T) + \Phi_k - \Phi_k\right)\right). \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{y}_i(t) = \mu_i^2 \cdot A(t-t_i) \cdot A(t-t_i+T) \cdot \exp\left(j \cdot (\Delta\varphi_i + \varphi(t-t_i) - \varphi(t-t_i+T))\right); \\ \dot{y}_k(t) = \mu_k^2 \cdot A(t-t_k) \cdot A(t-t_k+T) \cdot \exp\left(j \cdot (\Delta\varphi_k + \varphi(t-t_k) - \varphi(t-t_k+T))\right). \end{cases} \quad (5)$$

Таким образом, в выражении (5) отсутствует составляющая, обусловленная несущими частотами i -го и k -го сигналов. Оценка временной задержки τ определяется как аргумент максимизации модуля ВКФ $R_{i,k}(\tau)$, которая является сечением ФН сигналов $\dot{y}_i(t)$ и $\dot{y}_k(t)$ при $f=0$, а именно

$$\tau_{i,k} = \arg \max_{\tau} |R_{i,k}(\tau)| = \arg \max_{\tau} \frac{\left| \int_{-\frac{T_c}{2}}^{\frac{T_c}{2}} \dot{y}_i(t) \cdot \dot{y}_k^*(t+\tau) dt \right|}{\sqrt{\left(\int_{-\frac{T_c}{2}}^{\frac{T_c}{2}} \dot{y}_i(t) \cdot \dot{y}_i^*(t) dt \right) \cdot \left(\int_{-\frac{T_c}{2}}^{\frac{T_c}{2}} \dot{y}_k(t) \cdot \dot{y}_k^*(t) dt \right)}}. \quad (6)$$

Покажем, что выражения (6) и (1) эквивалентны. Для этого воспользуемся неравенством Коши – Буняковского – Шварца [8]:

$$\left| \int \dot{f}(\xi) \cdot \dot{g}^*(\xi) d\xi \right|^2 \leq \left(\int \dot{f}(\xi) \cdot \dot{f}^*(\xi) d\xi \right) \cdot \left(\int \dot{g}(\xi) \cdot \dot{g}^*(\xi) d\xi \right). \quad (7)$$

Равенство достигается тогда, когда $\dot{f}(\xi)$ и $\dot{g}(\xi)$ равны с точностью до постоянного множителя.

Применительно к сигналам (4) неравенство (7) представим в следующем виде:

$$\frac{\left| \int_{-\frac{T_c}{2}}^{\frac{T_c}{2}} \dot{y}_i(t) \cdot \dot{y}_k^*(t+\tau) dt \right|^2}{\left(\int_{-\frac{T_c}{2}}^{\frac{T_c}{2}} \dot{y}_i(t) \cdot \dot{y}_i^*(t) dt \right) \cdot \left(\int_{-\frac{T_c}{2}}^{\frac{T_c}{2}} \dot{y}_k^*(t+\tau) \cdot \dot{y}_k(t+\tau) dt \right)} \leq 1. \quad (8)$$

С учетом полученных ранее выражений (3) и (7) числитель и знаменатель формулы (8) примет следующий вид:

$$\left| \int_{-\frac{T_c}{2}}^{\frac{T_c}{2}} \dot{y}_i(t) \cdot \dot{y}_k^*(t+\tau) dt \right|^2 =$$

$$= \mu_i^4 \cdot \mu_k^4 \cdot \left| \int_{-\frac{T_c}{2}}^{\frac{T_c}{2}} \exp(j(\Delta\varphi_i - \Delta\varphi_k)) \cdot E_i(t) \cdot \exp(j \cdot \Theta_i(t)) \cdot E_k(t, \tau) \cdot \exp(-j \cdot \Theta_k(t, \tau)) dt \right|^2; \quad (9)$$

$$\int_{-\frac{T_c}{2}}^{\frac{T_c}{2}} \dot{y}_i(t) \cdot \dot{y}_i^*(t) dt = \mu_i^4 \cdot \int_{-\frac{T_c}{2}}^{\frac{T_c}{2}} A(t-t_i)^2 \cdot A(t-t_i+T)^2 dt; \quad (10)$$

$$\int_{-\frac{T_c}{2}}^{\frac{T_c}{2}} \dot{y}_k^*(t+\tau) \cdot \dot{y}_k(t+\tau) dt = \mu_k^4 \cdot \int_{-\frac{T_c}{2}}^{\frac{T_c}{2}} A(t-t_k+\tau)^2 \cdot A(t-t_k+T+\tau)^2 dt, \quad (11)$$

где

$$E_i(t) = A(t-t_i) \cdot A(t-t_i+T);$$

$$E_k(t, \tau) = A(t-t_k+\tau) \cdot A(t-t_k+T+\tau);$$

$$\Theta_i(t) = \varphi(t-t_i) - \varphi(t-t_i+T);$$

$$\Theta_k(t, \tau) = \varphi(t-t_k+\tau) - \varphi(t-t_k+T+\tau).$$

Используя выражения (9)–(11), приходим к эквивалентному формуле (7) неравенству

$$\frac{\left| \int_{-\frac{T_c}{2}}^{\frac{T_c}{2}} E_i(t) \cdot \exp(j \cdot \Theta_i(t)) \cdot E_k(t, \tau) \cdot \exp(-j \cdot \Theta_k(t, \tau)) dt \right|^2}{\left(\int_{-\frac{T_c}{2}}^{\frac{T_c}{2}} A(t-t_i)^2 \cdot A(t-t_i+T)^2 dt \right) \cdot \left(\int_{-\frac{T_c}{2}}^{\frac{T_c}{2}} A(t-t_k+\tau)^2 \cdot A(t-t_k+T+\tau)^2 dt \right)} \leq 1. \quad (12)$$

Согласно неравенству Коши – Буняковского – Шварца [8] можно утверждать, что если $\Theta_i(t) - \Theta_k(t) \neq 0$, т.е. когда $\tau \neq t_k - t_i$, модуль функции ВКФ сигналов $\dot{y}_i(t)$ и $\dot{y}_k(t)$ в левой части неравенства (12) будет меньше единицы, в противном случае (т.е. при $\tau = t_k - t_i$) неравенство (12) преобразуется в равенство

$$\frac{\left| \int_{-\frac{T_c}{2}}^{\frac{T_c}{2}} E_i(t) \cdot \exp(j \cdot \Theta_i(t)) \cdot E_k(t, \tau) \cdot \exp(-j \cdot \Theta_k(t, \tau)) dt \right|^2}{\left(\int_{-\frac{T_c}{2}}^{\frac{T_c}{2}} A(t-t_i)^2 \cdot A(t-t_i+T)^2 dt \right) \cdot \left(\int_{-\frac{T_c}{2}}^{\frac{T_c}{2}} A(t-t_k+t_k-t_i)^2 \cdot A(t-t_k+T+t_k-t_i)^2 dt \right)} =$$

$$\begin{aligned}
& \left| \frac{\int_{-\frac{T_c}{2}}^{\frac{T_c}{2}} A(t-t_i) \cdot A(t-t_i+T) \cdot \exp(j \cdot \Theta_i(t)) \cdot A(t-t_i+\tau) \cdot A(t-t_i+T+\tau) \cdot \exp(-j \cdot \Theta_k(t)) dt}{\left(\int_{-\frac{T_c}{2}}^{\frac{T_c}{2}} A(t-t_i)^2 \cdot A(t-t_i+T)^2 dt \right) \cdot \left(\int_{-\frac{T_c}{2}}^{\frac{T_c}{2}} A(t-t_k+t_k-t_i)^2 \cdot A(t-t_k+T+t_k-t_i)^2 dt \right)} \right|^2 = \\
& = \frac{\left| \int_{-\frac{T_c}{2}}^{\frac{T_c}{2}} A(t-t_i)^2 \cdot A(t-t_i+T)^2 dt \right|^2}{\left(\int_{-\frac{T_c}{2}}^{\frac{T_c}{2}} A(t-t_i)^2 \cdot A(t-t_i+T)^2 dt \right)^2} = 1. \tag{13}
\end{aligned}$$

Основываясь на выражении (13), можно сделать вывод, что аргумент максимизации модуля ВКФ сигналов $\dot{y}_i(t)$ и $\dot{y}_k(t)$ из выражения (6), так же, как и аргумент максимизации модуля ФН (1) сигналов $\dot{x}_i(t)$ и $\dot{x}_k(t)$ по всем значениям τ, f , будет равен разности времени распространения i -го и k -го сигналов. Кроме того, из предыдущих выражений следует, что при вычислении разностей времен распространения сигналов не требуется многократного вычисления ВКФ для всех возможных значений частотных сдвигов. Целесообразность изложенного подхода является оправданной при достаточно высоких отношениях сигнал/шум (более 0 дБ).

Работоспособность предлагаемого метода иллюстрируется результатами компьютерного моделирования с использованием среды программирования QT 5.3 и библиотеки Intel IPP 8.1. В качестве исходного был выбран сигнал цифрового телевидения DVB-T2 $\dot{x}(t)$, записанный цифровым приемником с частотой дискретизации 46665 кГц, шириной 8 МГц и длительностью 400 мкс.

Далее из сигнала $\dot{x}(t)$ формируется пара сигналов, отличающихся частотным сдвигом $\Delta f = 3$ кГц и временным сдвигом $\tau_{1,2} = 0,5$ мсек, $\dot{x}_1(t) = \dot{x}(t)$, $\dot{x}_2(t) = \dot{x}(t + \tau_{1,2}) \times \exp(j \cdot 2 \cdot \pi \cdot \Delta f \cdot t)$, а уже из сигналов $\dot{x}_1(t), \dot{x}_2(t)$ – пара модифицированных сигналов $\dot{y}_1(t) = \dot{x}_1(t) \cdot \dot{x}_1^*(t+T)$, $\dot{y}_2(t) = \dot{x}_2(t) \cdot \dot{x}_2^*(t+T)$, где $T = 0,02$ мкс.

Как показано на рис. 2, произвести оценку временной задержки сигналов $\dot{x}_1(t), \dot{x}_2(t)$ путем максимизации модуля ВКФ (изображен непрерывной линией) не представляется возможным, в то же время максимизация модуля ВКФ сигналов $\dot{y}_1(t), \dot{y}_2(t)$ (изображен прерывистой линией) позволяет оценить величину временной задержки между сигналами $\dot{x}_1(t), \dot{x}_2(t)$.

Таким образом, предложенный метод вычислительно-эффективного оценивания взаимных временных задержек инвариантен относительно величины частотного сдвига между сигналами и требует реализации всего $O(12M \log(2M) + 8M)$ операции, что в L раз меньше, чем вычислительная сложность метода на основе теоремы о свертке преобразования Фурье.

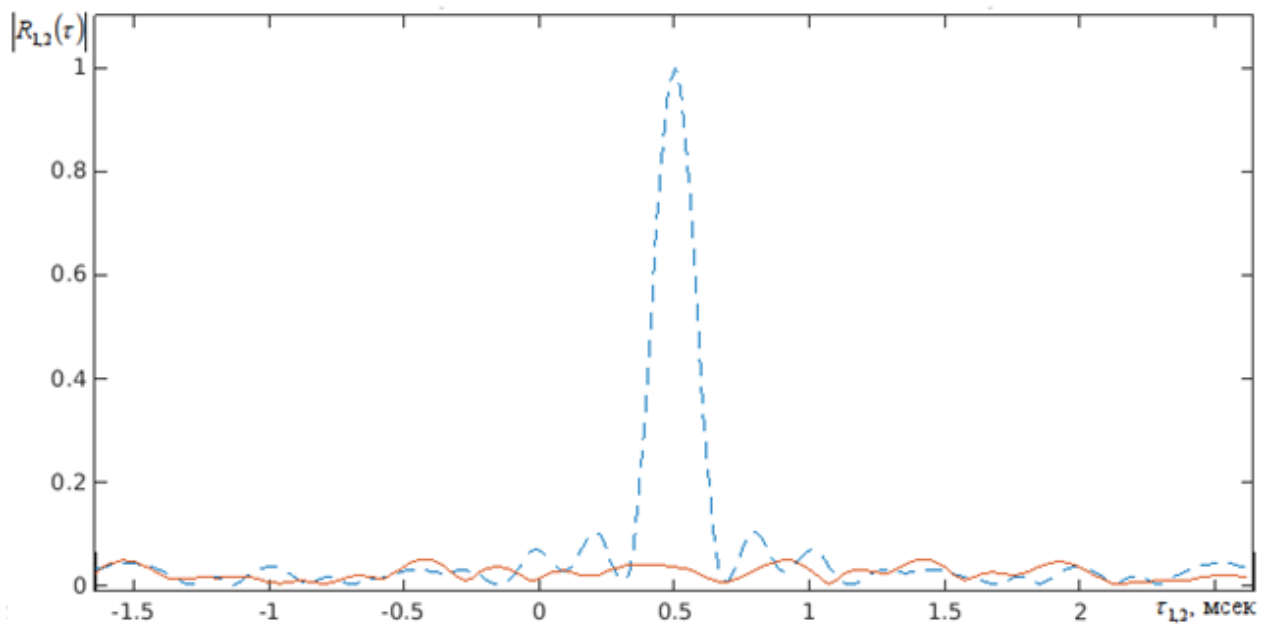


Рис. 2. Модуль ВКФ сигналов $\dot{x}_1(t)$, $\dot{x}_2(t)$ (непрерывная линия) и $\dot{y}_1(t)$, $\dot{y}_2(t)$ (прерывистая линия)

Следует отметить, что данная статья не исчерпывает полностью рассматриваемую тему. Дальнейшему исследованию подлежит оценивание влияния шумов на точностные характеристики рассмотренного выше метода.

Список используемых источников

1. Кондратьев В.С. Многопозиционные радиотехнические системы / под ред. В.В. Цветкова. – М.: Радио и связь, 1986. – 264 с.
2. Обнаружение и анализ сигналов сложной структуры / А. В. Андреев, А. В. Воронин, А. И. Замарин, В. М. Медведев, П. Г. Тараненко – МО РФ, 1996. – 522 с.
3. Комбинированная цифровая фильтрация гармонического заполнения фазоманипулированных сигналов в задаче определения взаимной временной задержки / А. А. Логинов, О. А. Морозов, Е. А. Солдатов, С. Л. Хмелев // Известия вузов. Радиофизика. – 2007. – № 3. – С. 255.
4. Логинов А. А., Морозов О. А., Хмелев С. Л. Алгоритм нелинейной квазиоптимальной цифровой обработки сигналов с угловой модуляцией // Автметрия. – 2010. – Т. 46, № 6. – С. 40.
5. Айфичер Э., Джервис Б. Цифровая обработка сигналов: практический подход : пер. с англ. – 2-е изд. – М. : Вильямс, 2004. – 992 с.
6. Алгоритм вычисления функции неопределенности в задаче одновременной оценки частотно-временных характеристик сигналов / А. А. Логинов, Д. С. Марьчев, О. А. Морозов, В. Р. Фидельман // Известия вузов. Поволжский регион. – 2013. – Т. 27, № 3. – С. 62–74.

7. Быстров Н. Е., Жукова И. Н. Сегментная обработка сложных сигналов в ограниченном дальностно-доплеровском диапазоне // Вестник Новгородского государственного университета. – 2001. – №19. – С.3

8. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов. – М.: Наука, 1986. – 544 с.

Д.Б. Мельников,
кандидат техн. наук;
В.В. Октябрьский

ТЕПЛОВЫЕ ИНФРАКРАСНЫЕ КАНАЛЫ МНОГО- И ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Выполнен обзор современного состояния космических и авиационных систем дистанционного зондирования Земли в тепловом инфракрасном диапазоне. Рассмотрены характеристики бортовой многоспектральной и гиперспектральной аппаратуры. Указаны основные тенденции развития тепловых инфракрасных каналов оптико-электронной аппаратуры космического и авиационного базирования.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, мониторинг, инфракрасные тепловые каналы, полоса съемки, пространственное разрешение, проекция пикселя на местности.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из тенденций развития современного дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) является расширение использования многоспектральной и гиперспектральной оптико-электронной аппаратуры (ОЭА) на космических и авиационных носителях.

Важным методом ДЗЗ является аэрокосмическая съемка в инфракрасной (ИК) области спектра [1]. Как правило, съемка производится в средней и дальней частях ИК области спектра, соответствующих «окнам» прозрачности атмосферы (3–5 мкм и 8–14 мкм соответственно). В указанных спектральных каналах интенсивность излучения в основном обусловлена тепловым состоянием объектов, поэтому съемку в этих каналах называют «тепловой инфракрасной».

ТЕПЛОВЫЕ ИНФРАКРАСНЫЕ КАНАЛЫ КОСМИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Рассмотрим КА ДЗЗ с тепловыми инфракрасными каналами низкого разрешения (пространственное разрешение более 100 м).

В табл. 1 приведены характеристики нескольких образцов современной и перспективной космической оптико-электронной аппаратуры ДЗЗ низкого разрешения [2–4].

Таблица 1

Космическая много- и гиперспектральная аппаратура низкого разрешения

Параметры сенсоров	Оптико-электронная аппаратура; КА ДЗЗ; государственная принадлежность				
	AVHRR-3; «NOAA»; США	MODIS; «Terra»; «Aqua»; США	МСУ-МР; «Метеор-М»; РФ	МСУ-ГС; «Электро-Л»; РФ	ИК сенсор; «Канопус-В-ИК»; РФ (проект)
Общее число спектральных каналов	6	36	6	10	2

Окончание табл. 1

Параметры сенсоров	Опτικο-электронная аппаратура; КА ДЗЗ; государственная принадлежность				
	<i>AVHRR-3</i> ; «NOAA»; США	<i>MODIS</i> ; «Terra»; «Aqua»; США	МСУ-МР; «Метеор-М»; РФ	МСУ-ГС; «Электро-Л»; РФ	ИК сенсор; «Канопус-В-ИК»; РФ (проект)
Число каналов теплового ИК диапазона (зоны, мкм)	3 (3,55-3,93; 10,3-11,3; 11,5-12,4)	16	3 (3,5-4,1; 10,5-11,1; 11,5-12,5)	7	2 (3,5-4,1; 8,4-9,4)
Полоса съемки, км	3000	2330	2900	диск Земли	2000
Пространственное разрешение в надире для теплового ИК диапазона, м	1100	1000	4000	4000	200
Периодичность съемки	6 ч для системы из двух КА	1-2 дня	2 дня	30 мин	1-2 дня

Существенным шагом вперед на пути развития российского космического приборостроения стало создание специалистами ОАО «Российские космические системы» многозональных сканирующих устройств МСУ-МР (КА «Метеор-М» № 1) и МСУ-ГС (КА «Электро-Л»).

КА «Электро-Л» запущен в 2011 году и выведен на геостационарную орбиту в позицию 76° восточной долготы. ОЭА КА предназначена для решения задач, к которым относятся:

- анализ и прогноз погоды в региональном и глобальном масштабах;
- анализ и прогноз состояния акваторий морей и океанов;
- экологический мониторинг;
- мониторинг климата;
- контроль чрезвычайных ситуаций.

В настоящее время ведутся работы по созданию малого КА ДЗЗ для обнаружения маломерных очагов лесных пожаров и мониторинга радиоактивных загрязнений «Канопус-В-ИК», который будет разновидностью запущенного в 2012 году малого КА «Канопус-В» (ОАО «Корпорация ВНИИЭМ»). Планируемая высота орбиты 510 км.

Рассмотрим КА ДЗЗ с тепловыми инфракрасными каналами среднего разрешения (пространственное разрешение от 10 до 100 м).

В табл. 2 приведены характеристики нескольких образцов современной космической оптико-электронной аппаратуры ДЗЗ среднего разрешения [5].

Таблица 2

Космическая многоспектральная аппаратура среднего разрешения

Параметры сенсоров	Оптико-электронная аппаратура; КА ДЗЗ; государственная принадлежность	
	<i>TIRS</i> ; «Landsat-8»; США	<i>ASTER</i> ; «Terra»; США, Япония
Общее число спектральных каналов	11	14

Окончание табл. 2

Параметры сенсоров	Оптико-электронная аппаратура; КА ДЗЗ; государственная принадлежность	
	<i>TIRS</i> ; «Landsat-8»; США	<i>ASTER</i> ; «Terra»; США, Япония
Число каналов теплового ИК диапазона (спектральные зоны, мкм)	2 (10,3-11,3; 11,5-12,5)	5 каналов в интервале от 8,1 до 11,6 мкм
Полоса съемки, км	185	60
Пространственное разрешение в нади- ре для теплового ИК диапазона, м	100	90
Периодичность съемки	16 дней	16 дней

В 2013 году был осуществлен запуск КА «Landsat-8» (проект *LDCM – Landsat Data Continuity Mission*). Оптико-электронная аппаратура КА предназначена для исследования земной поверхности и облачного покрова; сельскохозяйственного мониторинга; мониторинга тепловых выбросов в атмосферу, загрязнений атмосферы и окружающей среды, состояния водных поверхностей и решения ряда других задач ДЗЗ. На КА «Landsat-8» установлены два сенсора: оптико-электронный (*Operational Land Imager, OLI*) и тепловой (*Thermal InfraRed Sensor, TIRS*).

Запущенный в 1999 году КА «Terra» с оптико-электронной аппаратурой *ASTER* – результат сотрудничества между *NASA* (США) и японским министерством экономики и торговли (*METI*) при участии научных и промышленных организаций двух стран. Высота орбиты КА 705 км. Сканер *ASTER* имеет следующие подсистемы: видимого и ближнего ИК диапазона – *Visible and Near Infrared (VNIR)*, коротковолнового ИК – *Shortwave Infrared (SWIR)*, теплового ИК – *Thermal Infrared (TIR)*.

Недостатком ДЗЗ с использованием КА серий «Landsat» и «Terra» является сравнительно большой период повторной съемки. В современных и перспективных космических системах это компенсируется механизмами поворота оптических камер, многокамерными широкозахватными оптическими системами и многоспутниковыми группировками малых КА.

Перспективы развития космического ДЗЗ связаны с широким использованием миниспутников (масса от 100 до 500 кг), микроспутников (масса от 10 до 100 кг) и наноспутников (масса от 1 до 10 кг). Преимущества использования сверхмалых спутников ДЗЗ связаны со снижением стоимости КА и производственных затрат на создание КА, упрощением конструкции КА и его бортовой аппаратуры.

Особенность разработки микроспутников ДЗЗ состоит в том, что такие КА не должны существенно уступать большим КА ДЗЗ по основным информационным параметрам: пространственному разрешению, радиометрическому разрешению, числу спектральных каналов, ширине полосы захвата. Недостатком микроспутников является меньшее количество бортовых приборов, т.е. снижение комплексности состава бортовой аппаратуры ДЗЗ. Поэтому микроспутники ДЗЗ в ближайшей перспективе будут проектироваться как узкоспециализированные КА, предназначенные для получения больших однородных потоков данных. Быстрое развитие (улучшение характеристик и миниатюризация) оптико-электронной аппаратуры ДЗЗ теплового ИК диапазона позволит активно использовать ее на сверхмалых спутниках в ближайшие десятилетия.

Возможные области применения тепловых ИК каналов микро- и наноспутников [6]:

- климатология;
- температурный анализ для прогноза погоды;

- исследование температурных аномалий;
- мониторинг вулканической активности;
- мониторинг экосистем и чрезвычайных ситуаций.

Ожидаемые характеристики ИК аппаратуры микро- и наноспутников следующие:

- температурное разрешение от 0,5 К;
- линейное разрешение на местности от 50 м;
- ширина полосы захвата на местности до 25 км.

В качестве примера укажем актуальную перспективную задачу создания системы микро-спутников для высокооперативного обнаружения очагов лесных пожаров. Существует значительная группа сверхоперативных задач ДЗЗ, включая обнаружение очагов возгорания лесных пожаров и других стихийных явлений, для эффективного решения которых необходимо достижение периодичности обзора на уровне одного часа и менее. В связи с этим возникает потребность в перспективном создании космической системы из 40–50 спутников. С целью минимизации затрат на создание и поддержание столь крупной космической системы ДЗЗ желательно добиться предельного уменьшения массы КА для подобной системы, вплоть до уровня наноспутников. Такая возможность может стать реальной в ближайшие 15–20 лет.

ТЕПЛОВЫЕ ИНФРАКРАСНЫЕ КАНАЛЫ АВИАЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Рассмотрим авиационные средства теплового инфракрасного ДЗЗ.

В табл. 3 приведены характеристики нескольких образцов современной авиационной оптико-электронной аппаратуры ДЗЗ [7–9].

Таблица 3

Авиационная многоспектральная и гиперспектральная аппаратура

Параметры сенсоров	Оптико-электронная аппаратура, государственная принадлежность			
	MASTER США	SEBASS США	«Везувий» РФ	«Этна-МВ» РФ
Общее число спектральных каналов	50	256	2	4
Число каналов в первом окне теплового ИК диапазона (3–5 мкм)	15	128	-	2
Число каналов во втором окне теплового ИК диапазона (7–13 мкм)	10	128	1	2
Полное угловое поле зрения, град	86	7,3	84	120
Мгновенный угол поля зрения, мрад	2,5	1	1	0,5
Температурная чувствительность, К	0,3	0,5	0,1	0,05

Оптико-электронный комплекс «Этна» был создан в начале 2000-х годов и является совместной разработкой «НИИ комплексных испытаний оптико-электронных приборов и систем» (г. Сосновый Бор) и ОАО «Красногорский завод имени С.А. Зверева» (г. Красногорск Московской обл.) [9].

Характеристики авиационного оптико-электронного комплекса «Этна-МВ» приведены в табл. 4.

Таблица 4

Основные характеристики оптико-электронного комплекса «Этна-МВ»

Параметр, обозначение, размерность	Значение параметра
Рабочий спектральный диапазон, мкм	0,3–12,5
Число спектральных зон	4
Область спектральной чувствительности, мкм	
зона 1	0,3–0,4
зона 2	0,4–0,9
зона 3	3,0–5,0
зона 4	8,0–12,5
Полное поле зрения 2ω , градусы	120
Мгновенный угол зрения, мрад	0,5
Фокусное расстояние объектива для теплового канала, мм	100
Фокусное расстояние объектива для видимого канала, мм	18,2
Диапазон высот полета носителя, м	200–3000
Масса оптико-механического блока, кг	7,5

В табл. 5 приведены характеристики фотоприемника «ИК-2-32» для инфракрасного канала оптико-электронного комплекса «Этна-МВ».

Таблица 5

Основные характеристики фотоприемника «ИК-2-32» комплекса «Этна-МВ»

Параметр, обозначение, размерность	Значение параметра
Количество линеек	2
Количество фоточувствительных элементов (ФЧЭ) в линейке	16
Спектральная чувствительность ФЧЭ, мкм	8,0–12,5
Размер ФЧЭ (размер пикселя r), мкм	50 x 50
Удельная обнаружительная способность, $\text{Вт}^{-1} \text{см} \text{Гц}^{1/2}$ (не менее)	4 E+10
Рабочая температура охлаждения, К	77

Поперечное разрешение пикселя на местности (проекция пикселя) R и ширина полосы захвата (ШПЗ) местности L определяются из соотношений:

$$\frac{r}{R} = \frac{f}{H}; L = 2H \tan \omega,$$

где r – размер пикселя;

f – фокусное расстояние оптической системы;

H – высота съемки;

ω – угол зрения съемочной камеры.

Результаты расчетов проекции пикселя и полосы съемки (полосы захвата) на местности приведены в табл. 6.

Таблица 6

Значения разрешения на местности и ширины полосы захвата тепловых ИК каналов комплекса «Этна-МВ» для $r = 50$ мкм; $f = 0,1$ м; $\omega = 60$ град

H , м	200	500	1000	1500	2000	3000
R , м (ИК канал)	0,1	0,25	0,5	0,75	1,0	1,5
L , м	692	1732	3464	5196	6928	10392

Современные ИК фотоприемники имеют размер ФЧЭ (размер пикселя r) около 25 мкм.

Результаты расчетов проекции пикселя и полосы съемки (полосы захвата) на местности для комплекса «Этна-МВ» в случае использования нового ИК фотоприемника приведены в табл. 7.

Таблица 7

Значения разрешения на местности и ширины полосы захвата тепловых ИК каналов комплекса «Этна-МВ» для $r = 25$ мкм; $f = 0,1$ м; $\omega = 60$ град

H , м	200	500	1000	1500	2000	3000
R , м (ИК канал)	0,05	0,13	0,25	0,38	0,5	0,75
L , м	692	1732	3464	5196	6928	10392

Данные табл. 6 и 7 подтверждают преимущество новой многоспектральной авиационной аппаратуры по детальности получаемых изображений объектов земной поверхности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В настоящее время для ДЗЗ в тепловом инфракрасном диапазоне используются КА с оптико-электронной аппаратурой низкого и среднего разрешения. Аппаратура низкого разрешения уступает аппаратуре среднего разрешения по пространственному разрешению получаемых изображений и превосходит по периодичности съемки и ширине полосы обзора.

2. Перспективы развития систем ДЗЗ космического базирования связаны с улучшением характеристик съемочной аппаратуры [10]. Перспективы развития тепловых инфракрасных каналов аппаратуры КА ДЗЗ среднего разрешения связаны с использованием сверхмалых спутников, повышением качества платформ этих спутников и качества целевой аппаратуры, улучшением пространственного разрешения ДЗЗ (10–50 м), увеличением числа спектраль-

ных зон съемочной аппаратуры, увеличением числа спутников в целевых орбитальных группировках для достижения требуемой периодичности обзора, созданием сверхбольших кластерных космических систем из микро- и наноспутников.

3. Перспективы развития систем ДЗЗ авиационного базирования связаны с улучшением характеристик съемочной аппаратуры. Перспективы развития тепловых инфракрасных каналов авиационной аппаратуры ДЗЗ связаны с увеличением числа спектральных зон съемочной аппаратуры и достижением сверхвысокого разрешения (менее 1 м) для всех возможных высот съемки.

Список используемых источников

1. Горный В.И., Шилин Б.В., Ясинский Г.И. Тепловая аэрокосмическая съемка. – М.: Недра, 1993. – 128 с.

2. Многозональное сканирующее устройство для геостационарного метеоспутника «Электро-Л» / Р.В. Андреев, Н.П. Акимов, К.В. Бадаев и др. // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. – 2015. – Т. 2, вып. 3. – С.33–44.

3. URL: http://www.geogr.msu.ru/science/projects/geoportal/data/satellites/terra_aqua.php (дата обращения: 21.10.2015).

4. Салихов Р.С., Туманов М.В., Карелин А.В. Перспективы применения космических аппаратов на платформе «Канопус-В» для мониторинга радиоактивных загрязнений // Геоматика. – 2014. – № 4. – С.12–15.

5. Тронин А.А., Горный В.И., Крицук С.Г. Спектральные методы дистанционного зондирования в геологии: обзор // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2011. – Т.8, № 4. – С.23–36.

6. Тертышников А.В., Кучейко А.А. Оперативный космический мониторинг чрезвычайных ситуаций: История, состояние и перспективы // Земля из космоса. Наиболее эффективные решения. – 2010. – № 4. – С.7–13.

7. URL: <http://www.masterweb.jpl.nasa.gov> (дата обращения: 11.10.2015).

8. URL: <http://www.aero.org> (дата обращения: 18.10.2015).

9. Павлов Н.И., Ясинский Г.И. Малогабаритный оптико-электронный сканирующий прибор для аэросъемки в видимом и инфракрасном диапазонах // Оптический журнал. – 2003. – № 4. – С.11–14.

10. Никишин Ю.А. Перспективы развития гиперспектральной съемочной системы космического базирования // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 3. – С. 35–41.

С.А. Власов,
кандидат техн. наук, доцент;
Т.А. Житников;
А.В. Кульвиц,
кандидат техн. наук

ФОРМИРОВАНИЕ ОБЛИКА БАЛЛИСТИЧЕСКИ СВЯЗАННОЙ ГРУППЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НАБЛЮДЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Предложен вариант орбитального построения КА в баллистически связанной группе для решения задач наблюдения земной поверхности. Проведены расчет и анализ некоторых характеристик движения баллистически связанной группы под действием возмущающих факторов.

Ключевые слова: космический аппарат, орбитальная группировка, баллистически связанная группа КА, периодический обзор поверхности Земли.

ВВЕДЕНИЕ

Современный уровень развития систем КА ДЗЗ характерен наличием целого ряда перспективных направлений, одним из которых является применение систем КА с использованием баллистически связанных групп (БСГ) КА – совокупности из нескольких КА, движущихся на сравнительно близком взаимном расстоянии от несколько десятков метров до сотни километров [10]. Как правило, БСГ КА создается для выполнения общей целевой задачи.

Орбитальное движение КА в составе БСГ позволяет частично снизить стоимость проекта и привнести качественно новые возможности в научную и технологическую программу полета [9]. Основным отличием полетов КА в составе БСГ от полетов в составе системы КА заключается в том, что в системах первого типа управление осуществляется с учетом взаимного положения спутников, движущихся по весьма близким орбитам, т.е. реализуется управление относительным движением, а в системах второго типа осуществляется индивидуальное управление каждым объектом. Активно применяют системы КА с использованием БСГ такие страны, как США (системы White Cloud), Китай (Yaogan), Германия и др. [6, 7].

Применение систем КА с использованием БСГ КА дает возможность сохранить функциональность группы в случае выхода из строя одного из ее элементов. В этом случае работа системы может быть продолжена, но, быть может, с меньшей производительностью. Существует ряд проблем для реализации таких проектов, в том числе и с точки зрения динамики входящих в нее КА. Первая проблема – это определение и формирование пространственных конфигураций. Вторая проблема – их поддержание во времени. Решение первой проблемы зависит от того, какой системный эффект от применения БСГ необходимо реализовать при построении орбитальной группировки. Для решения второй проблемы целесообразно изучить механизмы, способствующие разрушению БСГ.

Для обеспечения полетов КА в составе БСГ дополнительно к требованиям по информационному обеспечению, предъявляемым для одиночных миссий (полетов), налагаются требования по информационному обеспечению управлением относительным движением аппаратов в баллистически связанной группе. Эти требования предъявляются ко всем трем основным видам информационного обеспечения: баллистико-навигационному, командно-программному и информационно-телеметрическому. Рассмотрим различные принципы построения группировок из малых спутников с точки зрения информационного обеспечения, а также ряд примеров различных целей управления движением БСГ и их возможных конфигураций.

Для различных целевых задач требуются различные типы БСГ, в зависимости от поставленных задач. Например, для случая, когда необходимо иметь много снимков одной области на поверхности Земли, подходит формация «same ground-track». Тогда одна и та же область поверхности Земли наблюдается сначала одним спутником, затем через определенное время другим с одной и той же точки орбиты над поверхностью Земли. Это имеет большое значение, в частности, при необходимости обнаружения движущегося объекта. Для задач стереографической съемки, когда важно иметь несколько одновременных снимков одного и того же объекта с разных точек, подходит формация «Лидер – Ведомый». В этом случае спутники движутся друг за другом по одной и той же орбите, но с разными эпохами. Для решения задач дистанционного зондирования Земли, например, используется БСГ из трех КА, образующих при движении фигуру треугольника.

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ФОРМИРОВАНИЯ ОБЛИКА БСГ КА

Как правило, процесс баллистического проектирования систем КА содержит несколько этапов, основными из которых являются:

- изучение наиболее важных целевых задач, стоящих перед системой КА;
- приближенный выбор класса орбит, позволяющих решать поставленные задачи;
- приближенный выбор орбитальной структуры системы;
- исследование динамики системы с приближенной орбитальной структурой;
- уточненный синтез орбитальной структуры системы;
- выбор законов управления орбитами системы КА [3].

Проведенный предварительный анализ формирования облика БСГ КА позволяет сформулировать следующие задачи, которые необходимо решить для проектирования систем КА с использованием БСГ КА.

1. Определение целевой задачи (целевой функции), стоящей перед системой КА с использованием БСГ.
2. Формирование требований и ограничений, которые предъявляются к КА в составе БСГ КА.
3. Выбор и обоснование параметров орбит с учетом стоящей перед системой целевой задачи, а также поиск начального положения каждого КА в составе БСГ, которая будет соответствовать данным требованиям и ограничениям.
4. Выбор и обоснование модели движения центра масс КА в составе БСГ.
5. Разработка методологического аппарата решения задачи синтеза систем КА с использованием БСГ.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ БСГ КА

С точки зрения классификации систем КА с использованием БСГ – это системы периодического обзора, но в качестве структурного элемента выступает не одиночный КА, а БСГ КА. В связи с этим методы и алгоритмы решения задачи синтеза и анализа таких систем КА будут другими, с новыми требованиями и ограничениями. В ряде случаев применительно к системе КА с использованием БСГ КА – это повышенные требования к конфигурации треугольника, образованного КА, и т.д. [4]. Все эти особенности построения БСГ КА необходимо учитывать на этапах баллистического проектирования систем КА с использованием БСГ [8].

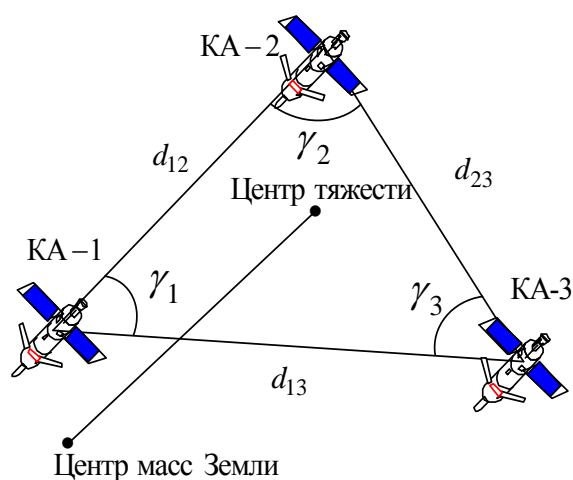
Рассмотрим, как происходит формирование требований и ограничений для варианта орбитального построения трех КА в составе БСГ КА. Обозначим номера КА соответствующими индексами: 1, 2, 3 (табл.1).

Таблица 1
Структура баллистически связанной группы КА

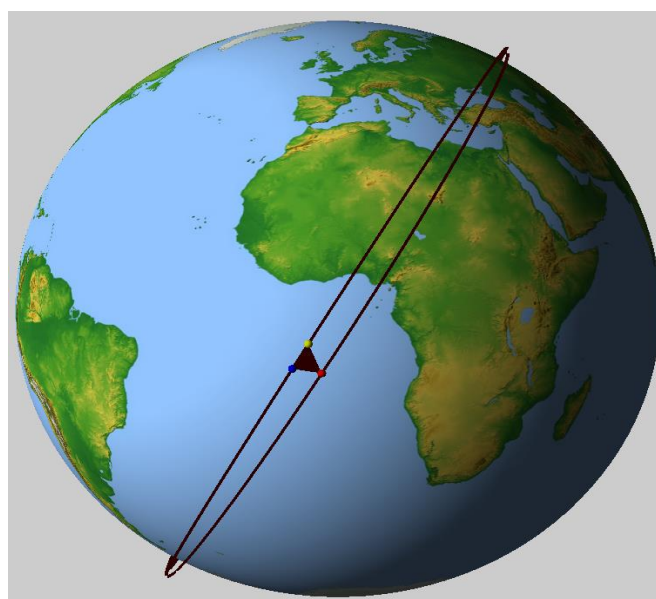
Номер КА	a , км	i , град	u , град	Ω , град
1	7480.5	63.4	1	0
2	7480.5	63.4	0	0
3	7480.5	63.4	0,01	1

Проведем анализ движения КА в составе БСГ на интервале 10 суток. В качестве характеристик рассмотрим линейную дальность, угол между КА и угол по отношению к нормали (рис. 1).

Обозначим d_{12}, d_{13}, d_{23} как линейную дальность между КА 1-2, 1-3, 2-3 соответственно; γ_j – как угол между вершинами треугольника, образованного БСГ КА. Эти геометрические характеристики полностью определяют динамику относительного движения треугольника, образуемого БСГ КА.



а)



б)

Рис. 1. Геометрические характеристики баллистически связанной группы КА (а) и модель движения баллистически связанной группы КА над поверхностью Земли (б)

Движение каждого КА в составе БСГ рассмотрим в абсолютной геоцентрической экваториальной системе координат (АГЭСК). Система уравнений движения центра масс КА БСГ в абсолютной геоцентрической экваториальной системе координат (АГЭСК) имеет вид:

$$\ddot{x} = -\frac{\mu}{r^3} + \left[-\frac{3\pi_2}{2r^4} \left(1 - 5\frac{z^2}{r^2} \right) + \frac{5\pi_4}{8r^6} \left(3 - (42 - 63\frac{z^2}{r^2}) \frac{z^2}{r^2} \right) \right] \frac{x}{r} + \frac{c_x S}{2m} \rho V^2,$$

$$\ddot{y} = -\frac{\mu}{r^3} + \left[-\frac{3\pi_2}{2r^4} \left(1 - 5\frac{z^2}{r^2} \right) + \frac{5\pi_4}{8r^6} \left(3 - (42 - 63\frac{z^2}{r^2}) \frac{z^2}{r^2} \right) \right] \frac{y}{r} + \frac{c_x S}{2m} \rho V^2,$$

$$\ddot{z} = -\frac{\mu}{r^3} + \left[-\frac{3\pi_2}{2r^4} \left(3 - 5\frac{z^2}{r^2} \right) + \frac{5\pi_4}{8r^6} \left(30 - (70 - 63\frac{z^2}{r^2}) \frac{z^2}{r^2} \right) \right] \frac{z}{r} + \frac{c_x S}{2m} \rho V^2,$$

$$\dot{x} = V_x,$$

$$\dot{y} = V_y,$$

$$\dot{z} = V_z,$$

где x, y, z, V_x, V_y, V_z – координаты и проекции скорости центра масс КА в АГЭСК;
 c_x – коэффициент силы лобового сопротивления;
 S – площадь Миделя;
 m – масса КА.

Для каждого момента времени рассчитаем характеристики, определяющие динамику относительного движения треугольника, образуемого БСГ КА, по следующим формулам:

$$d_{12} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2},$$

$$d_{13} = \sqrt{(x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2 + (z_3 - z_1)^2},$$

$$d_{23} = \sqrt{(x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2 + (z_3 - z_2)^2},$$

$$\gamma_j = \arccos\left(\frac{d_{23}^2 + d_{12}^2 - d_{13}^2}{2d_{23}d_{12}}\right).$$

На рис. 2–4 показаны зависимости линейной дальности и угла между КА в составе БСГ на интервале 10 суток.

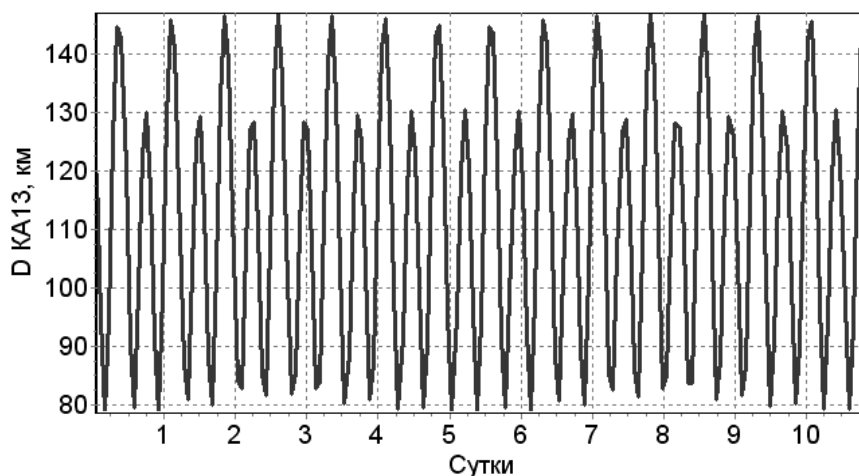


Рис.2. График изменения линейной дальности между КА-1 и КА-3 в составе БСГ на интервале 10 суток

Предварительные результаты моделирования геометрических характеристик БСГ КА, представленные на рис. 2–4 (конфигурация БСГ КА на плоскости и в пространстве), показы-

вают, что характер изменения линейной дальности между КА и угла между вершинами треугольника, образованного БСГ КА, на временном интервале периодический. В то же время присутствуют вековые уходы и представленные зависимости носят сложный функциональный характер. Как показывают результаты моделирования на более длительном временном интервале для различных вариантов начального положения КА в составе БСГ КА и моделей сил, действующих на БСГ КА, появляются долгопериодические составляющие возмущающих сил.

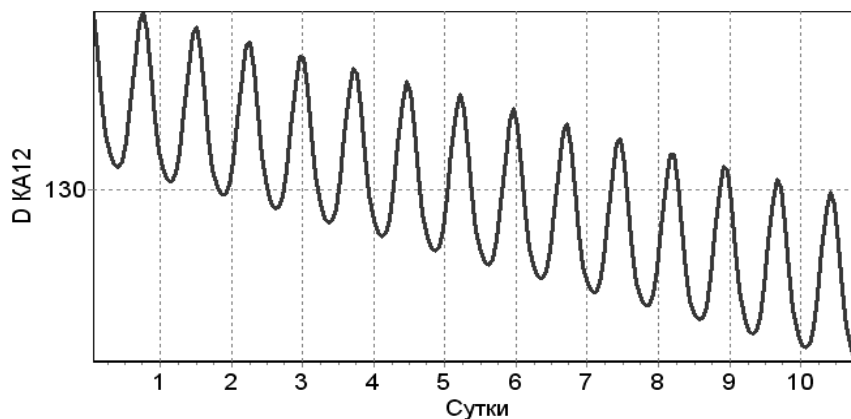


Рис.3. График изменения линейной дальности между КА-1 и КА-2 в составе БСГ на интервале 10 суток

Характер изменения углов γ_j , представленный на рис. 4, зависит от начального положения КА в составе БСГ КА. Для удовлетворения требований по предельным значениям углов (например, для реализации разностно-дальномерного метода определения местоположения источников радиоизлучений) необходимо проводить анализ в центральном гравитационном поле.

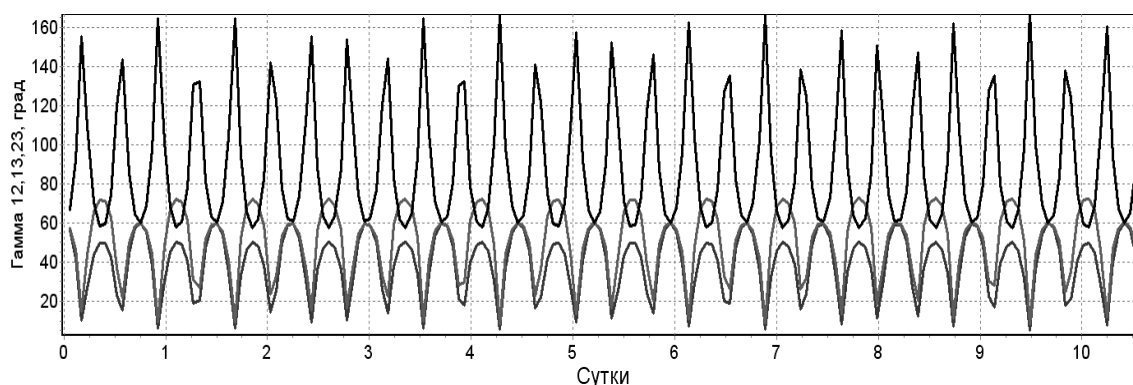


Рис.4. График изменения углов между КА в составе БСГ на интервале 10 суток

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Требования к геометрическим характеристикам или конфигурации БСГ КА определяются методом радиолокации. Для их реализации необходимо использовать орбиты с разной геометрией и положением в пространстве, а это, в свою очередь, порождает ряд трудностей при синтезе системы КА с использованием БСГ. По сути требования к БСГ противоречат методам и алгоритмам синтеза системы КА периодического обзора. Так, в их основе лежит поиск оптимальной структуры на узком множестве (орбиты круговые, с одинаковым радиусом и наклоном). Кроме того, задача выбора начального положения КА в составе БСГ в настоящее время не решена. Предварительные результаты моделирования геометрических харак-

теристик БСГ КА, представленные на рис. 2, 3 (конфигурация БСГ КА на плоскости) и рис. 4 (ориентация плоскости БСГ КА к поверхности Земли) для различных вариантов начального положения КА в составе БСГ КА, показывают, что улучшение характеристик на плоскости в ряде случаев ведет к ухудшению ориентации плоскости БСГ КА. Более того, с учетом возможностей средств выведения и реализации на практике таких систем КА варианты начального положения КА в БСГ, которые удовлетворяли заданным требованиям, могут отсутствовать. В этом случае для заданного диапазона орбит КА оптимизация начального положения КА в составе БСГ КА может быть сведена к минимизации времени, при котором заданные требования не выполняются.

Список используемых источников

1. Основы теории полета летательных аппаратов / Н.Ф. Аверкиев, С. А. Богачёв, С. А. Васьков и др. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2013. – 242 с.
2. Баллистическое проектирование систем космических аппаратов: учебное пособие / С.А. Власов, А.В. Кульвиц, И.Ю. Кубасов, Д.А. Мосин. – СПб.: ВКА им. А.Ф.Можайского, 2007.– 86 с.
3. *Власов С.А., Мамон П.А.* Теория полета космических аппаратов: учебник. – СПб.: ВКА им. А.Ф.Можайского, 2007. – 435 с.
4. *Лобанов А.Г., Семункина В.И.* К вопросу о баллистическом построении при проведении интерферометрической съемки // Космонавтика и ракетостроение. – 2012. – №5. – С.41–47.
5. *Агапов В.А.* Два новых спутника для NRO // Новости космонавтики. – 2002. – №5. – С.11–12.
6. *Кучейко А.В.* USA-160: ситуация проясняется // Новости космонавтики. – 2002. – №8. – С.44–47.
7. *Власов С.А., Кульвиц А.В., Мосин Д.А.* Анализ пространственно-временных характеристик при решении задачи периодического наблюдения системой КА // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2010. – Вып. 645, т. 2. – С. 72–75.
8. *Власов С.А., Кульвиц А.В., Киселёв В.В.* Алгоритм расчета характеристик применения космических аппаратов для наблюдения объектов в околоземном космическом пространстве // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2010. – Вып. 645, т. 2. – С. 82–92.
9. *Овчинников М.Ю., Ткачёв С.С.* Влияние слабых возмущений на относительное движение двух спутников // Препринты ИПМ имени М.В. Келдыша. – 2005. – №69. – 24 с.
10. ГОСТ Р 53802-2010. Системы и комплексы космические. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2011.

А.С. Марковский,
кандидат техн. наук;
А.В. Самонов,
кандидат техн. наук;
Н.И. Свеколкин

МЕСТО И РОЛЬ ПРОЦЕССОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА В ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ СИСТЕМ ВООРУЖЕНИЯ

В статье представлены результаты анализа состояния и перспектив в области разработки программных средств систем вооружения (ПССВ), разрабатываемых в интересах Министерства обороны Российской Федерации (МО РФ). Установлено, что основными направлениями решения накопившихся в данной области проблем являются совершенствование нормативно-методической базы (НМБ), внедрение современных технологий разработки и реализация сквозного контроля за качеством ПССВ на всех этапах их жизненного цикла (ЖЦ). Определены состав и ключевые компоненты обновленной НМД в области обеспечения качества ПССВ (НМБ-ПССВ). Предложена соответствующая современным технологиям разработки программного обеспечения (ПО), усовершенствованная модель ЖЦ ПССВ, в которой точно определены место и роль процессов контроля и обеспечения качества. Описана классификация показателей качества ПССВ. Представлен метод и технологии реализации автоматизированного сквозного контроля качества на всех этапах ЖЦ ПССВ.

Ключевые слова: верификация, жизненный цикл, контроль качества, модель жизненного цикла, показатели качества программных средств, программные средства систем вооружения.

Современный этап развития Вооруженных Сил Российской Федерации характеризуется активным внедрением автоматизированных систем управления войсками и оружием, важнейшим элементом которых являются программные средства (ПС). В соответствии с реализуемой в настоящее время Государственной программой вооружений на 2011–2020 годы [1] должно быть обновлено от 70 до 80% всех российских вооружений и военной техники. Отличительной чертой новых систем вооружения является их высокая степень компьютеризации и автоматизации. Это относится как к обычным средствам ведения вооруженной борьбы (авиационным, ракетным, артиллерийским и бронетанковым комплексам), так и к перспективным робототехническим средствам и вооружениям, основанным на новых физических принципах, которые все вместе должны функционировать в едином информационном пространстве. Все это обуславливает высокий уровень требований к надежности, производительности, защищенности и другим характеристикам ПС, используемых в системах вооружения.

В то же время, как показывает практика в нашей стране и за рубежом, чем сложнее и объемнее ПО, тем больше в нем дефектов. Подтверждением этого тезиса служат результаты исследования большого числа сложных программных продуктов, выполненные компанией Coverity [2]. В ходе этих исследований было установлено, что в реальных проектах содержатся сотни ошибок, на выявление и устранение которых расходуются значительные интеллектуальные, временные и финансовые ресурсы.

Известные объективные и субъективные трудности создания высококачественных ПС в нашей стране усугублены следующими факторами (обстоятельствами):

- 1) отечественная НМБ-ПССВ не соответствует современному уровню информационно-коммуникационных технологий и средств разработки;
- 2) разработка современных ПССВ осуществляется на основе устаревших и неэффективных технологий и инструментальных средств;
- 3) на предприятиях, разрабатывающих ПО для систем вооружения, не обеспечивается требуемый уровень контроля качества ПССВ.

Как показал проведенный анализ, основу отечественной НМБ-ПССВ составляют следующие комплексы стандартов на оборонную продукцию:

- 1) система разработки и постановки на производство военной техники (СРПП ВТ);
- 2) стандарты на автоматизированные системы (серия 34.xxx);
- 3) единая система конструкторской документации (ЕСКД, серия 2.xxx);
- 4) единая система программной документации (ЕСПД, серия 19.xxx).

На рис. 1 представлена схема, иллюстрирующая состав и структуру действующей в настоящее время в нашей стране НМБ-ПССВ.

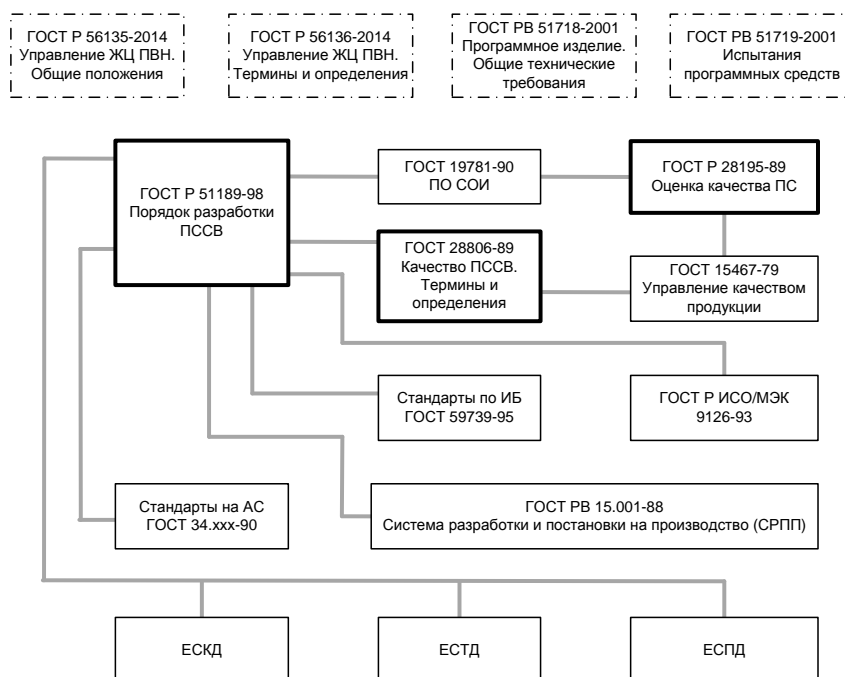


Рис. 1. Состав и структура действующей НМБ-ПССВ

Анализ нормативно-методических документов, регламентирующих разработку ПССВ в интересах МО РФ в части состава, структуры и содержания этапов создания и эксплуатации ПССВ, позволил определить следующие недостатки и проблемные вопросы:

- 1) отсутствуют терминологическое и методологическое единство и системность представления понятий, требований и рекомендаций, изложенных в действующих старых [3–8] и новых НМД [9–14];
- 2) имеют место противоречия в используемой терминологии и видах деятельности, выполняемых на одних и тех же этапах ЖЦ ПССВ [3, 7, 9, 12];
- 3) имеют место избыточность и излишняя детализация отдельных видов деятельности и артефактов [3, 9];
- 4) не используются преимущества применения концепции процессного подхода к разработке и применению ПССВ [3, 4, 6, 7];
- 5) недостаточно полно и конкретно определены место и роль процессов управления качеством ПССВ [3, 7, 8].

Более подробный анализ документов, образующих НМБ-ПССВ, представлен в материалах отчета о НИР [15].

В результате проведенного анализа можно сделать вывод, что в настоящее время возникла необходимость фундаментального пересмотра и переработки НМБ-ПССВ, включая создание концепции, определение оптимального состава и структуры комплекта НМД, разработку содержания стандартов. В состав комплекта НМД, регламентирующих процессы разработки и управления качеством ПССВ, предлагается включить следующие пять базовых стандартов:

- ГОСТ РВ.* Термины и определения;

- ГОСТ РВ.* Классификация и качество ПССВ;
- ГОСТ РВ.* Жизненный цикл ПССВ;
- ГОСТ РВ.* Модели и методы оценки качества ПССВ;
- ГОСТ РВ.* Техническое задание на разработку ПССВ.

Основными отличительными особенностями этих документов являются:

1) гармонизация с современными нормативно-методическими документами, технологиями и инструментальными средствами, применяемыми в области системной и программной инженерии (СиПИ), включая средства информационной поддержки ЖЦ военной продукции (CALS технологии);

2) концептуальное и нормативное закрепление в НМБ-ПССВ ключевой роли процессов обеспечения качества ПССВ на всех этапах их ЖЦ, начиная с этапа обоснования концепции и формирования требований к ПССВ;

3) четкое определение места, роли и способов верификации всех артефактов ЖЦ ПССВ.

Схема, иллюстрирующая состав и структуру данного комплекта НМД, а также их связи с другими документами, представлена на рис. 2.

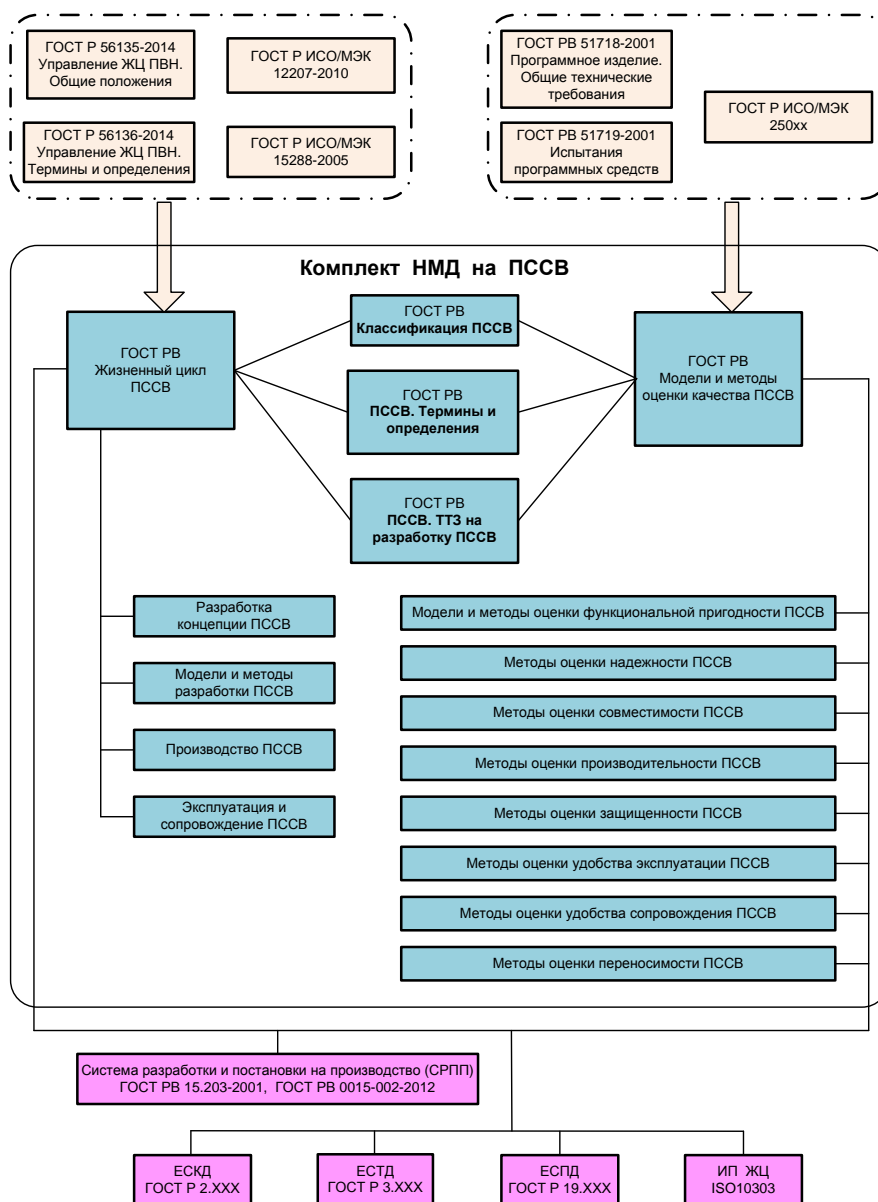


Рис. 2. Состав и структура предлагаемой НМБ-ПССВ

Одним из основных понятий в СиПИ является понятие ЖЦ ПС, оно обозначает непрерывный процесс, описывающий все, что происходит с ПС с момента принятия решения о необходимости создания ПС до его изъятия из эксплуатации. Модель ЖЦ ПС – это определенным образом упорядоченная совокупность этапов ЖЦ (видов деятельности и событий), условия и порядок переходов между ними, обеспечивающих достижение цели проекта в установленные сроки в рамках доступного бюджета времени, людских и финансовых средств [3]. На рис. 3 представлена усовершенствованная модель ЖЦ ПССВ, в которой устранены недостатки модели, описанной в стандарте [3]. Структура данной модели описывается с помощью трех основных понятий: «вид деятельности», «исполнители» и «артефакты».

№ этапа	Этапы, виды деятельности (процессы)	Исполнители	Артефакты (содержание и форма)
1	Анализ потребности, разработка концепции и обоснование требований	-	-
1.1	Анализ потребности и обоснование необходимости ПССВ	Аналитики Заказчики Потребители Организации ВНС, ВТС	Обоснование места и роли ПССВ в составе средств вооружения. Аналитический отчет
1.2	Разработка концепции построения, функционирования и применения ПССВ	Аналитики Заказчики Потребители Организации ВНС, ВТС	Концепция применения ПССВ в составе средств вооружения
1.3	Разработка технического задания (ТЗ) на ПССВ	-	-
1.3.1	Разработка проекта ТЗ на ПССВ	Аналитики Заказчики Потребители	Проект ТЗ на ПССВ (функциональные и эксплуатационные требования)
1.3.2	<i>Верификация требований к ПССВ</i>	<i>Заказчик Организации ВНС, ВТС</i>	<i>Заключение о полноте, непротиворечивости и корректности требований к ПССВ</i>
1.3.3	Согласование и утверждение ТЗ	Заказчик Потребители Организации ВНС, ВТС	Утвержденное ТЗ
2	Разработка ПССВ	-	-
2.1	Планирование разработки ПССВ	Руководитель проекта Проектировщик	Сквозной график разработки ПССВ
2.2	Проектирование ПССВ		
2.2.1	Разработка проекта (архитектуры) ПССВ	Проектировщик (конструктор)	Проект архитектуры и компонентов ПССВ
2.2.2	<i>Верификация проекта (архитектуры) ПССВ</i>	<i>Организации ВНС, ВТС</i>	<i>Заключение о соответствии проекта заданным в ТЗ условиям</i>
2.3	Разработка программ и программной документации	-	-
2.3.1	Разработка программ в соответствии с проектом ПССВ	Руководитель проекта Разработчики Технические писатели	Программный код и программная документация

Рис. 3. Усовершенствованная модель ЖЦ ПССВ (начало)

№ этапа	Этапы, виды деятельности (процессы)	Исполнители	Артефакты (содержание и форма)
2.3.2	<i>Тестирование на контрольных примерах (модульное, функциональное комплексное, нагрузочное)</i>	<i>Тестирующие</i>	<i>Протоколы и акты испытаний. Предложения по доработке</i>
2.3.3	Возврат к этапам 2.2.1 или 2.3.1 на доработку или завершение разработки, включая подготовку РКД, ПД и ЭД.	Руководитель проекта Проектировщик Разработчики Технические писатели	ПС, РКД, ПД, ЭД, задание на доработку ПССВ
2.3.4	<i>Верификация РКД, ПД и ЭД</i>	<i>Отдел Технического Контроля (ОТК) предприятия Организации ВНС, ВТС Военный представитель (ВП)</i>	<i>Акты соответствия РКД, ПД и ЭД заданным в ТЗ условиям</i>
2.4	Проведение испытаний ПССВ	-	-
2.4.1	Предварительные, приемочные, государственные испытания ПССВ	Разработчики ВП Организации ВНС, ВТС Потребители Заказчики	Протоколы и акты испытаний. Акт о передаче ПССВ в фонд алгоритмов и программ МО РФ
2.4.2	<i>Верификация результатов испытаний</i>	<i>Разработчики Организации ВНС, ВТС</i>	<i>Экспертное заключение</i>
3	Производство	-	-
3.1	Постановка ПССВ на производство	Разработчики Предприятия-изготовителя	Копии РКД, ПД и ЭД Технологическая линия производства ПССВ
3.2	Изготовление ПССВ	Разработчики предприятия-изготовителя	ПССВ с комплектом документации
3.3	<i>Контроль и приемка ПССВ</i>	<i>ОТК ВП Потребитель</i>	<i>Протоколы и акты приемки ПССВ</i>
3.4	Поставка ПССВ потребителю	Разработчики Предприятия-изготовителя	Акт о передаче ПССВ потребителю
4	Применение в составе системы вооружения	-	-
4.1	Эксплуатация	-	-
4.1.1	Опытная (экспериментальная) эксплуатация	Потребитель Разработчики	Отчет с результатами опытной эксплуатации
4.1.2	Функционирование ПССВ в составе системы вооружения	Потребитель	Результаты применения по назначению (расчеты, информационные документы и т.д.)
4.2	Сопровождение	-	-
4.2.1	Организация сопровождения ПССВ	Разработчики Предприятия-изготовителя	Договоры и Акты о сопровождении ПССВ
4.2.2	<i>Анализ функционирования ПССВ</i>	<i>Потребитель Разработчики предприятия-изготовителя</i>	<i>Замечания и рекламации. Предложения о доработке и модернизации</i>
4.2.3	Модернизация ПССВ	Разработчики	Модернизированное ПССВ

Рис. 3. Усовершенствованная модель ЖЦ ПССВ (продолжение)

№ этапа	Этапы, виды деятельности (процессы)	Исполнители	Артефакты (содержание и форма)
4.2.4	<i>Тестирование и верификация модернизированного ПССВ</i>	<i>Разработчики ОТК ВП Потребитель</i>	-
4.3	Прекращение эксплуатации (снятие с вооружения)	-	-
4.3.1	Подготовка к снятию ПССВ с эксплуатации	Потребитель Разработчики	Обоснование целесообразности снятия ПССВ с эксплуатации
4.3.2	Прекращение эксплуатации ПС	Потребитель Заказчик	Документ о снятии ПССВ с эксплуатации

Рис. 3. Усовершенствованная модель ЖЦ ПССВ (окончание)

Важной особенностью представленной в форме таблицы модели ЖЦ (рис.3) является наличие точного указания места и роли процессов контроля качества ПССВ, которые в таблице выделены курсивом. Результатом выполнения данных процессов является оценка степени соответствия получаемых на каждом этапе артефактов заданным или ожидаемым требованиям к создаваемому ПССВ. Качество ПО – это совокупность существенных свойств (характеристик) ПО, обуславливающих его пригодность для использования по назначению. Как видно из рис. 3, процессы верификации должны осуществляться по отношению ко всем значимым артефактам. Первым из них является ТЗ, в котором определяются требования к функциональным и эксплуатационным характеристикам ПССВ. Наиболее полная классификация характеристик ПС, а также метрик и методов их измерения изложены в стандартах серии ISO/IEC 25000 [16]. Подробный анализ этих документов содержится в [15].

В соответствии с предложенной классификацией характеристики ПО сведены в восемь групп (рис. 4). Каждая группа характеристик состоит из подхарактеристик или атрибутов. Например, такая характеристика ПС, как надежность состоит из следующих четырех подхарактеристик: отказоустойчивости, восстанавливаемости, завершенности и доступности. Для оценивания степени, с которой определенная характеристика соответствует установленным требованиям, используются *показатели качества*. *Показатель качества* – это переменная или несколько переменных, значение которых характеризует меру качества ПО относительно одного или нескольких существенных свойств. Так, например, в качестве меры отказоустойчивости системы могут использоваться следующие показатели:

- вероятность безотказной работы $P(t)$;
- средняя наработка на отказ T_0 ;
- гамма-процентная наработка до отказа T_γ ;
- интенсивность отказов $\lambda(t)$;
- параметр потока отказов $\omega(t)$;
- средняя доля безотказной наработки $I(t)$;
- плотность распределения времени безотказной работы $f(t)$.

Показатели качества можно спроецировать на основные группы их потребителей: разработчиков, заказчиков и конечных пользователей. В соответствии с этим принципом все показатели распределяются по следующим трем группам [15–18]:

- внутреннего качества;
- внешнего качества;
- качества при использовании.

Показатель внутреннего качества – степень, с которой множество статических свойств ПС удовлетворяет заявленным или подразумеваемым требованиям к ПС при использовании в

заданных условиях. Статические свойства имеют отношение к архитектуре, внутренней организации и корректности (безошибочности) кода ПС. Примерами показателей внутреннего качества являются: количество ошибок спецификации, проектирования и кодирования, избыточность кода, отсутствие контроля вводимых данных и др. Эти показатели используются программистами и тестировщиками ПССВ в ходе кодирования, отладки и тестирования.

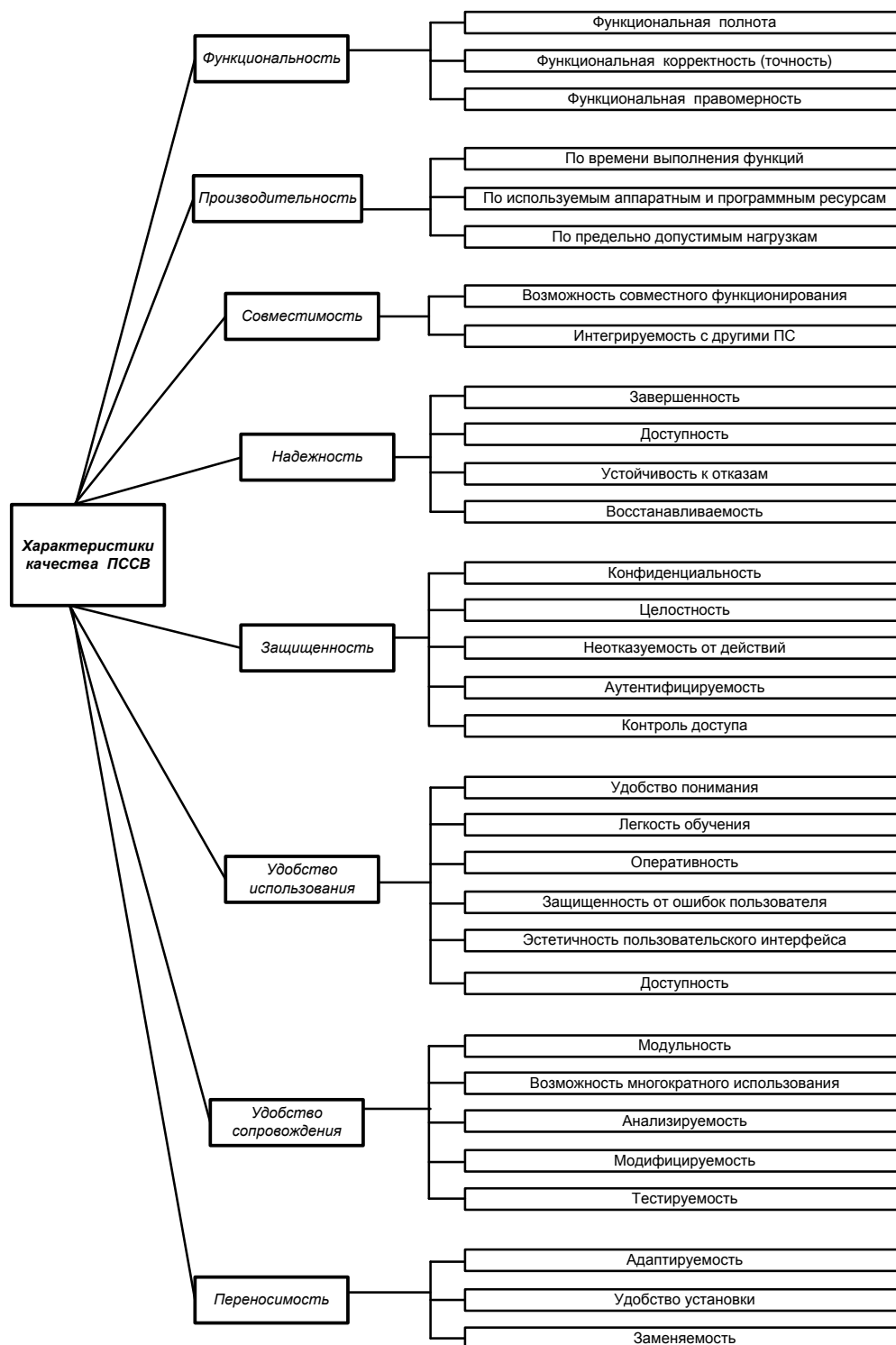


Рис. 4. Классификация характеристик качества ПС

Показатель внешнего качества ПС – степень, с которой ПС позволяет функционированию системы удовлетворять предъявленным к ней требованиям при использовании в заданных

условиях. Примерами таких показателей являются: вероятность безотказной работы в течение определенного периода времени, время решения расчетных задач, пропускная способность каналов передачи данных, время восстановления работоспособности после сбоев и др. Используется во время различных испытаний ПС представителями заказчика, органов сертификации и конечными пользователями.

Показатель качества при использовании – степень, с которой ПС пригодно к использованию по назначению определенными пользователями в заданных условиях применения. Применяется прежде всего конечными пользователями на этапах эксплуатации ПС.

В табл. 1 представлены методы верификации получаемых в ходе разработки ПССВ артефактов. Как показал проведенный анализ, основными из них в настоящее время являются экспертиза требований, проектных решений и программного кода, статические и динамические методы тестирования ПС, аудит, регистрация и анализ результатов эксплуатации.

Наряду с совершенствованием нормативно-методической базы, важным направлением совершенствования процессов управления качеством ПССВ является использование для верификации и валидации артефактов ЖЦ ПССВ формальных процедур и поддерживающих их инструментальных средств и реализации на их основе автоматизированного сквозного контроля качества ПССВ на всех этапах их ЖЦ. Для создания таких средств необходимо разработать формальную модель и язык описания всех артефактов. Схема алгоритма верификации представлена на рис. 5.

Таблица 1

Артефакты ЖЦ ПССВ и методы их верификации

Артефакт	Метод верификации	Исполнитель
ТЗ на разработку ПССВ	Экспертиза (общая и техническая)	Заказчики Потребители Организации ВНС, ВТС
Архитектура ПССВ (проект)	Экспертиза техническая	Аналитики Проектировщики Организации ВНС, ВТС
Программный код ПССВ	1. Статический анализ исходного кода. 2. Динамический анализ выполнения программы. 3. Регрессионное тестирование. 4. Тестирование на стенде	Программисты Тестирующие
РКД, ПД и ЭД ПССВ	Экспертиза (общая и техническая)	ОТК ПЗ (ВП) Организации ВНС, ВТС
Результаты испытаний	1. Экспертиза (общая и техническая). 2. Инспекция	Заказчики ПЗ (ВП) Организации ВНС, ВТС
Программный продукт (на этапе производства и приемки)	1. Экспертиза (общая и техническая). 2. Тестирование на стенде	Разработчики ОТК ПЗ (ВП) Организации ВНС, ВТС

Как показал анализ современных технологий и средств моделирования и верификации ПО, результаты которого приведены в [15], наиболее подходящими для реализации данного подхода средствами являются: унифицированный язык моделирования UML (Unified Modeling Language) [20], язык описания метамodelей MOF (Meta Object Facility) [21] и протокол обмена метаданными XMI (XML Metadata Interchange) [22]). Совместное использование в этих языках и протоколах позволит, с помощью представленных на рис. 4 преобразований, разработать формальную спецификацию требований $R(XML)$, набор тестовых сценариев $T(L)$, формальную спецификацию проекта $P(XML)$, процедуру верификации исходного про-

граммного кода $S(L) \leftrightarrow \{R, P, T\}$ и процедуру тестирования исполняемого кода ПССВ $E(L) \leftrightarrow \{R, P, T\}$.

На основе всего вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. Основными направлениями совершенствования процессов разработки ПССВ являются:

- разработка нового комплекта государственных военных стандартов в данной области;
- внедрение в практику современных технологий проектирования и разработки ПССВ;
- реализация сквозного контроля и обеспечения качества ПССВ на всех этапах их ЖЦ.

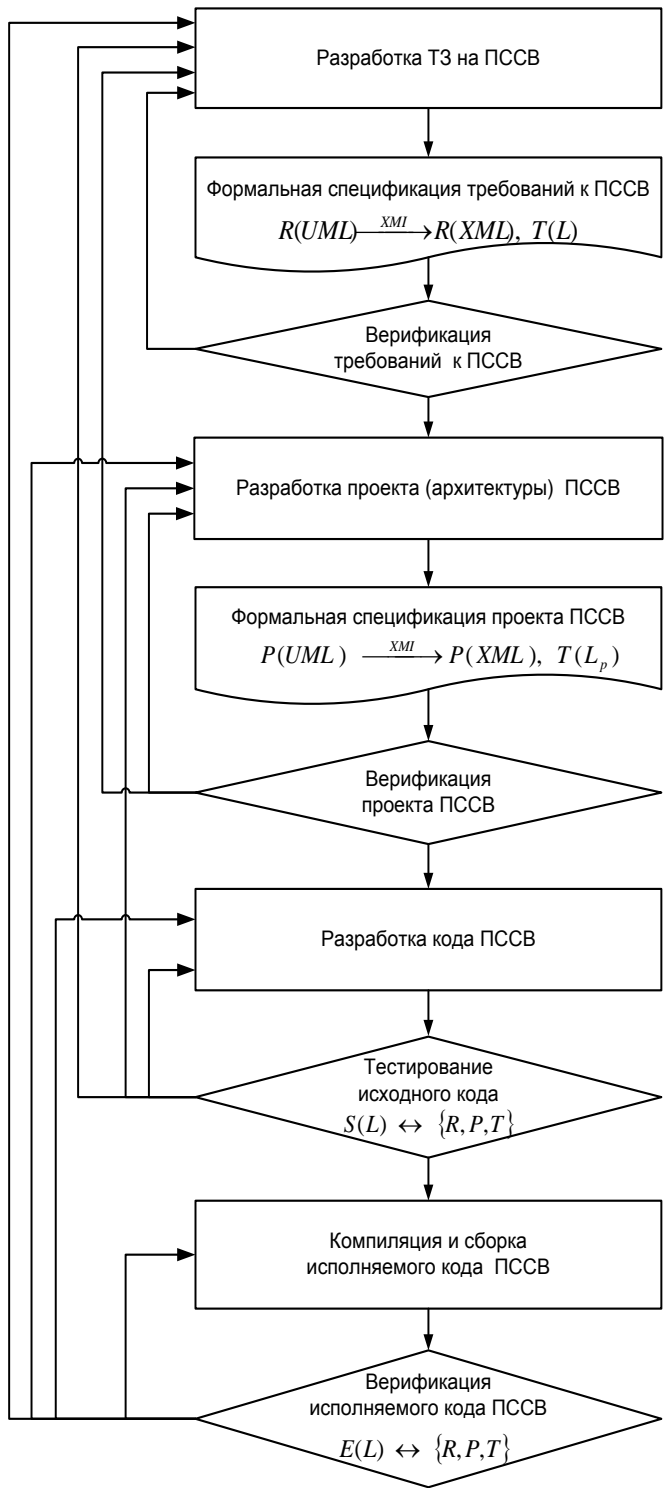


Рис. 5. Алгоритм контроля качества ПССВ

2. Системообразующим стандартом обновленной НМБ-ПССВ должен стать «ГОСТ РВ*. Модель ЖЦ и порядок разработки ПССВ».

3. Предложенная авторами статьи *усовершенствованная модель ЖЦ ПССВ* отличается от используемой в настоящее время:

- определением четкой последовательности выполняемых видов деятельности;
- более точным указанием места и роли процессов контроля качества ПССВ на всех этапах их ЖЦ с выявлением ответственных исполнителей и описанием артефактов, подвергаемых верификации.

4. В целях обеспечения эффективного применения усовершенствованной модели ЖЦ ПССВ предложено разработать средства автоматизированного сквозного контроля качества ПССВ на всех этапах их ЖЦ. Для разработки таких средств предлагается использовать язык моделирования UML, язык описания метамodelей MOF и протокол обмена метаданными XMI. Исследования и разработки, направленные на реализацию изложенного в данной статье подхода, планируется продолжить в рамках выполнения НИР «Контроль-ПО» [15], активными участниками которой являются авторы статьи.

Список используемых источников

1. Государственная программа вооружений на 2011–2020 годы. – URL: <http://www.nationaldefense.ru/includes/periodics/armament/2011/1212/14237820/detail.shtml> (дата обращения: 07.06.2015).

2. URL: <http://www.coverity.com/library/pdf/coverity-scan-2011-open-source-integrity-report.pdf> (дата обращения: 05.07.2015).

3. ГОСТ Р 51189-98. Порядок разработки программных средств систем вооружения. – Введ. 1999–07–01. – М.: Стандартинформ, 2010. – 16 с.

4. ГОСТ 28195-89. Оценка качества программных средств. Общие положения. – Введ. 1990–07–01. – М.: Стандартинформ, 2001. – 31 с.

5. ГОСТ 28808-89. Качество ПССВ. Термины и определения. – Введ. 1992–01–01. – М.: Стандартинформ, 2001. – 8 с.

6. ГОСТ РВ 15.203–2001. Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Порядок выполнения опытно-конструкторских работ по созданию изделий и их составных частей. Основные положения. – Введ. 2003–01–01. – М.: Госстандарт России, 2005. – 117 с.

7. ГОСТ 34.601-90. Автоматизированные системы. Стадии создания. – Введ. 1992–01–01. – М.: Стандартинформ, 2009. – 6 с.

8. ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93. Характеристики качества и руководства по их применению. – Введ. 1994–07–01. – М.: Госстандарт, 2004. – 12 с.

9. ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010. Процессы жизненного цикла программных средств. – Введ. 2012–03–01. – М.: Стандартинформ, 2011. – 105 с.

10. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла систем. – Введ. 2007–01–01. – М.: Стандартинформ, 2006. – 57 с.

11. ГОСТ Р ИСО/МЭК 25021-2014. Разработка систем и программ. Требования и оценка качества систем и программ (SQuaRE). Элементы показателя качества. – Введ. 2014–06–11. – М.: Стандартинформ, 2014. – 51 с.

12. ГОСТ Р ИСО/МЭК 25041-2014. Разработка систем и программ. Требования и оценка качества систем и программ (SQuaRE): Руководство по оценке для разработчиков, покупателей и независимых оценщиков. – Введ. 2014–06–11. – М.: Стандартинформ, 2014. – 49 с.

13. ГОСТ Р 56135-2014. Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Общие положения. – Введ. 2015–09–19. – М.: Стандартинформ, 2015. – 16 с.

14. ГОСТ Р 56136-2014. Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Термины и определения. – Введ. 2015–09–19. – М.: Стандартиформ, 2015. – 68 с.
15. Исследование технологий и методов верификации и контроля качества программных средств систем вооружения: отчет о НИР [промежуточ.] / Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского; А.В. Самонов [и др.]. – СПб., 2015. – 353 с.
16. URL: <http://iso25000.com> (дата обращения: 27.05.2015).
17. Кулямин В.В. Методы верификации программного обеспечения. – М.: Ин-т системного программирования РАН, 2008. – 111 с.
18. Генельт А.Е. Управление качеством разработки программного обеспечения: учеб.-метод. пособие. – СПб.: ИТМО, 2007. – 187 с.
19. ISO/IEC 9126 Software engineering – Product quality – Part 1– 4, 2001.
20. URL: <http://www.uml.org> (дата обращения: 15.06.2015).
21. URL: <http://www.omg.org/mof> (дата обращения: 17.05.2015).
22. URL: <http://www.omg.org/spec/XMI> (дата обращения: 07.08.2015).

В.А. Ременсон,
кандидат физико-математических наук, доцент;
В.И. Тимофеев,
кандидат техн. наук, доцент;
П.В. Шабалин

СИНОПТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЛИЯНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ И ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ГОСУДАРСТВА В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ

Рассматриваются проблемные вопросы диагностики и прогнозирования чрезвычайно сложных и динамично развивающихся погодно-климатических условий, наблюдаемых в Арктической зоне России, в контексте решения комплекса задач специального метеорологического обеспечения деятельности войск в данном регионе.

Ключевые слова: Арктическая зона России, особенности развития атмосферных процессов, экстремальные погодно-климатические условия, объекты синоптического анализа, циркумполярный вихрь, термобарический режим тропосферы и стратосферы.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее десятилетие особое внимание мировой общественности приковано к вопросу освоения Арктических территорий и Арктического шельфа, по некоторым данным имеющего значительные запасы углеводородов. Согласно конвенции Организации Объединенных Наций (ООН) страны, имеющие выход к Северному Ледовитому океану – Россия, США, Канада, Дания и Норвегия, вправе добывать природные ресурсы в пределах исключительных экономических зон, простирающихся на 200 морских миль (370 км) от своих берегов. Однако, если страна способна доказать, что подводный континентальный шельф связан с ее территорией, то эта зона может быть существенно увеличена. В этой связи в 2007 году в Арктике была проведена научно-исследовательская экспедиция, задачей которой был сбор данных для подачи заявки в ООН, доказывающей, что подводный хребет Ломоносова, равный по площади территории Западной Европы, является продолжением сибирского континентального шельфа и, следовательно, принадлежит России. Претензии России оспаривают Дания и Канада, считающие, что хребет связан с их территориями.

Учитывая возрастающую значимость Арктической зоны, в России разработана «Стратегия развития Арктической зоны РФ и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года». Кроме того, создан экспертный совет по Арктике и Антарктике при Совете Федерации, который в 2015 году подготовил проект Федерального закона «Об Арктической зоне Российской Федерации». Новый закон должен определять параметры особого правового режима хозяйствования и иной деятельности, включая военную, в Арктической зоне. В этой связи огромное значение приобретают вопросы совершенствования специального метеорологического и гидрометеорологического обеспечения (МО и ГМО) деятельности ВС РФ в Арктическом регионе в целом.

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ В ТРОПОСФЕРЕ АРКТИКИ

В арктических районах в течение всего года наблюдаются очень сложные для анализа и прогнозирования условия погоды. Это обусловлено специфическими погодно-климатическими

условиями: особой освещенностью (наличием полярного дня и полярной ночи); низкой температурой воздуха в зимний период; сильными снегопадами (снежными зарядами) зимой и в переходные сезоны года; большой повторяемостью явлений погоды, ухудшающих или искажающих видимость (метели, туманы, белая мгла); плохим прохождением радиоволн и крайне редкой сетью метеорологических станций. Последнее обстоятельство имеет особое значение, так как определяет степень освещенности исходной метеорологической информацией данного региона. В этой связи следует отметить, что по состоянию на середину 80-х годов в арктических широтах функционировали 114 полярных станций наблюдательной сети Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромета). В настоящее время Российская арктическая сеть наблюдений включает 68 обслуживаемых морских гидрометеорологических станций, расположенных в прибрежных районах и на островах арктических морей от Архангельска до Чукотки, дрейфующую станцию «Северный полюс», дрейфующие и заякоренные буи и 4 научно-исследовательских судна Росгидромета. Стационарная сеть полярных станций является основным источником гидрометеорологической информации (ГМИ), необходимой для изучения природы северной полярной области. Кроме того, в российском секторе Арктики функционируют 25 полярных станций, участвующих в международном обмене ГМИ в системе Всемирной метеорологической организации (ВМО).

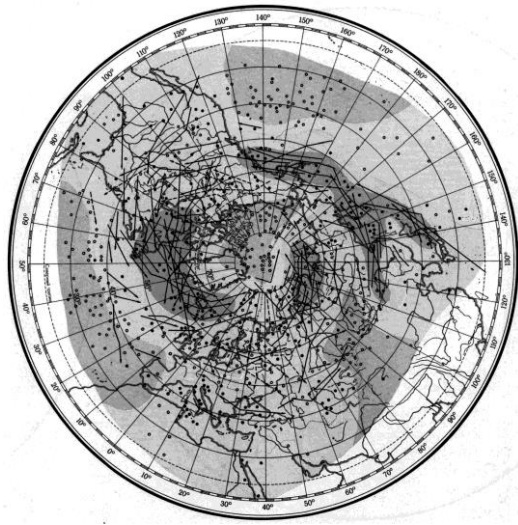
Особенности атмосферных процессов (АП) наиболее четко выражены в тропосфере Арктики. В середине зимы над континентами происходит сильное выхолаживание воздуха, следствием чего является развитие в средней тропосфере двух планетарных ложбин. В области Азиатского (Сибирского) антициклона происходит наиболее интенсивное выхолаживание воздуха, поэтому далеко к югу, у восточной части азиатского материка, распространяется барическая ложбина. Значительно менее ярко выраженная ложбина, расположенная над Европой, формируется за счет вторжения холодного воздуха из Арктики. Положение этих барических ложбин, хорошо выраженных на карте барической топографии (БТ) AT_{500} за январь, целесообразно сравнить с зимним положением изотермы $0^{\circ}C$ в Северном полушарии (СП). Сопоставление показывает хорошее согласие положения изогипс AT_{500} и изотермы $0^{\circ}C$ в приземном слое тропосферы.

Циклонические центры на январской карте AT_{500} соответствуют положению центров тропосферного холода и активной циклонической деятельности над севером Тихого океана. Весьма характерно, что в тихоокеанском секторе Арктики сосредоточены минимумы повторяемости циклонов и максимумы повторяемости антициклонов, как на уровне моря, так и на карте AT_{500} . Зимой в условиях наибольших контрастов температуры в средней тропосфере скорость движения барических образований (БО) заметно больше, чем летом. Средняя месячная скорость перемещения центров БО на уровне моря (УМ) зимой составляет 40–45 км/ч, а летом – 35–38 км/ч.

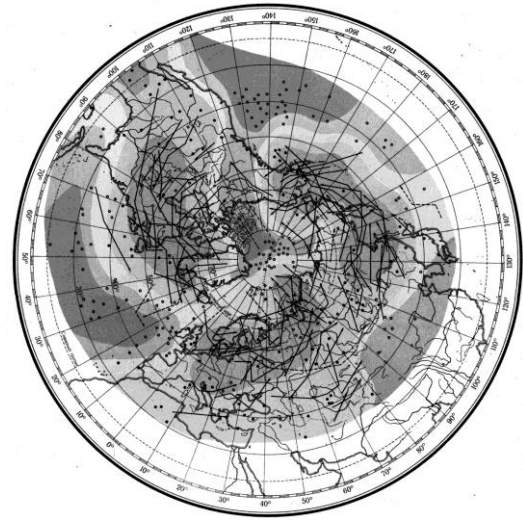
Прогревание поверхности континента летом уменьшает межширотные контрасты температуры в средней тропосфере. Планетарные барические ложбины заметно заполняются, меридиональные процессы в тропосфере Арктики значительно уменьшаются.

Все протекающие в Арктике АП условно могут быть разделены на 16 типов, объединенных в 6 групп в зависимости от типа барического поля над той или иной частью Арктики. Каждый тип отличается географическим положением циклонов и антициклонов и их траекториями.

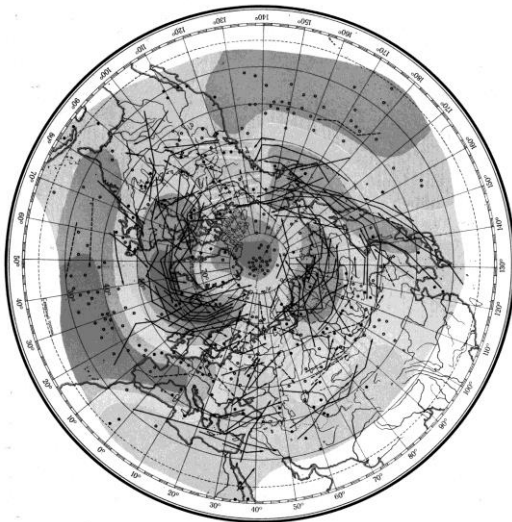
При каждом типе синоптических процессов в каждом секторе Арктики преобладают определенные направления ветров и, следовательно, наблюдаются различные условия погоды. В Арктическом бассейне во все сезоны года наблюдается интенсивная циклоническая деятельность. Циклоны возникают на арктических фронтах, а также проникают в Арктику из более низких широт, где они развиваются на полярных фронтах (рис. 1).



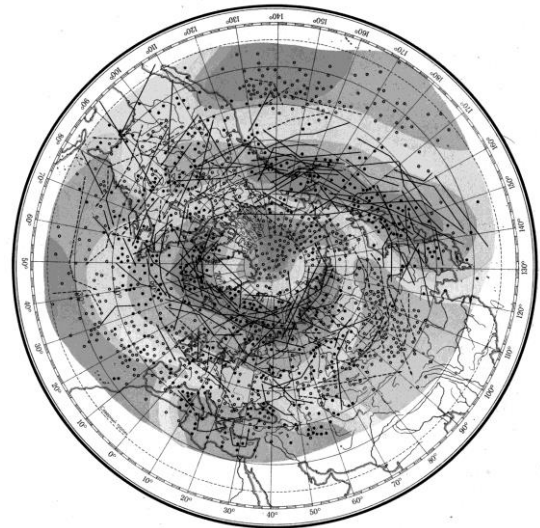
Весна



Лето



Осень



Зима

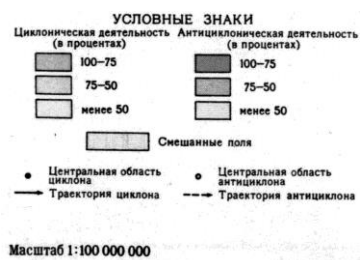


Рис. 1. Схемы общей циркуляции атмосферы в Арктической зоне по сезонам

По сравнению с другими внетропическими циклонами фронтальная структура циклонов полярных районов не обладает отличительными особенностями. В Арктике заметно преобладание большой вертикальной протяженности атмосферных фронтов (АФ), являющейся следствием большой вертикальной протяженности холодных воздушных масс (ВМ).

Из особенностей циклонических образований в центральной Арктике следует отметить, что АФ обычно лучше выражены в средней и верхней тропосфере, так как в приземном слое они маскируются инверсиями температуры, постоянно наблюдающимися над полярными льдами. Как правило, обнаруживаются также арктические АФ, имеющие значительно меньшую вертикальную протяженность. В центральной Арктике чаще встречаются АФ, окклюзированные в нижней части тропосферы, в то время как компоненты фронтов окклюзии (ФО) обладают значительными контрастами и большой вертикальной протяженностью, часто достигая тропопаузы. В относительно теплую половину года чаще наблюдаются высокие циклоны и высокие фронты, чем в холодное полугодие.

Гребни и подвижные антициклоны состоят из разнородных ВМ. При циклонической кризисе изогипс на высотах АФ в антициклонах они могут быть активны при высоком давлении на УМ. Циклоническая деятельность приводит к притоку в Арктический бассейн теплых ВМ с океанов умеренных широт (летом и с материков) и тем самым к смягчению погодноклиматических условий Арктики.

Наиболее теплая атлантико-европейская область Арктики, где в процессе циклонической деятельности происходят значительные выносы теплого атлантического воздуха в высокие широты, особенно повышающие температуру воздуха зимой. Так, в западной части Баренцева моря циклоническая деятельность настолько интенсивна, что осадков за год выпадает около 500 мм. В восточном направлении количество осадков быстро убывает. В азиатской (восточно-сибирской) и тихоокеанской областях Арктики зима значительно холоднее, чем в атлантико-европейской области, но лето в целом такое же.

Благодаря циркуляции воздуха в атмосфере происходит основной приток тепла в Арктику, а приземные ветры, кроме того, во многом определяют движение вод и льдов океана. Важной особенностью климата Арктики является его высокая континентальность, что связано с наличием ледового покрова океана. Поэтому трансформация ВМ незначительна.

На побережье Северного Ледовитого океана преобладающее северное направление ветров сменяется на западное. И океанические ВМ перемещаются с запада на восток, становясь более сухими. Поэтому континентальность климата Арктики усиливается с запада на восток.

Повторяемость циклонов летом в Тихоокеанском секторе Арктики значительно возрастает, что объясняется разрушением Азиатского антициклона и усилением циклонической деятельности над Восточной Сибирью и Дальним Востоком. Высокие контрасты температуры в этих районах поддерживаются вторжениями холодных ВМ из Арктики, которые обуславливают формирование барических ложбин над Дальним Востоком и Центральной Сибирью.

Осенью в связи с приближением полярной ночи происходит охлаждение ВМ над Арктикой и увеличение температурных контрастов. Возрастает бароклинность главных фронтальных зон, усиливается циклоническая деятельность, углубляются перманентные депрессии Северного полушария (СП). Повторяемость центров БО в Арктике в октябре приближается к январской.

В целом осенние циркуляционные схемы близки к зимним, но контрасты температуры еще невелики, и меридиональность АП не получает максимального развития. Обе главные планетарные ложбины в поле давления средней тропосферы углубляются, но их амплитуда еще значительно меньше, чем зимой.

Весна в Арктике является периодом с наиболее высоким давлением на УМ. Высотные планетарные ложбины заполняются в связи с прогреванием воздуха над континентом. Температурные контрасты в высотных фронтальных зонах (ВФЗ) убывают, и повторяемость циклонов по сравнению с зимой уменьшается. Над заснеженным паковым льдом Центральной Арктики создаются условия для развития мощных антициклонов.

СЕЗОННО-ШИРОТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ АРКТИКИ

Погодно-климатические особенности климата Арктики определяются её близостью к полюсу. Условия освещенности (полярные день и ночь) являются причиной крайне неравномерного поступления солнечной радиации в течение всего года. В условиях полярной ночи солнечный свет и тепло практически не поступают в регион. На протяжении около 150 суток происходит непрерывное выхолаживание подстилающей поверхности (ПП). Полярным днем, несмотря на небольшую высоту Солнца над горизонтом, от него поступает достаточное количество тепла, но большая часть тепла отражается и (или) поглощается облачностью, льдом и снегом, отражательная способность которых в 5–10 раз выше, чем у водной поверхности. В результате в Арктике большую часть года расход (потери) тепла превышает его приход. В целом за год только материки и острова получают тепла больше, чем теряют. В океане – наоборот. С этим связаны круглогодичное сохранение льдов, суровость климата, а также большие колебания погодных условий от зимы к лету и от лета к зиме.

Как отмечалось выше, зимой большая часть Арктики охвачена интенсивной циклонической деятельностью. С циклонами, приходящими с Атлантического океана, связаны наиболее высокие зимние температуры воздуха, максимальная облачность и количество осадков, резкие смены характера погоды, частые сильные ветры и метели. Почти над всем побережьем Арктики преобладают южные и юго-западные направления ветров – зимний муссон.

Средние температуры самого холодного зимнего месяца Арктики – января – колеблются от $-32\div-36^{\circ}\text{C}$ до $-45\div-50^{\circ}\text{C}$ в Сибирском районе Арктики и в прилегающей к нему части Арктического бассейна над льдами Северного Ледовитого океана. Минимальные температуры в этих районах иногда снижаются до $-55\div-60^{\circ}\text{C}$; только в Арктическом бассейне они не опускаются менее $-45\div-50^{\circ}\text{C}$. При выходах глубоких циклонов температура иногда повышается до $-2\div-10^{\circ}\text{C}$. Абсолютная влажность воздуха мала (парциальное давление водяного пара составляет 0,5–3 гПа), относительная влажность высокая (80–90%).

Годовые изменения температуры тропосферы в Арктике достаточно хорошо выражены. На высоте 5 км амплитуды средних месячных температур колеблются от 17 до 25 $^{\circ}\text{C}$. Максимальные температуры наблюдаются летом, как правило, в июле. Они определяются термическим влиянием континентов, окружающих арктический бассейн. Минимум температуры может наблюдаться в разные периоды полярной ночи. В нижней части тропосферы Арктики почти всегда наблюдаются инверсии; зимой их повторяемость практически равна 100%, летом она уменьшается на 5–10%.

В холодную часть года наиболее часто встречаются инверсии, начинающиеся от поверхности льда (повторяемость в среднем 80%). Они развиваются в ясную, преимущественно антициклоническую погоду. Приземные инверсии имеют наибольшую повторяемость в Арктике в апреле, когда преобладают антициклоны, и в середине зимы при наиболее значительном отрицательном радиационном балансе ПП.

В относительно теплую часть года, когда в среднем имеет место положительный радиационный баланс, повторяемость приземных (приледных) инверсий резко снижается, достигая в отдельные месяцы 20–30% всех случаев инверсий. Одновременно возрастает повторяемость инверсий, сопровождаемых холодным слоем турбулентного перемешивания у поверхности льда.

Наибольшую повторяемость в циклонах имеют облака St и Sc, а также Ac, которые являются результатом распада фронтальной облачной системы As-Ns. Осадки в виде дождя, мороси и снега могут выпадать в любом секторе циклона, особенно в его центральной части. На побережье Баренцева моря ливневые осадки часто приобретают характер зарядов – последовательно проходящих полос интенсивных ливневых осадков.

Антициклоническая циркуляция развивается зимой главным образом в Сибирском районе Арктики. В результате сильного выхолаживания поверхности в области антициклона отме-

чаются очень низкие температуры воздуха, инверсии температуры (радиационные и оседания), радиационные туманы, слоистообразная облачность, незначительное количество осадков, слабые или умеренные ветры.

Зимой над незамерзающими заливами и трещинами во льдах часто отмечаются туманы испарения (парения). Здесь также часто наблюдается прохождение волн тумана, чередующихся с улучшением видимости. Зимой в антициклонах при низких температурах могут наблюдаться морозные (ледяные) туманы.

В зимний период иногда возникает белая мгла – оптическое явление, связанное с избытком рассеянной радиации и отсутствием контрастности в освещении предметов, из-за чего они становятся неразличимыми, как в сумерки. Белая мгла возникает иногда при полной облачности типа перисто-слоистой или высоко-слоистой, очень однородной и ровной, сильно рассеивающей солнечный свет. Явление это особенно опасно для самолетов и вертолетов, а также для водного транспорта при движении во льдах, среди трещин и других неровностей рельефа.

Летом характер атмосферной циркуляции в большей части Арктики противоположен зимнему. В этот период преобладает облачная погода, в основном слоистообразная облачность и туманы. В антициклонах туманы имеют большую повторяемость, чем в циклонах. Наибольшая повторяемость туманов отмечается в летние месяцы, когда их образование связано с адвекцией относительно теплого и влажного воздуха на холодную поверхность арктических морей. Радиационные туманы для лета не характерны (полярный день).

В прибрежных районах под влиянием орографии часто наблюдаются местные ветры, достигающие большой силы – до 40 м/с и более. На формирование этого ветра оказывают влияние местные горы высотой около 500 м, причем часто «южак» имеет характер фёна (зимой) или боры (летом). Фёновые сильные ветры южных направлений наблюдаются в основном в летний период. Фёновое повышение температуры может составлять до 10–15°C.

Относительная влажность воздуха над Арктическим бассейном составляет 95–98%. Летом в Арктике часты морозящие дожди, нередко с мокрым снегом. Слабые осадки могут наблюдаться даже в антициклонах. Ветры преимущественно умеренные.

На материке и островах, где степень континентальности выше, чем над океаном, перепады температур значительнее. Средняя температура воздуха в самом теплом летнем месяце – июле – в Арктическом бассейне составляет 0÷–1°C, вблизи побережья морей – повышается до 2÷–3°C, в материковых районах – до 6÷10°C. В Арктическом бассейне температура понижается до –5÷–7°. В течение всего лета возможны заморозки.

В области распространения дрейфующих льдов в течение всего года температура поверхностного слоя вод (толщиной 100–200 м) близка к –2°C. В районах, очищающихся ото льда летом, вода нагревается на несколько градусов выше 0°C, однако большее количество тепла приносят в Арктику теплые течения.

По результатам разнородных наблюдений в Арктике, в том числе с использованием космических средств, в последнее десятилетие выявилась тенденция некоторого повышения температуры воздуха. В результате льды Арктики стали менее мощными, общая ледовитость морей уменьшилась, сократилась площадь ледников. Потепление климата в высоких и умеренных широтах связано с усилением общей циркуляции атмосферы (ОЦА), что также интенсифицировало теплое Северо-Атлантическое течение и тем самым повысило температуру и соленость воды в арктических морях.

ТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ТРОПОСФЕРЫ И СТРАТОСФЕРЫ В АРКТИКЕ

Как известно, температура воздуха оказывает большое влияние на такие летно-технические характеристики летательного аппарата (ЛТХ ЛА), как крейсерская скорость, практический потолок, тяга двигателей, расход топлива и др. Именно отклонение температу-

ры от стандартного значения в сторону повышения приводит к существенному усложнению условий полета. В связи с этим представляется важным рассмотреть природу зимних стратосферных потеплений в арктических районах. Как показали исследования этого явления, резкие потепления атмосферы в Субарктической зоне встречаются практически ежегодно. К физическим факторам, оказывающим влияние на процессы в зимней стратосфере, относятся факторы космического происхождения: 1) фотохимические реакции – поступление энергии в атмосферу за счет рекомбинации атомов кислорода; 2) озонный фактор; 3) корпускулярный фактор (магнитная активность) и динамические факторы, к которым относятся волновой фактор (планетарные, приливные и гравитационные волны), а также атмосферная турбулентность, создаваемая волнами последнего вида.

Ежегодно в холодное полугодие в Субарктике наблюдается несколько потеплений стратосферы, однако крупные потепления отмечаются в среднем раз в два года, но без точного их чередования.

Общая циркуляция атмосферы (ОЦА) является одним из механизмов, определяющих всё многообразие региональных погодно-климатических условий. Основным звеном атмосферной циркуляции СП является циркумполярный вихрь (ЦПВ), характеристики которого существенно влияют на формирование и распределение аномальных погодных условий. Поэтому надежное метеорологическое обеспечение плановой учебно-боевой подготовки Воздушно-космических сил на огромных пространствах Арктической зоны страны невозможно без всестороннего изучения внутренней структуры этой компоненты ОЦА.

В свободной тропосфере ЦПВ представлен планетарным циклоном с центром низкого давления около СП, который обуславливает общее движение воздуха над Северным полушарием с запада на восток. На этот общий западный перенос налагаются возмущения в виде длинных волн и вихревых образований – циклонов и антициклонов. На характеристики тропосферного ЦПВ сильно воздействует ПП, которая определяет его интенсивность и положение. Летом, когда температурный контраст океан – континент не очень велик, ЦПВ относительно симметричный, с одним центром, расположенным недалеко от полюса. Зимой при значительном возрастании контрастов океан – континент ЦПВ, как правило, имеет два центра низкого давления, а западно-восточный перенос оказывается сильно возмущенным в связи с развитием мощных барических гребней над океанами и глубоких ложбин – над континентами. Сосредоточенный внутри тропосферной воронки арктический воздух удерживается находящимися на периферии струйными течениями (СТ). Однако из-за возмущений, налагаемых циклонической деятельностью, иногда он прорывается в умеренные и субтропические широты.

Меридиональность циркуляции в летней стратосфере практически нулевая, изогипсы изобарических поверхностей параллельны кругам широты, зональный перенос строго восточный. Это означает, что в летней стратосфере господствуют условия лучистого равновесия.

С синоптической точки зрения образование летнего циркумполярного антициклона выражается в постепенном заполнении зимнего стратосферного циклона и одновременном движении к полюсу субтропических областей высокого давления – Атлантического и, чаще, Северо-Тихоокеанского стратосферных антициклонов, которые, выйдя на СП, разрастаются до планетарного масштаба. ЦПВ изолирует полярную стратосферу и препятствует поступлению воздуха из более низких широт. Однако это явление не столь регулярное и устойчивое и в некоторые годы может не наблюдаться. Средняя высота, на которой располагаются ЦПВ, равна 9 км. Давление воздуха на этой высоте примерно в пять раз меньше, чем у поверхности Земли. Скорость струйных течений (СТ) в области ЦПВ в основном составляет 30–35 м/с.

Сезонные изменения температуры в нижней стратосфере значительно превышают предельные колебания среднемесячных температур в тропосфере. Экстремально низкие температуры (-80°C и ниже) отмечаются ежегодно. Летние максимальные температуры достигают -30°C . В нижней стратосфере Арктики летом преобладает рост температуры с высотой. В районе полюса образуется область тепла. Это приводит к подъему изобарических поверхно-

стей и формированию стратосферного антициклона. В начале сентября уже встречаются случаи падения температуры с высотой; в конце месяца такое распределение становится преобладающим. Преобладающее падение температуры с высотой может продолжаться с октября по февраль или март, когда оно сменяется летним распределением, т. е. ростом температуры с высотой.

РЕЖИМ ВЕТРА И СТРУЙНЫЕ ТЕЧЕНИЯ В ТРОПОСФЕРЕ И СТРАТОСФЕРЕ АРКТИКИ

Тропосферу Арктики в течение года занимает центральная область климатологической депрессии, поэтому естественно ожидать, что в центральной Арктике отсутствует какой-либо определенный преобладающий поток в пределах тропосферы. Западные ветры также не выделяются по сравнению с другими направлениями. Это подтверждается распределением зональной составляющей геострофического ветра на уровне изобарической поверхности АТ₅₀₀ гПа, согласно которому максимальный западный перенос наблюдается у восточного побережья азиатского материка, а в центральной Арктике отмечается минимальная скорость западного переноса. Средняя скорость ветра на УМ в центральных районах мала (порядка 5 м/с). В слое приледной инверсии скорость ветра быстро возрастает с высотой. Усиление ветра в нижних 100–200 м особенно значительно зимой, когда приземные инверсии наиболее интенсивны. Выше скорости ветра продолжают увеличиваться, достигая максимума под тропопаузой, где располагаются оси тропосферных СТ.

Тропосферные СТ совпадают с наибольшими контрастами температуры, подъемами и опусканиями тропопаузы и часто совпадают с гребнями тепла. Пространственные размеры СТ составляют тысячи километров в длину, сотни километров в ширину и несколько километров по вертикали. Вертикальный сдвиг ветра составляет 5–10 м/с на 1 км, боковой сдвиг – 5 м/с на 100 км. Нижний предел скорости ветра на оси установлен в 30 м/с.

Стратосферные СТ связаны с зонами наибольших градиентов циркумполярных термобарических систем в стратосфере. Тропосферные СТ генетически связаны с ВФЗ и могут быть разделены на внетропические, субтропические, экваториальные. В полярных районах, естественно, наблюдаются внетропические СТ, формирующиеся между высокими циклонами или антициклонами. Для них характерна большая подвижность, меньшая протяженность и меньшие скорости ветра по сравнению с субтропическими СТ. Кроме того, они имеют малую протяженность. Она, вероятно, связана с наибольшей кривизной изогипс в средней тропосфере. На картах повторяемости СТ над центральной Арктикой расположен минимум; при этом изолинии повторяемости в пределах Арктики и Субарктики хорошо согласуются с изолиниями сезонных климатологических карт БТ для средней тропосферы.

Зимой развитие стратосферной области низкого давления над центральной Арктикой и стратосферных областей высокого давления над умеренными и субтропическими широтами создает большие контрасты температуры между полярной и тропической зонами в стратосфере. Разность высот изобарических поверхностей на январской карте 10 гПа достигает 200 дам, что соответствует средней скорости ветра 150 км/ч. Наибольшие горизонтальные градиенты температуры создаются между 60 и 80°с.ш. В декабре, когда температура слоя протяженностью 20–25 км в полярной области опускается до –70÷–80°С, в умеренных широтах наблюдаются температуры близкие к –50÷–55°С. В результате формируется преимущественно западное стратосферное СТ со скоростями ветра, превышающими 100 м/с на высотах 20–25 км и 150 м/с на высоте 40 км. Стратосферное СТ образуется на границе полярной ночи, где наибольший температурный градиент возникает как результат различий радиационного охлаждения внутри и снаружи этой зоны в течение зимы. Стратосферное СТ опоясывает Арктику, располагаясь широкой полосой в той области, где возникают наибольшие контрасты температур.

Генетически связанное с периферией зимнего циркумполярного циклона СТ меняет свое положение и интенсивность в связи с эволюцией циклона. Оно смещается в умеренные широты в вершинах планетарных стратосферных ложбин. В стратосфере центральной Арктики наблюдаются более слабые ветры, чем в периферийных районах, где имеют место наибольшие температурные контрасты между стратосферой умеренных широт, освещаемой Солнцем, и арктической стратосферой, находящейся в земной тени. Стратосферные СТ проникают в центральную Арктику на перифериях зимних стратосферных гребней и антициклонов или на периферии стратосферного циклона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В Арктике все виды деятельности в значительной степени связаны с интересами военной безопасности страны. Этот регион имеет исключительно важное военно-стратегическое значение для решения задач обороны. Государственная граница России на протяжении почти 20 000 км проходит по Северному Ледовитому океану. Это наиболее открытая в плане прямого контроля полоса государственной границы и передовая линия системы обороны территории государства. Ее защита и охрана сопряжены с особыми трудностями. Островная часть арктической зоны России имеет особое для страны значение из-за расположения на островах стратегически важных оборонных объектов ВС РФ, пограничных застав, полярных гидрометеорологических станций и постов, количество и состояние которых, к сожалению, оставляет желать лучшего. Учитывая чрезвычайно сложные погодно-климатические условия Арктики, все эти мероприятия требуют тщательного метеорологического обеспечения.

В настоящее время основными проблемными вопросами специального метеорологического обеспечения в Арктическом регионе России являются:

- наличие в течение всего года чрезвычайно сложных и динамично развивающихся погодно-климатических условий;
- наличие целого комплекса неблагоприятных и опасных для действий войск (сил) явлений погоды;
- недостаточная освещенность потребителей исходной метеорологической информацией рассматриваемой территории;
- отсутствие адаптационных методик прогнозирования метеорологических величин и явлений погоды, особенно опасных;
- отсутствие современных военно-климатических и авиационно-климатических описаний данного региона.

Таким образом, совершенствование технологий специального метеорологического обеспечения войск в Арктическом регионе России позволит повысить эффективность военно-технических систем, в особенности авиации, в соответствии с их целевым предназначением.

Список используемых источников

1. Атмосфера: справочник. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 509 с.
2. Кац А.Л. Циркуляция в стратосфере и мезосфере. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 204 с.
3. Погосян Х.П. Общая циркуляция атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 394 с.

А.Г. Басыров,
доктор техн. наук, профессор;
И.В. Захаров,
кандидат техн. наук, доцент

ОЦЕНИВАНИЕ ЖИВУЧЕСТИ БОРТОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Рассмотрены вопросы оценивания живучести бортовых вычислительных систем (БВС) космических аппаратов (КА). Проведен анализ свойства живучести вычислительных систем и существующих подходов к ее оцениванию. Сформулированы недостатки существующего научно-методического аппарата анализа живучести БВС КА. Предложен подход к оцениванию живучести БВС КА на основе учета стойкости элементов, структурно-функциональной и параметрической деградации системы в условиях неблагоприятных воздействий.

Ключевые слова: бортовая вычислительная система, космический аппарат, живучесть.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время существует выраженная тенденция к возрастанию объема задач, решаемых бортовым комплексом управления (БКУ) КА, что объективно связано с повышением требований к автономности КА, а также к оперативности и качеству доставляемой информации. Вместе с тем особую актуальность приобретают вопросы, связанные с обеспечением устойчивого функционирования бортовых вычислительных средств в условиях влияния факторов космического пространства и возможных деструктивных воздействий. Несмотря на достижения в области архитектуры и электронной компонентной базы (ЭКБ), решение данной проблемы нельзя считать удовлетворительным: практика эксплуатации как отечественных, так и зарубежных космических систем свидетельствует о систематических отказах прежде всего бортовых вычислительных систем (БВС) и вследствие этого срывах выполнения целевых задач. Следовательно, для таких сложных систем, как БВС КА, важным свойством является свойство живучести, которое необходимо оценивать и обеспечивать как на стадии проектирования, так и на стадии эксплуатации [1].

Одним из наиболее перспективных путей решения указанной проблемы выступает построение «живучих» БВС, характеризующихся отсутствием «слабых мест», вывод которых из строя препятствует решению целевой задачи космической системой, а также отсутствием типовых деструктивных физических или информационно-технических воздействий, наносящих неприемлемый ущерб системе. В основе таких БВС лежит принцип функциональной взаимозаменяемости компонентов, который находит наиболее полное воплощение в распределенных системах, модули которых осуществляют адаптивное управление обработкой информации на всех этапах ее жизненного цикла, обладая для этого необходимой информационной, алгоритмической и аппаратной совместимостью.

Следует отметить, что живучесть БВС КА не может быть обеспечена преимущественно одним из способов – распределенностью системы, обеспечением стойкости аппаратуры и ее защиты либо различными видами избыточности вследствие того, что деструктивные воздействия, влияние факторов космического пространства и отказы элементов, обусловленные ненадежностью техники, носят различный характер. Кроме того, группировка КА, с одной стороны, должна достаточно эффективно функционировать в условиях деструктивных воздействий, а с другой стороны, быть достаточно экономичной в мирное время, обладая возможностью быстрого наращивания.

Исходя из вышесказанного, целесообразно указать следующие возможности повышения живучести БВС группировок КА:

1. Существенный потенциал повышения живучести находится на уровне построения распределенных БВС, реализующих функциональную взаимозаменяемость компонентов и механизмы адаптации к условиям функционирования на различных уровнях иерархии системы.

2. Живучесть БВС КА не обеспечивается одним доминирующим способом и базируется на комплексировании методов рационального выбора структуры и режимов работы, введения различных видов избыточности, обеспечения стойкости аппаратуры и ее защиты на всех уровнях архитектуры.

3. Управление информационно-вычислительными ресурсами системы должно осуществляться с учетом живучести не только аппаратно-программных компонентов, но и целевой информации.

4. Управление режимами функционирования БВС и других бортовых систем КА должно строиться на основе прогнозирования и регистрации влияния внешних факторов.

Однако реализация указанных путей наталкивается на ряд нерешенных вопросов теоретического характера, заключающихся в основном в следующем:

1. Модели функционирования вычислительных систем, как правило, отражают лишь один из аспектов: надежность в штатных условиях эксплуатации; стойкость и защиту ЭКБ от дестабилизирующих и повреждающих воздействий; деградацию характеристик перестраиваемых систем.

2. Существующие методы и модели ориентированы на аппаратную составляющую, в то время как методики учета живучести информации с точки зрения целевого назначения системы практически отсутствуют.

3. Прикладные методики анализа и учета влияния дестабилизирующих факторов и повреждающих воздействий различного происхождения при анализе и синтезе БВС КА, как правило, ограничиваются отнесением ЭКБ к тому или иному классу по критерию пригодности.

4. Возможности известных способов повышения живучести ограничены массогабаритными и энергетическими требованиями, а также возможностями элементной базы.

Таким образом, необходимо совершенствование научно-методического аппарата анализа и синтеза архитектур БВС для обеспечения живучести группировок КА, функционирующих в условиях воздействия дестабилизирующих факторов космического пространства и деструктивных воздействий с учетом требований к оперативности решения целевых задач, длительности функционирования КА и ограничениях на аппаратно-программную реализацию.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ОЦЕНИВАНИЯ ЖИВУЧЕСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Общетехнические определения живучести приведены в ряде работ и документов. Приложение к ГОСТ 27.002-89 гласит, что живучесть – это «свойство ... сохранять ограниченную работоспособность при воздействиях, не предусмотренных условиями эксплуатации, или повреждениях определенного вида и отказах компонентов». Живучесть, таким образом, как внутреннее свойство системы, которым она обладает независимо от возникающих в данный момент времени условий функционирования, следует рассматривать в двух основных аспектах. Во-первых, живучесть проявляется как при штатных условиях функционирования, когда возникают отказы элементов в силу ненадежности, так и при неблагоприятных воздействиях (НВ), не предусмотренных условиями эксплуатации и трудно прогнозируемых с точки зрения частоты возникновения, так и их последствий. Во-вторых, живучесть проявляется в том, что система в работоспособном состоянии сохраняет не все функции, которые она должна выполнять в исправном состоянии, а наиболее критичные функции, причем с возможным понижением качества их выполнения. Иначе говоря, живучая система обладает свойством постепенной деградации по мере увеличения тяжести последствий НВ с учетом возникающих ограничений [1, 2].

Соответственно, требуется учет любых последствий НВ, влияющих на выполнение задания: потери работоспособности элементов и связей между ними, ухудшение целевых характеристик элементов (например, производительности, точности, пропускной способности), перераспределения нагрузок, искажения алгоритмов функционирования, уменьшения структурной избыточности, ухудшения безотказности элементов и т. д. Поэтому основные функции системы и характеристики свойства живучести должны определяться применительно ко множеству НВ, различных по характеру, уровню и динамике возникновения. В результате модель сложной системы для оценивания ее живучести представляет собой совокупность весьма большого числа частных моделей, использующих для описания процессов как детерминированные, так и вероятностные методы.

Смысл, вкладываемый в термин «живучесть», и соответственно смысл показателей живучести можно проиллюстрировать следующим образом. Живучесть БВС как комплексное свойство отражает прежде всего надежность, стойкость и отказоустойчивость, понимаемую в данном контексте как способность к постепенной, а не катастрофической деградации при отказах элементов. Отсюда вырожденными случаями живучести выступают стойкость при абсолютной надежности элементов и отсутствии отказоустойчивости, надежность при бинарной функции работоспособности и отсутствии НВ и устойчивость к отказам безотносительно их природы.

Из вышесказанного следует, что проявление свойств живучести зависит от условий функционирования системы. С точки зрения живучести в различных условиях предпочтительными могут оказаться разные системы. Достаточно простым и в то же время показательным примером является функционирование ЭКБ в условиях космического пространства [3]. Так, без количественной оценки невозможно осуществить рациональный выбор с позиций живучести между системой из радиационно-стойких элементов и резервированной системой. Далее, полученные из экспериментальных данных характеристики потоков отказов ЭКБ на борту КА нельзя однозначно отнести либо к показателям надежности, так как с течением времени растет накопленная доза ионизирующего излучения космического пространства, либо к показателям стойкости, поскольку отказы могут быть обусловлены, например, старением элементов. Следовательно, в силу того, что характеристики потоков НВ априори неизвестны, выбор показателей живучести должен быть ориентирован преимущественно на вероятностные, отражающие разную степень возможности соответствующих НВ [4].

Для исследования живучести могут использоваться логико-вероятностные, графовые, теоретико-игровые, матричные модели, а также разные подходы в зависимости от содержания и цели функционирования системы. В различных работах, например в [1, 2, 5–7, 9], предложено множество разнообразных показателей живучести.

При анализе функциональной живучести [5] система характеризуется множеством задач и множеством компонентов, а особенности межкомпонентных связей учитываются опосредованно. Текущий уровень работоспособности определяет количество, качество и содержание функций, которые обобщаются понятием «цель функционирования системы». При этом могут допускаться различные варианты решения относительно работоспособности системы, например: должны выполняться все функции, хотя бы с ухудшением качества; должно выполняться некоторое подмножество критических функций; должно обеспечиваться выполнение хотя бы одной функции. Показатель живучести системы в заданных условиях можно вычислять по формуле $\varepsilon = \frac{\sum_{i \in \Theta} \theta_i}{\sum_{j \in \Omega} \theta_j}$, где Ω – множество всех функций системы; Θ – множество функций, выполняемых в заданных условиях; θ_i – критичность i -й функции. По существу, использование данного показателя можно рассматривать как разновидность известного подхода к функциональной живучести, связанного с вычислением суммарного штрафа, или ущерба, при невыполнении задач определенного веса. Практическая нецелесообразность реализации подобного подхода применительно к БВС заключается в трудности адекватно сопоставить штрафы с целью функционирования сложной системы.

При рассмотрении структурной живучести [2, 5] учитываются межкомпонентные связи в системе. Структурная живучесть рассматривается как возможности реконфигурации при НВ, которые позволят создать структуру, обеспечивающую выполнение определенных функций для достижения цели функционирования системы. Анализ структурной живучести требует определения структуры для выполнения цели функционирования системы, а также требований к компонентам системы и их взаимосвязи. Поэтому структурную живучесть можно оценивать при некоторых допущениях, которые позволяют упростить задачу и свести ее к задаче анализа связности графов, расчета вероятностей формирования работоспособной структуры в случаях НВ и т. п.

Одним из класса минимаксных показателей живучести является запас живучести (d -живучесть) [2], представляющий собой критическое число дефектов, уменьшенное на единицу, где дефект – некоторая единица измерения ущерба, нанесенного системе неблагоприятным воздействием (например, один элемент, удаленный из системы в результате НВ, определенная единичная потеря качества и т. п.). Под критическим понимают минимальное число дефектов, появление которых приводит к потере работоспособности. С другой стороны, запас живучести можно определить как максимальное количество дефектов, которое система выдерживает без утраты работоспособности (m -живучесть). К детерминированным показателям также относится минимальное количество потерянных в результате НВ элементов, приводящее к превышению допустимого суммарного ущерба в предположении, что при однократном НВ на некоторый элемент возникает ущерб известной величины.

К числу аддитивных относятся широко распространенные вероятностные показатели, основанные на формуле полной вероятности [2]. Пусть система с базовой структурой S_0 выполняет некоторое задание, причем в результате НВ система может получить новую структуру S_i . Если условной функцией живучести назвать отношение вероятностей выполнения задания базовой и новой структурами, то функция выживаемости системы при n -кратном воздействии (событие ξ_n) есть функция живучести, усредненная по всем возможным структурам, а безусловная функция живучести есть усредненная по всем возможным событиям ξ_n функция выживаемости. С целью обобщения вероятность выполнения задания $P(S_i)$ можно заменить на некоторый показатель качества. При отсутствии достаточно достоверной информации о вероятностях событий ξ_n и вероятностях выполнения задания $P(S_i)$ их следует заменять весовыми коэффициентами, назначаемыми экспертно. Если же и это сделать затруднительно, то необходимо переходить к минимаксным показателям.

Для расчета представленных показателей, относящихся к классу аддитивных, можно воспользоваться логико-вероятностными моделями [6], которые строятся на том, что функции работоспособности элементов системы можно полностью представить с помощью функций алгебры логики, а множества состояний компонентов системы можно делить на множества работоспособных и неработоспособных состояний. Логико-вероятностные модели являются, с одной стороны, простейшим видом моделей живучести, а с другой стороны, сложность их построения существенно возрастает с увеличением сложности системы, что крайне затрудняет их применение для таких объектов, как БВС КА. Например, использование методов комбинаторики целесообразно лишь для однородных систем. Другим существенным допущением логико-вероятностных моделей является независимость событий в системе, происходящих в различные моменты времени.

В определенной степени учесть фактор неопределенности возможных условий функционирования (характера НВ, их интенсивности и т. д.) можно с помощью теоретико-игрового подхода [5], в рамках которого живучесть систем можно рассматривать с точки зрения обмена некоторого количества затраченных и некоторого количества потребляемых ресурсов. Несмотря на значительные успехи теории игр, применить непосредственно ее результаты к решению задачи живучести, как правило, затруднительно из-за большого разнообразия и сложности сценариев. Кроме того, значительную часть данных в игровых моделях получают, как правило, с помощью экспертных оценок, что не всегда представляется однозначным.

Другим известным способом учета неопределенности при оценке живучести выступает энтропийный подход [5], заключающийся в определении соотношения количества работоспособных состояний системы к общему количеству возможных состояний. Таким образом, система имеет тем больший уровень живучести, чем больше мощность множества допустимых состояний. Принцип максимума неопределенности соответствует закону Эшби [5], согласно которому разнообразие допустимых состояний уменьшает разнообразие недопустимых. Применение в качестве соответствующей меры энтропии состояния системы позволяет учесть неопределенность в структуре и поведении системы и при этом выражается через вероятностные характеристики системы и не зависит от выбора начала отсчета в пространстве состояний системы. Распространен приведенный показатель живучести, определяемый как отношение энтропии состояния системы к ее максимально возможной энтропии в условиях наложенных ограничений. Однако существенным недостатком подобного подхода является то, что он не снимает вопрос сложности расчета вероятностей состояний системы, а возможные в этом смысле допущения ведут к неприемлемому упрощению модели.

Таким образом, необходимо отметить, что существующий научно-методический аппарат не позволяет одновременно учитывать разнообразие элементов по стойкости к НВ, их месту в структуре системы и динамике характеристик функционирования. Как правило, модели, учитывающие стойкость элементов, являются статическими, а динамические подменяют учет характеристик НВ и стойкости элементов кратностью отказов. Как следствие, модели деградации отражают лишь ее структурно-функциональный аспект, в то время как для анализа живучести системы более высокого уровня необходимы модели параметрической деградации ее элементов. Из отмеченного выше можно сделать вывод, что для оценивания живучести сложных технических систем, подобных БВС современных КА, функционирующих в условиях воздействия множества факторов различного происхождения, требуется обеспечить следующие особенности модели живучести:

1. Структура системы не является одноуровневой, а представима в виде многоступенчатой иерархии вложенных подсистем. При этом зависимость качества функционирования системы некоторого уровня от качества функционирования ее подсистем в общем случае не сводится к двоичной функции работоспособности. Поэтому множества состояний элементов, как и самой системы, отображаются на множество целевых показателей качества функционирования.

2. В общем случае система на любом уровне имеет сложную структуру связей между функционально разнородными элементами, которая не сводится к ассоциативному типу [7].

3. В силу стохастичности поражения элементов и неопределенности характеристик потоков НВ следует строить стохастические модели отказов и деградации элементов системы при НВ, учитывающие их разнородность в смысле стойкости и защищенности.

4. Поскольку последствия НВ вызывают изменение состояния (структуры и характеристик системы в целом, характеристик и режимов работы элементов) и алгоритма функционирования системы, модель живучести должна отражать процесс функционирования БВС на временном интервале применения по назначению.

В качестве обстоятельства, упрощающего проблему, следует отметить невозможность восстановления характера отказов элементов БВС.

В ряде работ по исследованию живучести систем отмечается, что математическое моделирование чаще всего является единственным доступным средством изучения данного свойства, так как натурные эксперименты практически не осуществимы, либо экономически нецелесообразны [7]. В связи с этим в настоящее время стойкость элементов систем оценивается, как правило, посредством натурных экспериментов или испытаний, а оценка показателей живучести систем в целом производится аналитическими методами, в основе которых лежат модели живучести этих систем. В силу высокой сложности данной проблемы динамические модели живучести являются, как правило, имитационными моделями, которые включают модели НВ, модели стойкости и защищенности элементов, модель системы, мо-

дель системы обеспечения живучести и развития последствий НВ, модели надежности, модели процессов выполнения задач в системе [2]. Значительные шаги в этом направлении проделаны в исследованиях, отраженных в [8], где построены модели живучести систем КА и их элементов при многократных разнопараметрических НВ при помощи искусственной нейронной сети, обучаемой по результатам статистического моделирования аналогичных объектов. В качестве показателя живучести системы принимается векторный показатель, включающий вероятность сохранения системой технико-эксплуатационных характеристик на уровне не ниже минимально допустимого, и математические ожидания этих характеристик после реализации комплекса НВ, а также обоснованы варианты свертки указанного векторного показателя в скалярный. Однако предложенный метод не лишен существенных недостатков, главным из которых является статичность модели. Событие НВ, хотя бы и многократное, предполагается в некоторый момент либо фиксированный интервал времени, и оценка живучести проводится на базе анализа ожидаемых состояний системы без рассмотрения НВ и ее поведения в дальнейшем. Оценивание живучести таким способом сводится к критерию пригодности по отношению к заданному типу и характеристикам НВ, что не в полной мере отражает само свойство живучести. Можно также указать, что при данном подходе не находит отражение свойство надежности системы, которую следует рассматривать как вырожденные случаи живучести, например при отсутствии НВ либо при воздействии факторов внешней среды (космического пространства) в установленных пределах. Далее, такие пути повышения живучести БВС КА, как улучшение стойкости, защищенности, увеличение избыточности наталкиваются на жесткие массогабаритные, энергетические и стоимостные ограничения. Резерв повышения живучести заключается в интеллектуализации управления ресурсами, но для анализа подобных систем статические модели не вполне пригодны. Таким образом, возникает необходимость агрегирования в моделях живучести свойств стойкости и защищенности, надежности и отказоустойчивости, структурно-функциональной и параметрической деградации.

ИНТЕГРИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНИВАНИЮ ЖИВУЧЕСТИ БОРТОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

При постановке задачи анализа живучести БВС КА будем считать, что даны:

- 1) $Y = \{Y_i\}$ – множество компонентов структуры, $Y_i = \langle F_i, C_i, D_i, M_i, E_i \rangle$, где F_i – функциональные характеристики; C_i – стоимость; D_i – характеристики надежности и стойкости; M_i – масса и габариты; E_i – энергопотребление;
- 2) $Z = \{Z_i\}$ – множество задач, $Z_i = \langle R_i, Y_i, T_i \rangle$, где R_i – аппаратно-программные ресурсы для решения задачи; Y_i – объем задачи; T_i – директивное время ее выполнения;
- 3) $X = \{X_i\}$ – множество характеристик бортовых систем и конструкции КА;
- 4) $W = \{w_i\}$, $w_i = (\varphi_i(t), \pi_i(t))$ – множество НВ, где t – время работы БВС; $\varphi_i(t)$ – интенсивности потока НВ w_i ; π_i – плотность распределения определяющей характеристики НВ w_i ;
- 5) $B = \{\beta_{ik}(A_i)\}$, где $\beta_{ik}(A_i)$ – вероятность поражения k -го элемента при НВ w_i ; A_i – определяющая характеристика НВ w_i ;
- 6) U – алгоритм поведения системы.

Заданы требования к БВС по массогабаритным характеристикам $M \leq M_d$, по энергопотреблению $E \leq E_d$, по стоимости $C \leq C_d$, по вероятности выполнения целевых задач КА $P\{L \geq L_d\} \geq P_d$, где L – показатель качества функционирования КА. Например, для КА мониторинга земной поверхности можно определить $L = \langle I, Q, J, R \rangle$, где I – информативность; Q – производительность КА; J – оперативность доставки информации потребителю; R – время активного функционирования КА [1]. Будем считать, что определено правило свертки векторного показателя качества в скалярный: $\{L = \langle I, Q, J, R \rangle\} \rightarrow K$.

Для отражения свойства параметрической деградации системы, ее подсистем и их функциональных элементов используем подход, изложенный в [9]: если качество функционирования элемента характеризуется определяющим параметром $\Phi(t)$, где t – время от момента последнего восстановления, то имеет смысл характеризовать «эффективность элемента» [9] в момент времени t как математическое ожидание мгновенного значения определяющего параметра: $V(t) = (1 - F(t))\Phi(t) + \int_0^t h(\tau)[1 - F(t - \tau)]\Phi(t - \tau)d\tau$, где $F(t)$ – функция распределения времени безотказной работы элемента; $h(t)$ – плотность восстановления. (Для невосстанавливаемых объектов реализация подхода упрощается.) Данный подход соотносится с идеей метода динамики средних, предполагающего в системах с большим числом состояний исследовать средние значения характеристик случайных процессов [10].

Исходя из сказанного будем считать, что требуется найти показатель живучести БВС как математическое ожидание показателя качества функционирования в момент времени t : $\Psi(t) = \bar{K}(Y, Z, X, W, U, t)$. Будем называть простейшим элемент системы, имеющий только два состояния – исправное и неработоспособное. Критичным будем называть элемент, переход которого в неработоспособное состояние (с нулевым качеством) приводит к неработоспособности (нулевому качеству) системы. Для простейшего элемента можно рассчитать $\gamma_i = \int_{-\infty}^{\infty} \pi_i(A_i)\beta_i(A_i)dA_i$ – вероятность поражения однократным НВ w_i ; $\lambda(t) = \sum_{i=1}^n \gamma_i \varphi_i(t)$ – интенсивность поражения набором НВ W ; $G(t) = e^{-\int_0^t \lambda(\tau)d\tau}$ – вероятность работоспособности в условиях W . Не умаляя общности, будем полагать определяющий параметр качества функционирования K имеющим один физический смысл для системы и всех ее элементов. Тогда для системы из N элементов $\hat{K}(t) = K(\hat{K}_1(t), \dots, \hat{K}_N(t))$, и задача состоит в определении вида зависимости $K(K_1, \dots, K_N)$.

Общий подход состоит в следующем. Пусть элемент σ_i может находиться в одном из r_i состояний, обладая в j -м состоянии качеством K_{ij} , с вероятностью $p_{ij}(t) = P\{\hat{K}_i(t) = K_{ij}\}$, $j = 1, \dots, r_i$. Тогда система может находиться в одном из $\prod_{i=1}^N r_i$ состояний, обладая в l -м состоянии качеством K_l , с вероятностью $p_l(t) = P\{\hat{K}(t) = K_l\}$, $l = 1, \dots, \prod_{i=1}^N r_i$. Таким образом, распределение $\hat{K}(t)$ однозначно задается распределениями величин $\hat{K}_1(t), \dots, \hat{K}_N(t)$, а вид зависимости $K(K_1, \dots, K_N)$ можно задать прямым сопоставлением либо, к примеру, использованием логико-вероятностных методов. Однако при рассмотрении иерархических систем сложность задачи (число состояний) стремительно возрастает с ростом числа элементов, их состояний, уровней иерархии, т. е. практически данная задача труднорешаема. Тем не менее в условиях большого числа элементов многоуровневых систем с большим разнообразием состояний следует предположить возможность использования интегральных характеристик, причем можно ожидать уменьшения суммарной методической ошибки с усложнением системы.

Обозначим вероятность работоспособности элемента (качество больше нуля) $G_i(t)$, системы – $G(t)$. Для ряда типичных случаев можно установить определенные правила, представленные в табл. 1 (индекс $-i$ указывает, что характеристика рассчитывается в предположении отсутствия в схеме элемента σ_i ; K_s – показатель качества функционирования исправной системы; * – символ свертки).

Представляется, что большинство различных способов организации систем, встречающихся на практике, можно свести к комбинации указанных выше. Так, например, характеристики систем простейших элементов с дробной кратностью резервирования можно выражать рекуррентно через вероятности, относящиеся к аналогичным системам меньшей кратности. Представляет интерес случай системы с ограниченным снизу (т. е. минимально требуемым) аддитивным показателем качества $K: \sum_{i=1}^N \hat{K}_i < K_{\min} \rightarrow K = 0$. В этом случае плотность распределения \hat{K} представляет собой свертку плотностей распределений $\hat{K}_1, \dots, \hat{K}_N$. В том случае, когда последние неизвестны, можно исходить из предположения, что элементы σ_i являются

простейшими. Тогда \hat{K}_i принимает значение $K_i(0)$ с вероятностью $\bar{K}_i(t)/K_i(0)$ и значение 0 с вероятностью $1 - \bar{K}_i(t)/K_i(0)$. Таким образом, полученные соотношения позволяют упростить математические имитационные модели живучести БВС КА.

Таблица 1

Оценка показателей живучести типичных систем

Схема системы	Вероятность работоспособности системы	Математическое ожидание определяющего показателя качества системы
Простейший элемент	$G(t)$	$K_S \cdot G(t)$
Последовательная схема надежности	$\prod_{i=1}^N G_i(t)$	$K_S \cdot \prod_{i=1}^N G_i(t)$
С критичным элементом σ_i	$G_{-i}(t) \cdot G_i(t)$	$\bar{K}_{-i}(t) \cdot G_i(t)$
Общее резервирование с целой кратностью	$1 - \prod_{i=1}^N (1 - G_i(t))$	$K_S \cdot (1 - \prod_{i=1}^N (1 - G_i(t)))$
С аддитивным показателем качества $K = \sum_{i=1}^N K_i$	$1 - \prod_{i=1}^N (1 - G_i(t))$	$\sum_{i=1}^N \bar{K}_i(t)$
Резервирование замещением	$\sum_{i=1}^N g_1 * \dots * g_{i-1} * G_i(t),$ $g_i = -\frac{dG_i}{dt}$	$K_S \cdot \sum_{i=1}^N g_1 * \dots * g_{i-1} * G_i(t)$
С аддитивным показателем качества и критичным элементом σ_i	$G_{-i}(t) \cdot G_i(t)$	$\bar{K}_{-i}(t) \cdot G_i(t) + \bar{K}_i(t)$

Для наглядности приведем простейший пример. Пусть вычислитель включает в свой состав основной и дополнительные модули быстродействием 50 и 25 MIPS соответственно, надежность которых характеризуется интенсивностью отказов $\mu=10^{-5}$ 1/ч. Первый вариант строится из одного основного и одного дополнительного модулей, имеющих вероятность поражения при НВ $b_1=0,1$, а второй вариант – из одного основного и двух дополнительных с $b_2=0,3$. На рис. 1 показаны графики математического ожидания суммарного быстродействия V вариантов структуры вычислителя (первый вариант – сплошная линия, второй – пунктир): вверху – для интенсивности потока НВ $\varphi_1=0,5 \cdot 10^{-4}$ 1/ч, внизу – для $\varphi_2=1,5 \cdot 10^{-4}$ 1/ч, рассчитанные из итогового соотношения $V_{ij}(t) = v_i e^{-(\mu+b_i\varphi_j)t}$, где $v_1=75$ MIPS, $v_2=100$ MIPS.

Из графиков видно, что при относительно низком уровне НВ предпочтительным выступает избыточный вариант, а при высоком – более стойкий. Анализ вероятности безотказной работы не является достаточно информативным и, как правило, сводится к предпочтению структур из надежных элементов избыточным структурам при длительных сроках эксплуатации, и наоборот. Так, в представленном примере по оценке вероятности безотказной работы в обоих случаях пришлось бы выбрать первый вариант, так как этот показатель не учитывает качество функционирования на интервале, когда число отказов еще невелико. Между тем для БВС и их компонентов представляется более целесообразным именно предложенный подход, поскольку весомым показателем должен быть объем работы, которую успеет проделать система до выхода из строя вследствие деструктивных воздействий, носящих стохастический характер (в отличие, например, от систем, функционирующих до выработки ресурса).

Обобщенная схема анализа живучести показана на рис. 2.

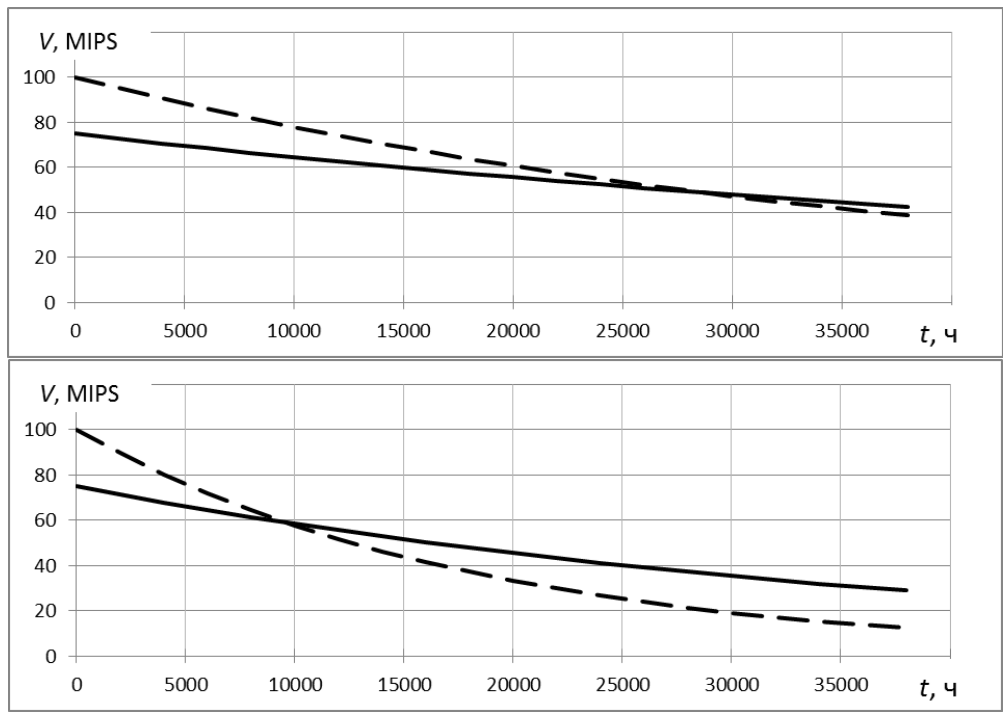


Рис. 1. Математическое ожидание быстродействия вариантов построения вычислителя (пример)

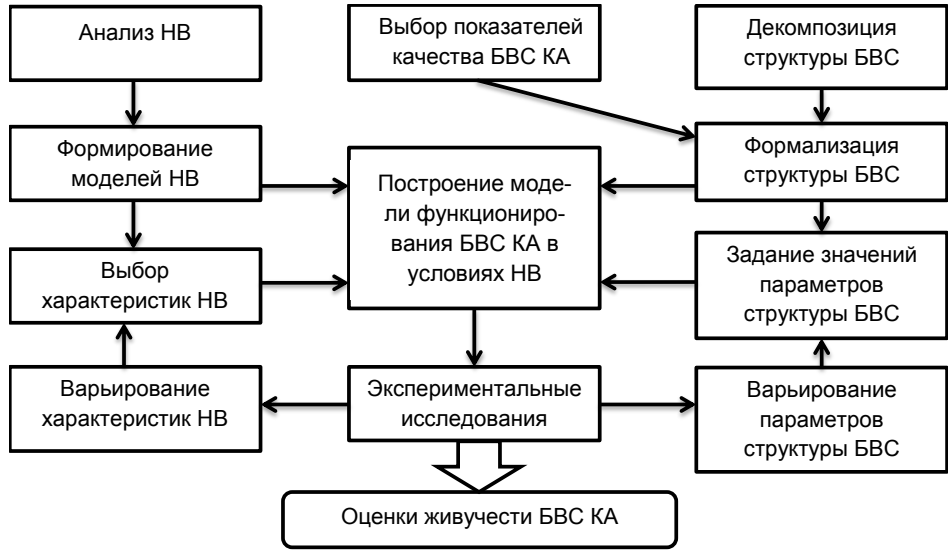


Рис. 2. Обобщенная схема анализа живучести БВС КА в условиях НВ

ВЫВОДЫ

В целях обеспечения живучести группировок КА в условиях воздействия дестабилизирующих факторов космического пространства и деструктивных воздействий при требованиях к оперативности решения целевых задач, длительности функционирования КА и ограничениях на аппаратно-программную реализацию необходимо совершенствование научно-методического аппарата анализа и синтеза архитектур БВС.

Искомые модели живучести БВС КА должны агрегировать свойства стойкости и защищенности, надежности и отказоустойчивости, структурно-функциональной и параметрической деградации. Исходя из этого преимуществами предлагаемого подхода представляется оценивание живучести с позиций качества функционирования (выполнения целевых задач) системы, применительно к стохастическому множеству различных воздействий, в динамике функционирования системы на этапе эксплуатации. Сложность заключается в разнообразии элементов и связей в системе, многообразии их возможных состояний, а также параметров и частных показателей качества, что ведет к серьезным затруднениям в использовании известных математических методов. Для реализации этого подхода необходимо предложить модели дестабилизирующих факторов и деструктивных воздействий, провести структурно-функциональную декомпозицию типовых БВС, обосновать критериальную базу оценивания качества системы и ее элементов и разработать модели функционирования БВС на основе обоснованного выбора перспективного математического аппарата, такого как методы эволюционного моделирования, нечеткой логики, искусственных нейронных сетей.

Реализация предложенного подхода позволит получать количественные и качественные оценки живучести, выявлять критичные компоненты структур и создавать базу для построения методов повышения и обеспечения живучести БВС КА.

Список используемых источников

1. Методы обеспечения живучести низкоорбитальных автоматических КА зондирования Земли: математические модели, компьютерные технологии / А.Н. Кирилин, Р.Н. Ахметов, А.В. Соллогуб, В.П. Макаров. – М.: Машиностроение, 2010. – 384 с.
2. Черкесов Г.Н. Методы и модели оценки живучести сложных систем. – М.: Знание, 1987. – 32 с.
3. Захаров И.В., Кремез Г.В., Фролков Е.В. Экспериментальные исследования работоспособности электронных компонентов бортовой аппаратуры на КА серии «Можаяец» // Известия вузов. Приборостроение. – СПб.: Университетские телекоммуникации, 2014. – Т. 57, №10. – С. 66–70.
4. Захаров И.В., Кремез Г.В. Построение бортовых вычислительных систем с учетом результатов испытаний элементной базы в условиях космического пространства // Научное обозрение. – Саратов: ООО «Буква», 2014. – Вып. 2. – С. 176–179.
5. Додонов А.Г., Ландэ Д.В. Живучесть информационных систем. – Киев: Наукова думка, 2011. – 256 с.
6. Рябинин И.А., Черкесов Г.Н. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем. – М.: Радио и связь, 1981. – 264 с.
7. Стекольников Ю.И. Живучесть систем. – СПб.: Политехника, 2002. – 155 с.
8. Абдурахимов А.А., Скворцов Д.В. Методологические основы обеспечения живучести космических аппаратов // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2013. – Вып. 640. – С. 7–19.
9. Финкельштейн М.С. Надежность и живучесть радиоэлектронных систем. – Л.: ЦНИИ «Румб», 1990. – 124 с.
10. Сушков Ю.А. Моделирование систем. – Л.: ЛГУ, 1982. – 112 с.

Е.Ю. Брежнев,
кандидат техн. наук;
Ю.А. Гравченко,
кандидат техн. наук, доцент;
Д.О. Мокан,
кандидат техн. наук;
С.В. Чирва

МЕТОД ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЖИВУЧЕСТИ ОБРАЗЦОВ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ОБЩЕМ ДЕЙСТВИИ ВЗРЫВА БОЕПРИПАСА

Приводится методика определения значений некоторых показателей неуязвимости единичных и комплексных образцов вооружения и военной техники в случае применения по ним высокоточных средств поражения в обычном снаряжении.

Ключевые слова: вооружение, живучесть, неуязвимость, восстанавливаемость, высокоточное средство поражения, повреждение.

Преобладающими факторами, воздействующими на образцы вооружения в ходе боевых действий, являются поражающие факторы (ПФ). Следовательно, основным показателем, характеризующим способность образцов вооружения и военной техники (ВВТ) выполнять поставленные задачи, будет показатель их живучести, поскольку именно свойство живучести характеризует способность системы (образца ВВТ) функционировать в условиях воздействия ПФ.

Живучесть является комплексным свойством, включающим в себя под свойства неуязвимости и восстанавливаемости [1].

Неуязвимость для образцов и систем вооружения является наиболее значимым свойством, поскольку потеря боеспособности даже на короткое время для ряда из них, например для систем ПВО, может привести к невыполнению боевой задачи, а их восстановление в ходе боевых действий затруднительно и может осуществляться преимущественно в перерывах между ударами.

Показатель неуязвимости должен отражать способность образца ВВТ частично или полностью выполнять функциональное предназначение в условиях воздействия ПФ оружия противника. Для единичных образцов ВВТ в качестве таковых может выступать вероятность P_s получения образцом повреждений s -й степени, а для комплексных – вероятность потери боеспособности.

Представленная методика предназначена для расчета названных показателей.

Исходными данными, необходимыми для проведения вычислений, являются:

- 1) сведения о характеристиках точности высокоточных средств поражения (ВТСП);
- 2) характеристики уязвимости единичных образцов военной техники от боеприпасов различного типа;
- 3) параметры размещения комплексного образца ВВТ на местности (боевой порядок);
- 4) функциональная схема уязвимости комплексного образца ВВТ.

Характеристики точности ВТСП задаются в виде среднеквадратического отклонения σ радиальной ошибки наведения.

Характеристики уязвимости единичного образца вооружения представляют собой радиусы зон уязвимости, то есть расстояния $R_s=(R_0, R_1, R_2, R_3, R_4)$, при подрыве на которых заданного типа боеприпаса объект получит повреждения не ниже s -й степени тяжести с

вероятностью, близкой к единице. Индекс s обозначает степень повреждения, получаемого вооружением, он может иметь следующие значения: $s = 0$ – не поврежден; $s = 1$ – полное разрушение; $s = 2$ – сильные повреждения; $s = 3$ – средние повреждения; $s = 4$ – слабые повреждения. Данные характеристики сведены в трехмерную матрицу, вид которой представлен на рис. 1.

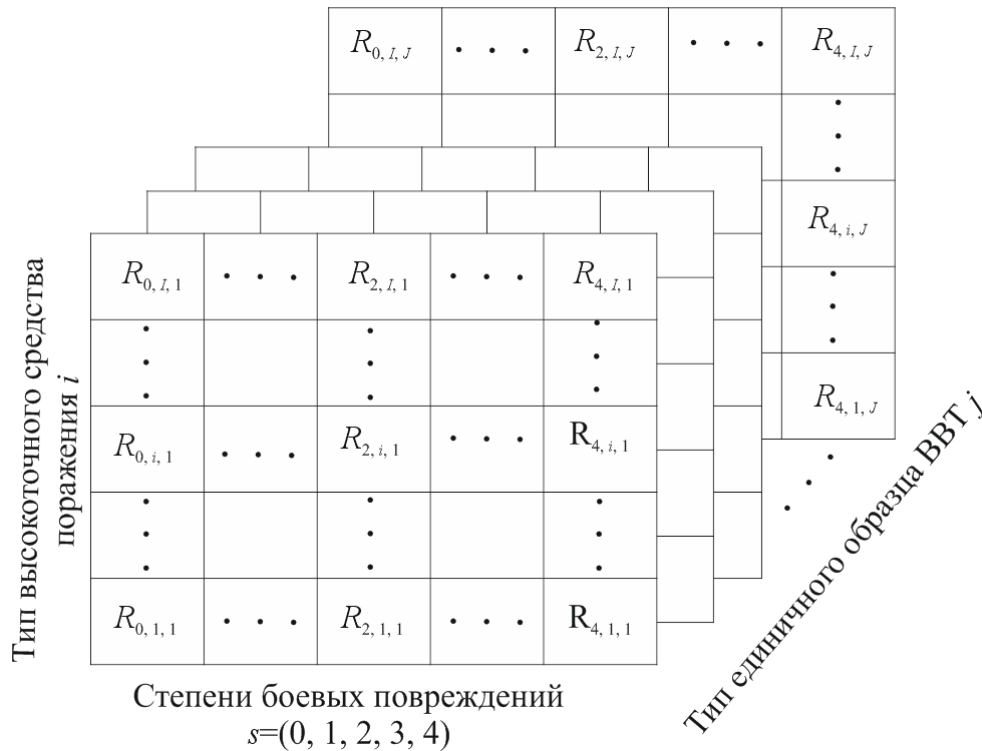


Рис. 1. Вид матрицы характеристик уязвимости единичных образцов ВВТ из состава комплекса

Графическое изображение радиусов зон уязвимости для различных типов единичных образцов ВВТ и заданного типа средства поражения приведено на рис. 2 на примере зенитного ракетного комплекса (ЗРК) средней дальности.

Параметры размещения комплексного образца ВВТ на местности представляют собой нормативные удаления m_k , $k \in (1, K)$, единичных образцов от точки прицеливания ВТСП, где k – порядковый номер единичного образца ВВТ. В качестве точки прицеливания выбирается образец ВВТ с наибольшим числом демаскирующих признаков. Для ЗРК, например, таковым является радиолокатор подсвета и наведения.

Функциональная схема уязвимости комплексного образца ВВТ представляет собой его структурно-функциональное описание, на котором образец ВВТ представлен в виде совокупности последовательно и параллельно соединенных единичных образцов.

Порядок расчета показателей неуязвимости комплексного образца реализуется следующим образом. На основе данных о типе примененного ВТСП берутся радиусы зон уязвимости образцов ВВТ, среднее квадратическое отклонение σ радиальной ошибки наведения примененного ВТСП и вычисляется вероятность P_s нанесения единичному образцу ВВТ повреждений s -й степени, которая определяется как вероятность того, что ВТСП попадет в круг, имеющий радиус R_s , с центром, совмещенным с центром масс образца. При этом полагается, что значения координат точки подрыва ВТСП статистически независимы и распределены по круговому нормальному закону.

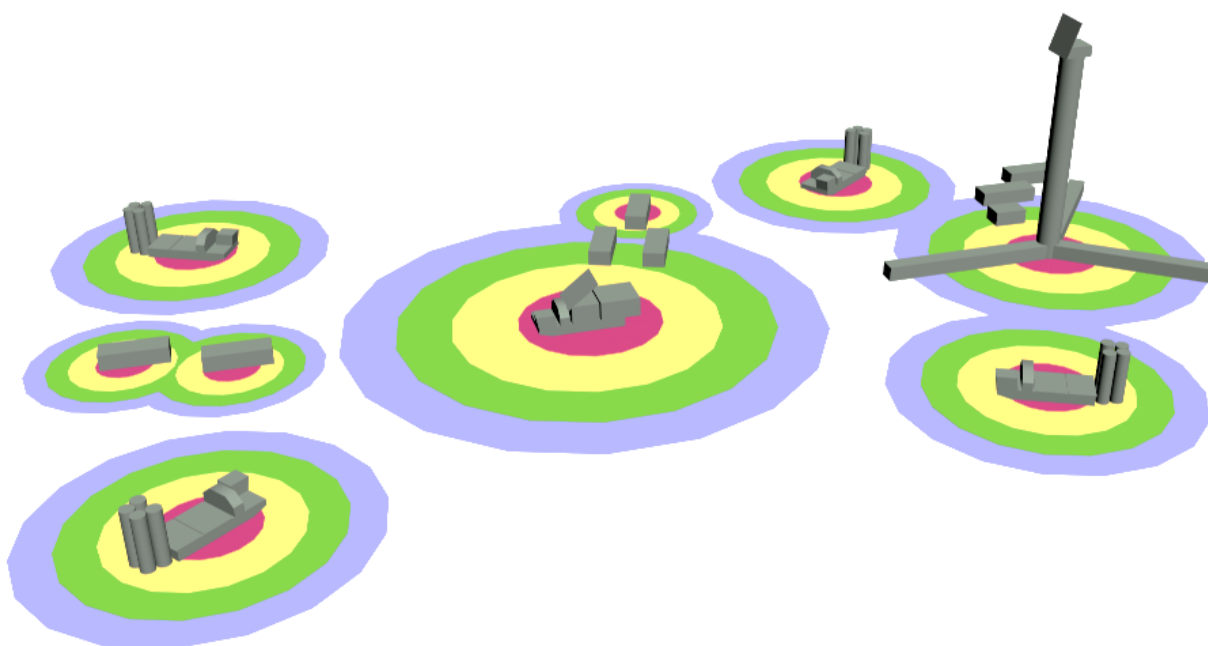


Рис. 2. Схема размещения единичных образцов ВВТ в составе комплексного образца на позиции с нанесенными радиусами зон уязвимости

Расчет осуществляется для каждого образца ВВТ на позиции в следующей последовательности:

1. Определяется степени повреждения образа ВВТ с вероятностью, близкой к единице. Для этого последовательно для всех степеней повреждения, начиная с максимальной, проверяется выполнимость граничных условий.

Для любой степени повреждений, кроме степени $s=0$, данные условия имеют вид:

а) если $R_s \gg \sigma$, $m_k \neq 0$ и выполняется неравенство $m_k \geq R_s + 2\sigma$, то принимается значение $P_s = 0$ и осуществляется переход к определению значения P_{s+1} ;

б) если $R_s \gg \sigma$, $m_k \neq 0$ и выполняется неравенство $m_k \leq R_s - 2\sigma$, то принимается значение $P_s = 1$.

В случае выполнения какого-либо из условий группы «б» дальнейший расчет прекращается и делается вывод о получении данным k -м единичным образцом ВВТ повреждений данной степени.

2. Определяется вероятность получения k -м единичным образцом ВВТ повреждения s -й степени.

В случае, когда однозначное отнесение повреждений к какому-либо виду невозможно, проводится дополнительный уточняющий расчет, результатом которого являются два значения вероятностей получения k -м единичным образцом ВВТ смежных степеней повреждений, т. е. слабой и средней или средней и сильной и т. д.

Вероятность нанесения повреждения для каждого k -го единичного образца ВВТ определяется как интегральная функция распределения значений модуля случайного радиуса-вектора промаха ВСП из выражения вида

$$P_s = \int_0^{R_s} \frac{\rho}{\sigma^2} e^{-\frac{\rho^2 + m_k^2}{2\sigma^2}} I_0\left(\frac{m_k \rho}{\sigma^2}\right) d\rho, \quad (1)$$

где $I_0(\cdot)$ – функция Бесселя нулевого порядка от мнимого аргумента;

ρ – переменная интегрирования.

В результате проведенных расчетов для каждого единичного образца вооружения получим характеристики его неуязвимости в виде значений вероятностей получения s -й степени повреждения (рис. 3).

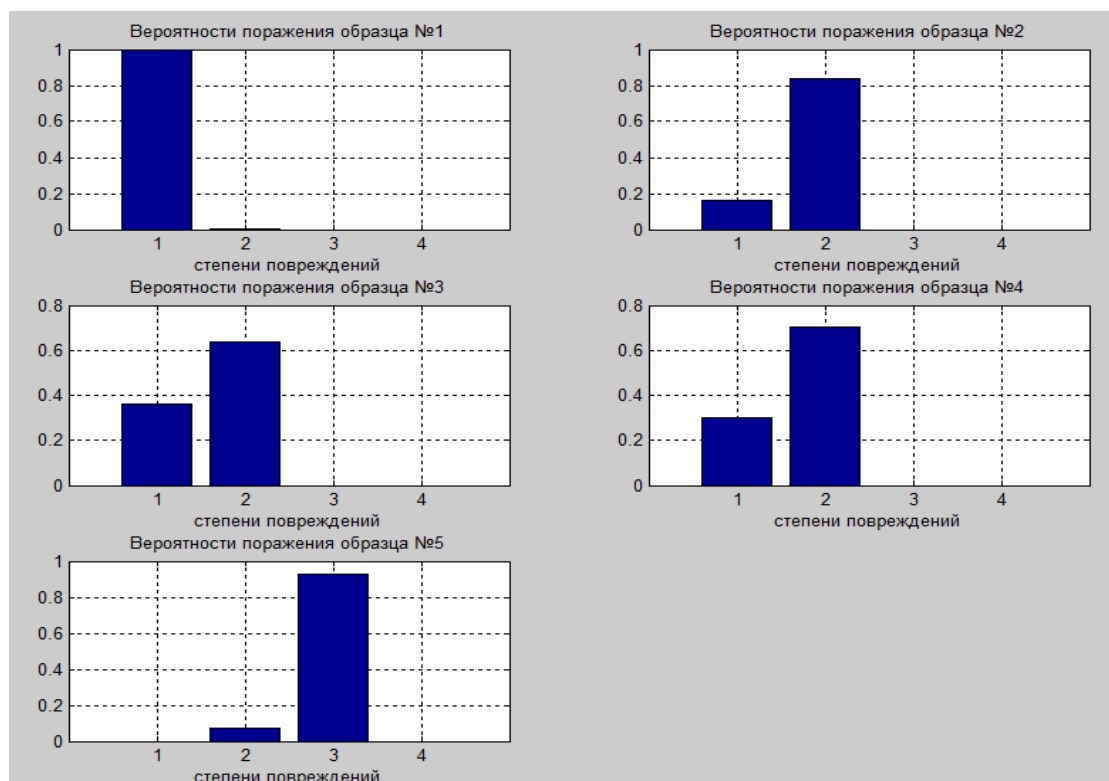


Рис. 3. Пример результатов расчета показателей неуязвимости единичных образцов ВВТ в составе комплексного образца

Расчет показателей неуязвимости комплексного образца ВВТ производится следующим образом. Для каждого единичного образца требуется определить минимальную степень повреждения s^* , при которой он теряет боеспособность. Тогда значением вероятности отказа единичного элемента будет являться максимальное из значений вероятностей от P_1 до P_{s^*} . Построив функциональную схему комплексного образца ВВТ можно вычислить вероятность полной потери им боеспособности аналогично расчету вероятности отказа системы в теории надежности [2].

Таким образом, представленная методика позволяет определить значения показателей неуязвимости комплексных и единичных образцов ВВТ в случае применения по ним высокоточных средств поражения и может быть использована как для обоснования мер по повышению неуязвимости образцов ВВТ, так и для поддержки принимаемых решений на боевые действия и восстановление нарушенной боеспособности воинских формирований.

Список используемых источников

1. Справочник офицера воздушно-космической обороны / под общ. ред. С.К. Бурмирова. – Тверь: ВА ВКО, 2008. – 564 с.
2. Техническая эксплуатация и войсковой ремонт вооружения и военной техники зенитных ракетных войск. Теоретические основы надежности и эксплуатации ЗРС: учеб. пособие / под общ. ред. В.Н. Самусенко. – Тверь: ВА ВКО, 2008. – 105 с.

В.В. Головина,
кандидат техн. наук;
А.В. Коцкович;
П.П. Рымкевич,
кандидат физико-математических наук, доцент

ОЦЕНКА СРЕДНЕГО ВРЕМЕНИ ПРОХОЖДЕНИЯ ТЕПЛА ЧЕРЕЗ ОБШИВКУ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Предложен новый метод решения задач нестационарной теплопроводности, основанный на вероятностных методах общей теории переноса. В работе рассмотрен перенос тепла через плоскую конструкцию широкого назначения. Определено среднее время прохождения тепловой энергии через слой однородной среды.

Ключевые слова: коэффициент прохождения, коэффициент отражения, нестационарная теплопроводность, среднее время прохождения тепла, тепловой поток.

В реальных условиях эксплуатации обшивка космического аппарата (КА) подвергается нестационарным тепловым воздействиям (солнечное излучение, космическая радиация и т. д.). Определение характера распределения температур по толщине многослойной обшивки в нестационарном случае – одна из важных задач, возникающих при эксплуатации КА. Кроме того, возникает проблема и теплоустойчивости. Теплоустойчивость обшивки КА тесно связана с его теплоинерционными свойствами. Обычно нормируется амплитуда колебаний температуры на внутренней поверхности обшивки. Но поскольку амплитуда колебаний температуры внутри КА сильно зависит от периода колебаний температуры на внешней поверхности, то в качестве основной характеристики теплоустойчивости целесообразно ввести среднее время прохождения тепла через обшивку КА.

Методы теории теплопроводности широко известны [1–3]. Тем не менее для решения ряда задач нестационарной теплопроводности и тепловой устойчивости известные методы и методики имеют ряд существенных неудобств. Прежде всего, при наличии многослойных конструкций, широко используемых в последнее время, с различными теплопроводными включениями для определения полей температур на каждой границе возникает необходимость сращивать решения, что приводит к излишнему усложнению расчетов. При этом непосредственный вклад от каждого слоя далеко не очевиден. Имеются также известные проблемы с заданием граничных условий.

Авторами работы предложен новый метод решения задач нестационарной теплопроводности, основанный на вероятностных методах общей теории переноса [4–6]. В данной работе будет рассмотрен лишь простейший перенос тепла через плоскую многослойную конструкцию.

Процесс передачи тепла с позиций современной физики можно рассматривать как диффузию аддитивного скалярного свойства – тепловой энергии. Пусть теплоперенос осуществляется вдоль некоторой оси Ox . Так как тепловая энергия распространяется как по, так и против оси Ox , то в качестве локальной характеристики целесообразно ввести соответствующие плотности токов тепла $q_{\leftrightarrow}(x, t)$, которые можно рассматривать как векторы в двумерном пространстве $\{q_{\rightarrow}; q_{\leftarrow}\}$. В качестве одной из локальных характеристик среды можно ввести скорость распространения тепла $c(x)$, которую в большинстве случаев можно принять за скорость звука. Очевидно, что плотность тока тепла $q(x, t) = q_{\rightarrow}(x, t) - q_{\leftarrow}(x, t)$. Переносимую часть внутренней энергии можно трактовать как неравновесный фононный газ, диффундирующий в общем случае по разным механизмам. Плотность переносимой части

энергии $U(x,t) = 1/c \cdot [q_{\rightarrow}(x,t) + q_{\leftarrow}(x,t)]$. При этом можно принять, что $U = c_v \rho T$, где c_v – удельная теплоемкость; ρ – локальная плотность среды; $T(x, t)$ – искомое поле температур ($dU = c_v \rho dT$). С общих позиций теории переноса распространение данного аддитивного свойства определяется не только самим свойством, но и свойствами одномерного пространства, которое будем называть средой. Характеристики среды могут определяться распределением других свойств (например, механические нагрузки и т. д.) и могут зависеть (в общем случае нелинейно) от распределения самого изучаемого свойства (тепловой энергии).

Рассмотрим отрезок оси $Ox - [x_1; x_2]$, который будем называть **слоем среды**. Положим, что на слой $[x_1; x_2]$ «падает» ток $q_0(x_1 - 0, t)$. Рассмотрим вначале случай, когда $q_0 = \delta(t' - t)$, где t' – текущее время; t – фиксированный момент времени. Введем следующие характеристики **слоя среды**:

– *коэффициент прохождения* – $\Lambda(t, x_1 | x_2, \tau) = q_{\rightarrow}(x_2 - 0, t + \tau)$ – плотность тока тепла, прошедшего слой $(x_1; x_2)$ за время τ , при этом считается, что за границами слоя $[x_1; x_2]$ стоят полностью поглощающие тепло экраны;

– *коэффициент отражения* – $P(t, x_1 | x_2, \tau) = q_{\leftarrow}(x_1 + 0, t + \tau)$ – плотность тока тепла, отразившегося от слоя $(x_1; x_2)$ за время τ , т. е. первое отражение без пересечения границ $x = x_1$ и $x = x_2$ ранее;

– *коэффициент поглощения* – $R(t, x_1 | x_2, \tau)$ – ток тепла, поглощающийся (рождающийся) в слое $(x_1; x_2)$ в момент $(t + \tau)$.

Отметим, что введенные коэффициенты и сами токи q_{\leftrightarrow} будем считать комплексными числами.

Математический аппарат основан на некоммутативном умножении и более подробно представлен в [4–6]. Для пояснения введенных символов рассмотрим множество функций $C_{t,\tau}$ двух действительных переменных t и τ , определенных и кусочно-непрерывных для $\tau \geq 0$ и аналитических по переменной $t \in (-\infty; +\infty)$. Пусть $a(t, \tau), b(t, \tau), c(t, \tau) \in C_{t,\tau}$. Определим произведение функций так:

$$c(t, \tau) = a(t, \tau) \bar{\otimes} b(t, \tau) \stackrel{Def}{=} \int_0^{\tau} a(t, \tau_1) b(t + \tau_1, \tau - \tau_1) d\tau_1. \quad (1)$$

Обозначим $R_{\bar{\otimes}}$ – кольцо функций $C_{t,\tau}$ с естественным определенным сложением и умножением в смысле (1).

Рассмотрим некоторую упорядоченную последовательность функций $a, b, c \dots \in R_{\bar{\otimes}}$. В некоторых задачах $a(t, \tau)$ можно интерпретировать как функцию распределения некоторого события A , начавшегося в момент времени t и распределенного по длительности события $\tau \geq 0$. В этом случае указанную выше последовательность функций будем называть процессом, состоящим из последовательного выполнения событий $A, B, C \dots$. Необходимость использования кольца $R_{\bar{\otimes}}$ означает, что большинство окружающих нас явлений природы есть некоторые упорядоченные цепи тех или иных событий.

В простейшем случае, если $a, b, c \dots$ не зависят от переменной t (например, времени начала события) явно, то интеграл (1) представляет обычную свертку функций (умножение в смысле Мукусинского), т. е. $c(\tau) = a(\tau) * b(\tau)$. Таким образом $R_* \subset R_{\bar{\otimes}}$. Для описания кон-

кретных процессов более удобно использовать не само кольцо R_{\otimes} , а кольцо R_{\otimes} . Изоморфизм между кольцами R_{\otimes} и R_{\otimes} устанавливается с помощью преобразования Лапласа

$$A(t, S) = \int_0^{\infty} a(t, \tau) e^{-S \tau} d\tau, \quad (2)$$

где $A(t, S)$ – аналитическая функция по обоим переменным (действительной t и комплексной S).

Определим произведение функций $A(t, S) \otimes B(t, S) = C(t, S); A, B, C \in R_{\otimes}$, описывающих мультипликативную полугруппу кольца R_{\otimes} , так:

$$C(t, S) \stackrel{Def}{=} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{n!} \cdot \frac{\partial^n A(t, S)}{\partial S^n} \cdot \frac{\partial^n B(t, S)}{\partial t^n} = A(t, S) \otimes B(t, S). \quad (3)$$

Ассоциативность кольца R_{\otimes} следует из ассоциативности кольца R_{\otimes} . Умножение в смысле (3) связано со сложением законами дистрибутивности. Так, R_{\otimes} – кольцо с единицей, причем единицей кольца R_{\otimes} является функция $E(t, s) \equiv 1$.

Рассмотрим плоский слой материала $x \in [x_1, x_3]$, на который падает тепловой поток. Проведем мысленное сечение $x = x_2$. Для теплового потока, т. е. количества тепловой энергии, пересекающей сечение $x = x_3$, характерно то, что пересечь сечение $x = x_2$ тепловой поток может лишь нечетное число раз. С учетом введенных коэффициентов прохождения, отражения и поглощения на языке кольца R_{\otimes} можно представить в следующем виде:

$$\begin{aligned} \Lambda(t, x_1 | x_2, \tau) &= \int_0^{\tau} \Lambda(t, x_1 | x_2, \tau_1) \cdot \Lambda(t + \tau_1, x_2 | x_3, \tau - \tau_1) d\tau_1 + \\ &+ \Lambda(x_1 | x_2) \bar{\otimes} P(x_2 | x_3) \bar{\otimes} P(x_2 | x_1) \bar{\otimes} \Lambda(x_2 | x_3) + \dots = \\ &= \Lambda(x_1 | x_2) \bar{\otimes} [\delta - P(x_2 | x_3) \bar{\otimes} P(x_2 | x_1)]^{\bar{\otimes}-1} \bar{\otimes} \Lambda(x_2 | x_3). \end{aligned} \quad (4)$$

Аналогично рассчитываются и коэффициент отражения P , и коэффициент поглощения R (если имеются стоки тепла).

В самом общем случае на языке кольца R_{\otimes} [4] эти соотношения имеют вид:

$$\begin{cases} \Lambda(x_1 | x_3) = \Lambda(x_1 | x_2) \bar{\otimes} [\delta - P(x_2 | x_3) \bar{\otimes} P(x_2 | x_1)]^{\bar{\otimes}-1} \bar{\otimes} \Lambda(x_2 | x_3); \\ P(x_1 | x_3) = P(x_1 | x_2) + \Lambda(x_1 | x_2) \bar{\otimes} [\delta - P(x_2 | x_3) \bar{\otimes} P(x_2 | x_1)]^{\bar{\otimes}-1} \bar{\otimes} P(x_2 | x_3) \bar{\otimes} \Lambda(x_2 | x_1); \\ R(x_1 | x_3) = R(x_1 | x_2) + \Lambda(x_1 | x_2) \bar{\otimes} [\delta - P(x_2 | x_3) \bar{\otimes} P(x_2 | x_1)]^{\bar{\otimes}-1} \bar{\otimes} \\ \bar{\otimes} [P(x_2 | x_3) \bar{\otimes} R(x_2 | x_1) + R(x_2 | x_3)]. \end{cases} \quad (5)$$

Далее везде, где это не будет вызывать недоразумение, переменные t и τ (S и t) будут опущены.

Если ввести понятие структуры теплового потока [5–8], то коэффициенты Λ, P, R будут представлять собой квадратные матрицы. Введенный выше коэффициент поглощения R не означает, что в среде имеются постоянно действующие источники (стоки) тепла. Под источником тепла будем подразумевать образование тепловой энергии U в момент $t > t_0$, если до этого оно отсутствовало, а промежуток полностью ограничен экранами. Введение свойств поглощающего, отражающего, полупрозрачного экранов имеют простой смысл и служат лишь способом наглядного описания.

Все коэффициенты (распределения) Λ, P, R полагаются равными нулю для $\tau < 0$ (принцип причинности).

Вместо распределений Λ, P, R целесообразно сразу использовать их Лаплас-образы (Фурье-образы), а именно, $\bar{\Lambda}, \bar{P}, \bar{R}$. При этом вместо символа \otimes необходимо использовать умножение \otimes в смысле (3). Переход от одних колец к другим в теории переноса формулируется в виде «нестационарного принципа». Суть его сводится к следующему. Пусть некоторая аддитивная величина M , не имеющая структуры, описывается коэффициентами $\bar{\Lambda}, \bar{P}, \bar{R}$, а со структурой – аналогичными элементами $\tilde{\Lambda}, \tilde{P}, \tilde{R}$, при этом $\tilde{\Lambda}, \tilde{P}, \tilde{R}$ принадлежат более сложному кольцу R_0 . Тогда переход от описания распространения свойства M к описанию распространения свойства \tilde{M} сводится к замене операции \otimes на операцию умножения \circ и замене 1 на единицу кольца R_0 без изменения вида уравнений. Иными словами, и для многоканального случая справедлива система (5) с соответствующей заменой символов. Соответственно, в общем случае система (5) примет следующий вид:

$$\begin{cases} \bar{\Lambda}(x_1, t | x_3, S) = \bar{\Lambda}(x_1 | x_2) \otimes [I - \bar{P}(x_2 | x_3) \otimes \bar{P}(x_2 | x_1)]^{\otimes -1} \otimes \tilde{\Lambda}(x_2 | x_3); \\ \bar{P}(x_1, t | x_3, S) = \bar{P}(x_1 | x_2) + \bar{\Lambda}(x_1 | x_2) \otimes [I - \bar{P}(x_2 | x_3) \otimes \bar{P}(x_2 | x_1)]^{\otimes -1} \otimes \bar{P}(x_2 | x_3) \otimes \Lambda(x_2 | x_1); \\ \bar{R}(x_1, t | x_3, S) = \bar{R}(x_1 | x_2) + \bar{\Lambda}(x_1 | x_2) \otimes [I - \bar{P}(x_2 | x_3) \otimes \bar{P}(x_2 | x_1)]^{\otimes -1} \otimes \\ \otimes [\bar{P}(x_2 | x_3) \otimes \bar{R}(x_2 | x_1) + \bar{R}(x_2 | x_3)]. \end{cases} \quad (6)$$

Соотношения (6) позволяют последовательно определить свойства системы слоев, зная свойства каждого слоя, т. е. дают конструктивный путь решения задач переноса тепла.

Некоммутативность колец R_{\otimes} и R_{\circ} существенна для сильно нестационарных процессов, когда за среднее время прохождения тепла меняются свойства среды, т. е. «блуждающий» фонон каждый раз попадает в новую среду. Если же все коэффициенты не зависят от времени t явно или этой зависимостью можно пренебречь, то умножение \otimes представляет собой обычное умножение, т. е.

$$\begin{cases} \bar{\Lambda}(x_1 | x_3, S) = \frac{\bar{\Lambda}(x_1 | x_2) \bar{\Lambda}(x_2 | x_3)}{1 - \bar{P}(x_2 | x_3) \bar{P}(x_2 | x_1)}; \\ \bar{P}(x_1 | x_3, S) = \bar{P}(x_1 | x_2) + \frac{\bar{\Lambda}(x_1 | x_2) \bar{\Lambda}(x_2 | x_1) \bar{P}(x_2 | x_3)}{1 - \bar{P}(x_2 | x_3) \bar{P}(x_2 | x_1)}; \\ \bar{R}(x_1 | x_3, S) = \bar{R}(x_1 | x_2) + \frac{\bar{\Lambda}(x_1 | x_2) [\bar{P}(x_2 | x_3) \bar{R}(x_2 | x_1) + \bar{R}(x_2 | x_3)]}{1 - \bar{P}(x_2 | x_3) \bar{P}(x_2 | x_1)}. \end{cases} \quad (7)$$

Некоммутативность существенна и в тех случаях, когда среда неоднородная или в слое среды имеются включения. В этом случае вводится понятие канала распространения, а все коэффициенты $\bar{L}, \bar{P}, \bar{R}$ представляют собой квадратные матрицы. В реальности закон Фурье является достаточно приближенным и хорошо выполняется только для стационарного случая. Это объясняется тем, что передача тепла даже в однородной среде идет не по одному механизму (существуют также внутренние каналы передачи тепла) [6–8]. Для большинства инженерных расчетов все эти «тонкости» могут не учитываться, и можно пользоваться соотношениями (7).

Для непрерывного пространства целесообразно рассмотреть бесконечно тонкий слой dx . Поскольку $\bar{L}(x|x) \equiv 1, \bar{P}(x|x) = \bar{R}(x|x) \equiv 0$, если нет сингулярностей (имеющиеся сингулярности будем называть экранами). Разлагая $\bar{P}(x|x \pm dx)$ и $\bar{R}(x|x \pm dx)$ $dx > 0$ в ряд и оставляя первые члены разложения, будем иметь:

$$\begin{aligned}\bar{P}(x|x \pm dx) &= a(x,t)dx + 0(dx); \\ \bar{R}(x|x \pm dx) &= \chi(x,t)dx + 0(dx).\end{aligned}\quad (8)$$

Здесь $a(x,t)$ и $\chi(x,t)$ будем называть показателями отражения и поглощения соответственно. Таким образом, a и χ суть локальные характеристики среды по отношению к распространению тепла.

В качестве удобной характеристики теплоустойчивости рассматриваемого слоя материала введем понятие среднего времени прохождения тепла слоем Δx так:

$$t_\lambda(\Delta x) \stackrel{Def}{=} -\frac{\partial}{\partial S} [\ln \bar{L}(x|x + \Delta x)] \Big|_{S=0} . \quad (9)$$

Для однородной среды $\bar{L}, \bar{P}, \bar{R}$ имеют простой вид:

$$\begin{aligned}\bar{L}(z, S) &= \frac{2\mu(S - \mu)e^{-\mu z}}{a^2 - (S - \mu)^2 e^{-2\mu z}}; \\ \bar{P}(z, S) &= \frac{a(S - \mu)[1 - e^{-2\mu z}]}{a^2 - (S - \mu)^2 e^{-2\mu z}}; \\ \bar{R}(z, S) &= \frac{\sqrt{2\chi}\sqrt{S - \mu}}{\sqrt{S - a}} \cdot \frac{[1 - e^{-\mu z}]}{[a + (S - \mu)e^{-\mu z}]}.\end{aligned}\quad (10)$$

Здесь введены обозначения $z = x_2 - x_1$, $\mu = \sqrt{\tilde{S}^2 - a^2}$, $\tilde{S} = \frac{S}{c} + (a + \chi)$.

Подставляя выражение (9) в соотношения (10) в отсутствии стоков тепла для однородного слоя среды получаем:

$$t_\lambda = \frac{az^2}{3c} \quad (11)$$

Из соотношения (11) видно, что среднее время прохождения тепла через однородный слой пропорционально квадрату толщины этого слоя. Поскольку обшивка КА состоит из ряда од-

народных слоев, то, воспользовавшись рекуррентным соотношением (7), несложно получить явное выражение для среднего времени прохождения тепла для любого числа однородных слоев обшивки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренный подход показывает, что для тепловых потоков с внутренней структурой вид определяющих уравнений не меняется, а изменяется лишь структура соответствующего математического кольца. Также получено явное выражение для среднего времени прохождения тепла через произвольный слой среды, что позволяет по-новому оценивать теплозащитные свойства материалов.

Список используемых источников

1. Карслоу Х.С. Теория теплопроводности. – М.: Гостеориздат, 1947.
2. Рымкевич П.П., Коцкович А.В., Головина В.В. Физика. Молекулярная физика и термодинамика: курс лекций. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2015. – 72 с.
3. Александровский С.В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на изменение температуры и влажности с учетом ползучести. – М., 2004. – 712 с.
4. Рымкевич П.П. Введение в теорию распространения свойств // Труды XXVII Летней Международной школы «Анализ и синтез нелинейной механики колебательных систем». – СПб., 1999. – С. 455–496.
5. Рымкевич П.П., Коцкович А.В. Нестационарный теплоперенос через конструкционные элементы космических аппаратов // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, 2014. – Вып. 643. – С. 150–154.
6. Рымкевич П.П., Горшков А.С. Теория переноса. – СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2015. – 122 с.
7. Рымкевич П.П., Горшков А.С. Уравнения переноса аддитивных свойств в квантовой механике. – Saarbrücken, Deutschland: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. – 129 p.
8. Головина В.В., Рымкевич П.П. Метод аналогий и его физическое обоснование для описания термовязкоупругости аморфно-кристаллических полимерных нитей // Известия вузов. Технология легкой промышленности. – 2013. – №1(19). – С.67–70.

П.С. Гончаров;
кандидат техн. наук;
А.М. Денисов;
кандидат техн. наук;
А.В. Кухтин;
В.В. Мартынов;
Э.Г. Синельников

УСТРОЙСТВО ДАТЧИКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ МЕТЕОРОИДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ЧАСТИЦ В КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Показана актуальность исследования параметров метеороидных и техногенных частиц. Проведен краткий анализ принципов работы применяемых для их регистрации датчиков. Обосновано устройство датчика для определения параметров метеороидных и техногенных частиц, обладающего повышенной информативностью. Приведена структурная схема аппаратного блока для обеспечения его работы.

Ключевые слова: метеороидные и техногенные частицы, детектор, чувствительные элементы, полиимидная пленка, объемно поляризованная поливинилиденфторидная пленка, контроллер, параметры частиц, информативность.

Исследование загрязнения околоземного космического пространства техногенным веществом приобретает в настоящее время всё большую актуальность. Наряду с метеороидными частицами на космический аппарат (КА) негативно воздействуют частицы техногенного происхождения (частицы космического мусора), приводя к ухудшению параметров его элементов и систем [1, 2]. По определению Международного астрономического союза, метеороид – это твердый объект, движущийся в межпланетном пространстве, размером значительно меньше астероида, но значительно больше атома. Под техногенным веществом (техногенными частицами) понимается совокупность каталогизированных и некаталогизированных космических объектов техногенного происхождения, находящихся в околоземном пространстве [3].

Важность данного направления исследований способствует постоянному совершенствованию средств натурной регистрации и определения параметров метеороидных и техногенных частиц в космическом пространстве для обеспечения проведения исследований по дополнению и уточнению модели пространственно-временного распределения плотности их потоков [3].

Первые экспериментальные исследования обстановки околоземного космического пространства на предмет пылевой составляющей проводились еще в конце 50-х, начале 60-х годов прошлого столетия. На высотные геодезические ракеты и искусственные спутники устанавливались пьезоэлектрические датчики. При детальном анализе результатов экспериментов выявилось несовершенство такого метода, обусловленное внутренними шумами чувствительного элемента из-за возникающих вибраций, поэтому полученные результаты были признаны ошибочными [4]. Использование датчиков на основе регистрации световой вспышки при высокоскоростном ударе, пробойных датчиков сеточного типа, пробоя конденсаторного датчика, а также датчиков других типов значительно улучшило качество результатов исследований. В дальнейшем получили развитие люминесцентно-конденсаторные и ионизационные датчики, а также датчики на основе металлических пластин, накапливающих повреждения от твердых частиц в течение заданного времени. С применением датчиков на основе тонкопленочных МДМ-структур (металл – диэлектрик – металл) возросла достоверность получаемых данных. Использование явления эмиссии заряженных частиц при высоко-

скоростном ударе позволило получить информацию не только о физических параметрах частиц, но и об их химическом составе [5]. В последнее время получило развитие направление исследований с применением новых материалов, например легковесного теплозащитного высокотемпературного аэрогеля, способного улавливать в космическом пространстве частицы, движущиеся с относительными скоростями до 7–10 км/с, без их разрушения [6, 7].

Наиболее удачными примерами проектирования, создания и практического применения подобных технических устройств являются приборы «Пума» и «Дусма» [8, 9], использованные при проведении экспериментов в рамках международной космической экспедиции «Вега – Галлей». Принцип работы первого прибора основан на регистрации ионов серебра, образующихся при высокоскоростном соударении частиц с мишенью, изготовленной из чистого серебра. Второй прибор работает по принципу регистрации импульсов тока, сгенерированных частицами при пробитии объемно поляризованной поливинилиденфторидной (ПВДФ) пленки.

Несмотря на полученные результаты, актуальным остается вопрос разработки датчика, обладающего расширенной номенклатурой регистрируемых параметров, точностью их определения и в конечном счете повышенной информативностью.

Основными параметрами, регистрируемыми существующими датчиками, являются количество частиц, прошедших через поверхность чувствительного элемента, и плотность потока. Некоторые типы датчиков могут также определять скорость частиц, однако точность ее определения зачастую остается недостаточной. Как правило, средняя скорость частицы вычисляется через время на преодоление калиброванной мерной базы – фиксированного расстояния (толщины слоя) между двумя детекторами (измерительными плоскостями). Следует заметить, что такие измерения являются приемлемыми только в случае прохождения частицей этих детекторов по нормали. На практике большинство регистрируемых частиц имеют вектор скорости, существенно отличный по направлению от нормали, что приводит к несовпадению мерной базы с фактическими пробегами частиц и неприемлемому снижению точности определения как средней скорости, так и других параметров частицы, вычисляемых с использованием ее значения. Поэтому первоочередной задачей при конструировании подобного датчика видится достижение возможности определения направления движения регистрируемой частицы. Наиболее рациональным способом для этого представляется использование такого устройства датчика, которое позволяет создавать на пути следования частицы два разнесенных детектора и с высокой точностью определять координаты точки (место) попадания частицы в плоскость каждого детектора. По координатам этих точек и будет определяться мерное пролетное расстояние частицы (индивидуально для каждой), а зафиксированный временной интервал между реакцией первого и второго детекторов позволит определить среднюю скорость регистрируемой частицы. Тогда становится безразличным, под каким углом частица пересекает плоскости и первого, и второго детекторов.

Не менее значимой задачей является получение максимально возможного количества информации о регистрируемой частице. Прежде всего речь идет об определении энергии и массы частицы. Решение этой задачи предполагается выполнить путем оснащения детектора дополнительным чувствительным элементом (ЧЭ). Он обеспечит комплексную оценку регистрируемых параметров и повысит информативность датчика.

Вариантом такого технического решения может быть исполнение датчика в форме куба (рис. 1), все грани которого являются составными детекторами, состоящими из внешних и внутренних ЧЭ. Внешние ЧЭ изготовлены из тонкой пленки, на которую нанесено множество ячеек с токопроводящими дорожками, а внутренние ЧЭ – из объемно поляризованной пленки ПВДФ. Размеры куба должны значимо (как минимум, в десятки раз) отличаться от максимального линейного размера ячейки. В данном случае мерная пролетная база определяется для каждой частицы достаточно большим расстоянием между среагировавшими ячейками на любых двух гранях датчика. Это позволяет с высокой точностью определить

направление движения регистрируемой частицы (вектор скорости), а также ее среднюю скорость.

Корпус 1 датчика, выполненный в виде каркаса из композиционного материала, может иметь раскладывающуюся конструкцию, на одной из плоскостей установлено крепление 2 для связи с КА посредством выносной штанги 3 с проходящими по ней гибкими информационными шлейфами 4. На каркас установлены унифицированные рамки с составным детектором 5, которые при необходимости могут заменяться на аналогичные. Внешний и внутренний ЧЭ детектора с помощью разъемов соединены с гибкими информационными шлейфами, передающими информацию к аппаратному блоку (АБ). При этом токоведущие дорожки конструктивно являются составными частями детектора, а контактные разъемы встроены в элементах каркаса. Подобное исполнение датчика позволяет регистрировать параметры частиц, подлетающих к КА в широком диапазоне направлений.

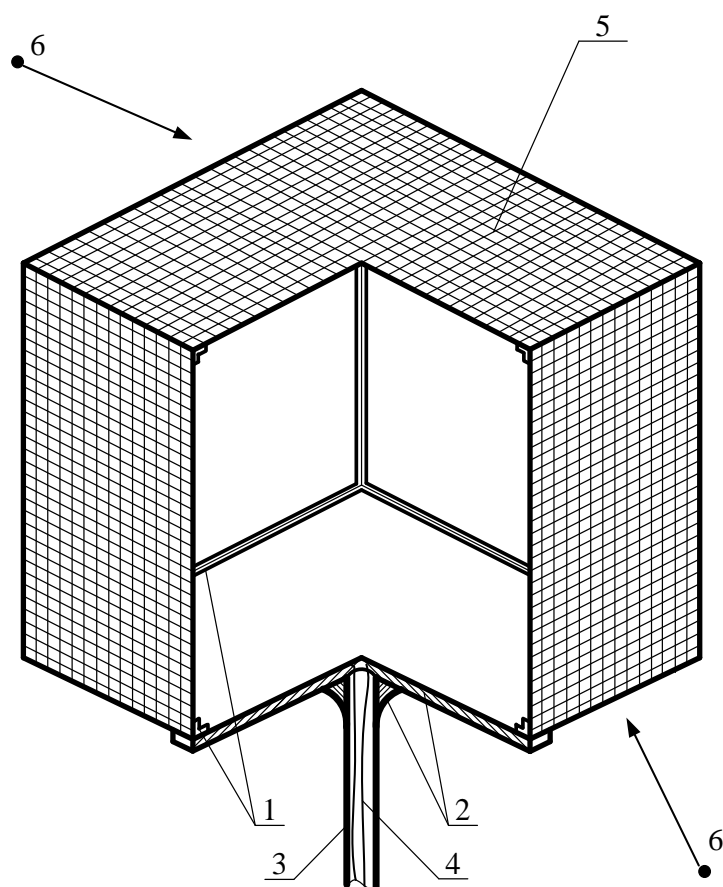


Рис. 1. Датчик для исследования метеороидных и техногенных частиц в космическом пространстве

Внешний ЧЭ датчика представляет собой пленку, выполненную по технологии изготовления многослойных гибких печатных плат. Первой слой содержит множество ячеек с узкими токопроводящими дорожками (ширина дорожки d и промежутка h). На других двух слоях выполнены более широкие токопроводящие дорожки, играющие роль разводки и объединяющие множество ячеек в одну информационную группу (матрицу). Состояние ячеек в информационной группе отслеживается микроконтроллером путем последовательной подачи в соответствующие цепи тестового напряжения и регистрации изменений по признаку целостности опрашиваемых ячеек.

Из множества выпускаемых отечественной промышленностью полимерных пленок [полиэтилентерефталатная (ПЭТФ), политетрафторэтиленовая (ПТФЭ), полиимитнофторопластовая (ПМФ), поликарбонатная, полиимидная (ПИ) и др.] рекомендуется использование полиимидной пленки, сохраняющей свои эксплуатационные свойства при температуре от -200°C до $+300^{\circ}\text{C}$. Полиимиды также имеют дополнительные преимущества, например значение коэффициента расширения, близкое к коэффициенту расширения меди. Для создания токопроводящего рисунка наибольшее предпочтение можно отдать медной фольге, как материалу, обладающему хорошими проводимостью, пластичностью и возможностью нанесения на полиимидную пленку.

Отечественная промышленность применяет фольгированную медью полиимидную пленку для производства гибких печатных плат (ООО «Невская электронная компания», Новосибирский завод печатных плат «Электроконнект», производственный альянс «Контракт электроника» и др.). Ниже приведены отдельные характеристики выпускаемой продукции:

- количество слоев – до 64;
- толщина платы – от 0,1 мм;
- минимальная ширина проводника и зазора – от 0,05 мм;
- толщина медной фольги – от 0,012 мм;
- диапазон рабочих температур – от -200°C до $+300^{\circ}\text{C}$.

Условия гарантированной регистрации факта воздействия частицы размером D на ячейку (при работе токопроводящей дорожки «на разрыв») будет $D = 2d + h$. Таким образом, внешний чувствительный элемент способен регистрировать частицы размером от 0,05 мм, а гарантированно – от 0,15 мм.

Внутренний ЧЭ детектора представляет собой тонкую эластичную поляризованную пленку ПВДФ (характерная толщина – 30 мкм). Производство пленки ПВДФ в настоящее время освоено в Российской Федерации, этот перспективный материал неоднократно применялся при проведении исследований на орбитальной станции «Мир» и других космических аппаратах. Внутренний ЧЭ, кроме того, способен регистрировать частицы и меньших размеров, чем внешний ЧЭ.

Работа датчика осуществляется следующим образом. Частица последовательно пробивает внешний и внутренний ЧЭ одной грани датчика, затем – внутренний и внешний ЧЭ другой грани. При этом АБ, структурная схема которого показана на рис. 2, регистрирует четыре сигнала, привязанных к бортовой шкале времени КА.

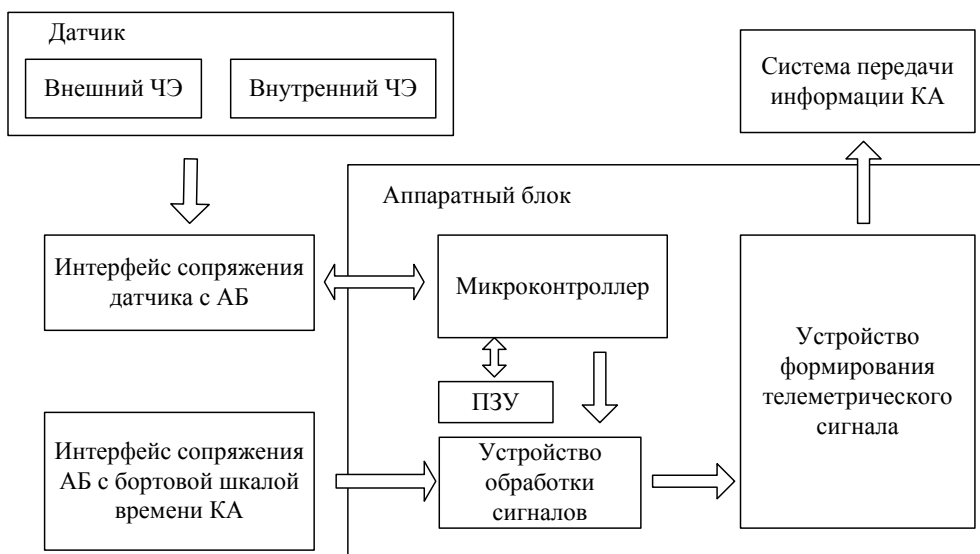


Рис. 2. Структурная схема аппаратного блока

По сигналам с внешних ЧЭ блок обработки сигнала с помощью контроллера выявляет координаты сработавших ячеек, определяет вектор скорости, пролетное расстояние частицы L и интервал времени между зарегистрированными сигналами Δt , рассчитывает среднюю скорость частицы $(w_s)_{cp} = L/\Delta t$.

Сигналы с внутренних ЧЭ поступают в виде импульсов I_s , пропорциональных количеству движения частицы P_s , т. е. $I_s \sim P_s$ [6]. Тогда $(I_s)_{cp} \sim (P_s)_{cp} = m_s * (w_s)_{cp}$. Таким образом определяется масса частицы: $m_s = (P_s)_{cp}/(w_s)_{cp}$. Полученная информация поступает в устройство формирования телеметрического сигнала и через систему передачи информации КА отправляется на Землю.

Отдельно следует рассмотреть работу микроконтроллера, входящего в состав АБ. Основу микроконтроллера составляет универсальный микропроцессор (рис. 3). В режиме функционирования регистрирующей аппаратуры микропроцессор последовательно опрашивает каналы 1, ..., N , соответствующие группе из N ячеек чувствительного элемента ($Я_{11} - Я_{N1}$), выбранной посредством мультиплексора из K линий. В нормальном режиме функционирования на входы каналов микропроцессора подается напряжение, соответствующее логической единице. При пробитии ячейки $Я_{nk}$ ЧЭ на вход n -го канала k -й линии микропроцессора подается напряжение, соответствующее логическому нулю, одновременно осуществляется временная привязка события (Z) в соответствии с бортовой шкалой времени КА. Получаемые данные (Q) передаются в устройство обработки сигнала. Применение такой схемы опроса состояния ячеек ЧЭ позволяет значительно сократить число информационных каналов и, как следствие, массогабаритные характеристики всего устройства.

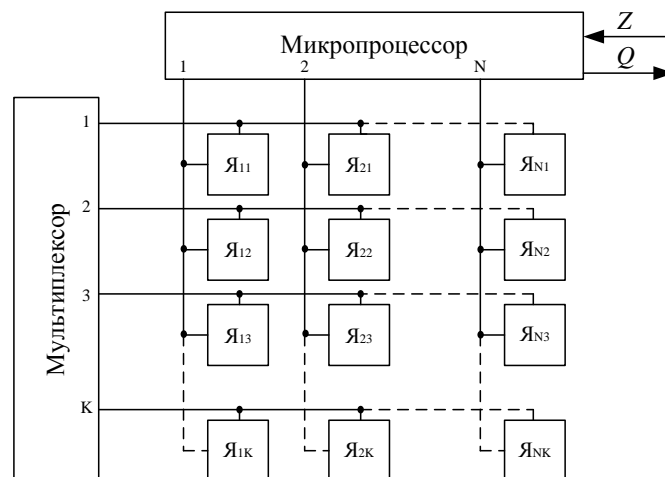


Рис. 3. Схема микроконтроллера для отслеживания состояния ЧЭ

В настоящее время отечественная промышленность выпускает всего несколько типов микропроцессоров и элементов запоминающих устройств, которые удовлетворяют требованиям к элементной базе, прежде всего требованиям повышенной радиационной стойкости, например: многоядерный сигнальный микропроцессор 1892ВМ8Я (МС-24R), однократно программируемое ПЗУ на основе элемента «antifuse» (32Kx8) 1645PT2У и статическое ОЗУ 4 Мбит, (512Kx8) 1657РУ1У.

Необходимо указать, что для получения градуировочных зависимостей датчик должен пройти предварительную экспериментальную отработку на предмет воздействия высокоскоростных частиц на баллистическом стенде. Для охвата полного диапазона пространственной регистрации частиц целесообразно размещение двух датчиков с разных сторон КА. Герметичность внутреннего объема датчика по отношению к внешней среде (космосу) не требуется. Напротив, пролет мерной базы частицей в естественных для нее условиях способствует повышению точности измерений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сформулируем на основе изложенного выше несколько выводов:

1. Предложенное техническое решение устройства датчика для исследования параметров метеороидных и техногенных частиц в космическом пространстве позволяет расширить номенклатуру регистрируемых параметров, точность их определения и в конечном счете повысить информативность.

2. С помощью датчика экспериментально и экспериментально-расчетным методом возможно определять и/или оценивать следующие параметры метеороидных и техногенных частиц:

– счетное число частиц, столкнувшихся с датчиком, с привязкой к параметрам орбиты космического аппарата и его бортовому времени;

– плотность потока частиц;

– направление движения регистрируемых частиц (вектор скорости).

– среднюю скорость частицы $(w_s)_{\text{ср}} = L / \Delta t$;

– количество движения (импульс) частицы P_s ;

– массу частицы $m_s = (P_s)_{\text{ср}} / (w_s)_{\text{ср}}$;

– объем частицы $V_s = m_s / \rho$, где ρ – средняя плотность частицы, о ней можно судить по [3], где для небольших (до 5 мм) каталогизированных космических объектов приводится значение $\rho = 2,5 \dots 2,7 \text{ г/см}^3$.

3. Областью применения вышеописанного датчика могут быть:

– исследования околоземного космического пространства, связанные с дополнением и уточнением модели пространственно-временного распределения плотности потоков метеороидных и техногенных частиц;

– разведывательные экспедиции в районы скопления космических частиц, в том числе находящиеся на существующих или перспективных траекториях космических аппаратов и станций;

– исследования потоков космических частиц в хвосте комет.

4. Дальнейшие исследования по данной тематике должны быть направлены на повышение чувствительности датчика для регистрации более мелких по размеру частиц, оптимизацию работы аппаратного блока по определению пролетной мерной базы.

Список используемых источников

1. Моделирование влияния космического мусора на элементы и системы орбитальных станций и космических аппаратов: научно-техн. сб. / под общ. ред. С.С. Ветелева. – МО РФ, 1997. – 83 с.

2. Проблемы высокоскоростного соударения частиц космического мусора с элементами конструкции орбитальных станций: научно-техн. сб. – МО РФ, 1998. – 112 с.

3. ГОСТ Р 25645.167-2005. Космическая среда (естественная и искусственная). Модель пространственно-временного распределения плотности потоков техногенного вещества в космическом пространстве. – Введен 01.01.06. – М.: Стандартинформ, 2005. – 41 с.

4. Пыль в атмосфере и околоземном космическом пространстве: материалы научных съездов и конференций. – М.: Наука, 1973. – 212 с.

5. Регистрация космической пыли искусственного и естественного происхождения / Н.Д. Сёмкин и др. // Прикладная физика. – 2009. – Вып. № 1. – С. 86–102.

6. Иванов Н.Н., Иванов А.Н. Датчик для пространственной регистрации и измерения параметров частиц в ближнем и дальнем космосе. Экспериментальное исследование характеристик SiO_2 – аэрогеля // Вестник ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина». – 2013. – Вып. № 2. – С. 35–40.

7. Пат. РФ № 457986. Датчик для регистрации и замера параметров метеороидных и техногенных частиц, межзвездной и межпланетной пыли, воздействующих на космический аппарат/ Н.Н. Иванов, А.Н. Иванов. – Оpubл. 12.04.2011. Бюл. № 22.

8. Пылевая оболочка кометы Галлея по данным прибора ПУМА / Р.З. Сагдеев и др. // Космические исследования. – 1987. – Т. XXV, вып. № 6. – С. 840–848.

9. Описание и научные задачи международного проекта Венера – Галлей (1984–1986) / отв. за подготовку издания В.М. Балебанов, Г.А. Скуридин, Э.В. Воронцова. – М.: Международный научно-технический комитет по проекту Венера – Галлея, 1984. – 260 с.

П.А. Грушковский;
В.И. Сеньченков,
доктор техн. наук, профессор

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ

В статье рассматриваются вопросы моделирования систем как объектов диагностирования посредством применения методов обучения. Предложена новая процедура группировки обучающих образов и ранжирования групп, позволяющая ускорить сходимость процесса обучения. Обсуждаются особенности и преимущества обучения с применением ортонормированного тригонометрического базиса.

Ключевые слова: диагностическая модель, контролируемый признак, обучающая выборка, ортонормированный базис, техническое состояние.

ВВЕДЕНИЕ

Получение объективной информации о техническом состоянии системы – важнейшее условие обеспечения ее функциональной пригодности на этапе эксплуатации. Одной из проблем при разработке математических моделей сложных систем как объектов диагностирования (диагностических моделей) является неполнота и неоднородность исходной информации. Это требует применения методов, которые позволяют преодолевать указанные факторы и в целом адекватно отображать свойства исследуемой системы.

В работах [1] и [2] предложен новый подход к преобразованию траекторий выходных процессов систем на основе теории пространств измеримых функций и интеграла Лебега. В результате преобразования каждой траектории формируется числовой вектор $\mathbf{Y}_{\langle n \rangle}$, координаты которого $y_j, j = \overline{1, n}$, однозначно характеризуют ее поведение и поэтому используются в качестве контролируемых признаков. Этот вектор называется наблюдаемым состоянием системы [3]. При наличии некоторой выборки наблюдаемых состояний могут быть получены изображения видов технического состояния системы. Под изображением понимается формальное представление вида технического состояния как составной части диагностической модели. Совокупность изображений всех видов технического состояния составляет основу такой модели.

В настоящей статье развиваются известные подходы [3–5] к формированию изображений видов технического состояния системы на основе методов обучения.

ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАЧИ ОБУЧЕНИЯ

Исходные данные:

– множество всех видов технического состояния системы:

$$Q = \{q_i / i = \overline{1, m}\}; \quad (1)$$

– состав контролируемых признаков, представленный вектором наблюдаемого состояния:

$$\mathbf{Y}_{\langle n \rangle} = (y_1, y_2, \dots, y_n)^T; \quad (2)$$

– обучающая выборка реализаций наблюдаемых состояний:

$$\begin{aligned} \{Y_{<n>k}^1 / k = \overline{1, N_1}\} &\subset Y^1; \\ \{Y_{<n>k}^2 / k = \overline{1, N_2}\} &\subset Y^2; \\ &\dots\dots\dots \\ \{Y_{<n>k}^m / k = \overline{1, N_m}\} &\subset Y^m, \end{aligned} \quad (3)$$

принадлежность которых каждому виду технического состояния системы известна. В выражениях (3) имеют место следующие обозначения: Y^i – подмножество наблюдаемых состояний, принадлежащих i -му виду технического состояния, $i = \overline{1, m}$; N_i – мощность подмножества Y^i . Каждое из подмножеств Y^i с топологической точки зрения представляет собой область в n -мерном евклидовом пространстве Y . Задание аксиоматики евклидова пространства на множестве наблюдаемых состояний позволяет использовать в дальнейшем вычислительные схемы, которые определены в данных пространствах.

На основе исходных данных (1)–(3) требуется построить изображения

$$\mathbf{E}_i = (e_{i1}, e_{i2}, \dots, e_{im})^T, \quad i = \overline{1, m}, \quad (4)$$

которые наиболее точно описывают свойства соответствующих видов технического состояния $q_i, i = \overline{1, m}$. Указанное требование к изображениям представляет собой необходимое условие повышения достоверности распознавания текущего состояния системы.

Поскольку каждый вектор \mathbf{E}_i формируется из элементов $Y_{<n>k}^i, k = \overline{1, N_i}$, евклидова пространства Y , то и множество $E = \{ \mathbf{E}_i | i = \overline{1, m} \}$ также содержится в этом пространстве: $E \subset Y$.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБУЧЕНИЯ

Как уже отмечалось, обучающая выборка (3) в общем случае является неоднородной и ограниченной по объему. Следовательно, для обучения необходимо использовать методологию непараметрической статистики [6], что позволяет обрабатывать неоднородную статистическую информацию малых объемов. В частности, данная задача может быть решена методом стохастической аппроксимации с применением итеративного градиентного поиска.

Данный метод состоит в следующем. Для каждого подмножества Y^i ищется аппроксимация разделяющей гиперповерхности h_i в n -мерном евклидовом пространстве Y . Поскольку неизвестное изображение (4) является опорной точкой подмножества Y^i и может считаться постоянным, h_i представляет собой непрерывную функцию:

$$h_i = h_i(\mathbf{Y}_{<n>}), \quad h_i \in C(Y), \quad (5)$$

где $C(Y)$ – множество непрерывных функций, заданных на Y .

В дальнейшем (5) называется разделяющей функцией. Предполагается, что она обеспечивает максимальную точность при распознавании текущих технических состояний, но является неизвестной. Поэтому необходимо выбрать аппроксимирующие функции $h(\mathbf{E}_i, \mathbf{Y}_{<n>})$, с помощью которых ищется приближение к разделяющей функции. Мера отклонения аппроксимирующих функций от аппроксимируемой определяется как математическое ожидание случайной выпуклой функции \hat{H} от разности $h_i - h(\mathbf{E}_i, \mathbf{Y}_{<n>})$:

$$L(\mathbf{E}_i) = M[\hat{H}(h_i - h(\mathbf{E}_i, \mathbf{Y}_{<n>}))]. \quad (6)$$

Оптимальная аппроксимация соответствует получению такого вектора $\mathbf{E}_i = \mathbf{E}_i^*$, при котором достигается точная нижняя граница функционала (6):

$$L(\mathbf{E}_i^*) = \inf_{\mathbf{E}_i \in Y} \{M[\hat{H}(h_i - h(\mathbf{E}_i, \mathbf{Y}_{\langle n \rangle}))]\}.$$

Функционал (6) невозможно задать в явном виде, так как неизвестно ни распределение функции $\hat{H}(\cdot)$, ни ее числовые характеристики, в частности математическое ожидание. По этой причине искомый вектор \mathbf{E}_i^* может быть получен только на основе отдельных реализаций функционала (6) в процессе использования векторов \mathbf{Y} из обучающей выборки (3).

Процесс обучения значительно упрощается, если применять разложение аппроксимирующей функции по ортогональному или ортонормированному базису

$$G(\mathbf{Y}) = (g_1(\mathbf{Y}), g_2(\mathbf{Y}), \dots, g_n(\mathbf{Y}))^T \quad (7)$$

в соответствии с выражением

$$h(\mathbf{E}_i, \mathbf{Y}) = \mathbf{E}_i^T G(\mathbf{Y}) = \sum_{j=1}^n e_{ij} g_j(\mathbf{Y}). \quad (8)$$

С учетом (7) и (8) функционал (6) принимает следующий вид:

$$L(\mathbf{E}_i) = M[\hat{H}(h_i - \mathbf{E}_i^T G(\mathbf{Y}))]. \quad (9)$$

Далее базис $G(\mathbf{Y})$ называется G -преобразованием вектора \mathbf{Y} .

Так как выражение функционала (9) неизвестно, для поиска его точной нижней границы используются измеренные градиенты реализаций функции $\hat{H}(\cdot)$. Иначе экстремум выражения (9) может быть найден решением градиентного уравнения:

$$\text{grad } L(\mathbf{E}_i) = M[\text{grad } \hat{H}(h_i - \mathbf{E}_i^T G(\mathbf{Y}))] = 0. \quad (10)$$

Здесь $\text{grad } L(\mathbf{E}_i) = \left(\frac{\partial L(\mathbf{E}_i)}{\partial e_{i1}}, \frac{\partial L(\mathbf{E}_i)}{\partial e_{i2}}, \dots, \frac{\partial L(\mathbf{E}_i)}{\partial e_{in}} \right)$;

$\text{grad } \hat{H}(\cdot) = \left(\frac{\partial \hat{H}(\mathbf{E}_i)}{\partial e_{i1}}, \frac{\partial \hat{H}(\mathbf{E}_i)}{\partial e_{i2}}, \dots, \frac{\partial \hat{H}(\mathbf{E}_i)}{\partial e_{in}} \right)$ (где $\frac{\partial(\cdot)}{\partial e_{ij}}$ – частная производная по координате e_{ij}).

Если функционал (9) выпуклый и имеет единственный экстремум, корень уравнения (10) дает оптимальное значение вектора $\mathbf{E}_i = \mathbf{E}_i^*$. Выпуклость и единственность экстремума функционала (9) обеспечивается, если использовать квадратичную меру отклонения аппроксимирующей функции от аппроксимируемой:

$$\hat{H}(\mathbf{E}_i, \mathbf{Y}) = (h_i - \mathbf{E}_i^T G(\mathbf{Y}))^2. \quad (11)$$

Последнее утверждение очевидно, поскольку графически каждая реализация функции (11) представляет собой параболу.

Если в качестве вектор-функции $G(\mathbf{Y})$ выбрать полную систему ортонормированных функций $g_j(\mathbf{Y})$, $j = \overline{1, n}$, то минимизация функционала (9) обеспечивается посредством использования в процессе обучения алгоритма Роббинса – Монро [7]. Данный алгоритм применительно к рассматриваемой задаче представляется в виде рекуррентного соотношения

$$\mathbf{E}_i(k) = \mathbf{E}_i(k-1) - a_k [\mathbf{E}_i(k-1) - G(\mathbf{Y}^i(k))], \quad (12)$$

где a_k – элемент последовательности положительных чисел $k = 1, 2, \dots$, удовлетворяющий следующим условиям:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} a_k = 0, \quad \sum_{k=1}^{\infty} a_k = \infty, \quad \sum_{k=1}^{\infty} a_k^2 < \infty.$$

Наиболее простым вариантом такой последовательности является гармонический ряд

$$\{1/k\} = \{1, 1/2, 1/3, \dots\}, \quad (13)$$

который и используется в дальнейшем.

С учетом (13) рекуррентное соотношение (12) принимает вид

$$\mathbf{E}_i(k) = \mathbf{E}_i(k-1) - \frac{1}{k}[\mathbf{E}_i(k-1) - G(\mathbf{Y}^i(k))], \quad (14)$$

а для каждой координаты e_{ij} вектора \mathbf{E}_i соотношение представляется как

$$e_{ij}(k) = e_{ij}(k-1) - \frac{1}{k}[e_{ij}(k-1) - g_j(\mathbf{Y}^i(k))]. \quad (15)$$

Выражения (14) и (15) позволяют формировать изображение $\mathbf{E}_i(k)$ на последующем шаге через это же изображение $\mathbf{E}_i(k-1)$ на предыдущем шаге и очередной обучающий образ $\mathbf{Y}^i(k)$ из выборки (3). Все алгебраические операции, которые предусмотрены в выражениях (14) и (15), определены аксиоматикой евклидовых пространств.

ПРОЦЕДУРА ГРУППИРОВКИ ОБУЧАЮЩИХ ОБРАЗОВ И РАНЖИРОВАНИЯ ГРУПП

В известных работах не поднимается вопрос о том, каков должен быть порядок использования обучающих образов. Однако опыт разработки диагностического обеспечения сложных технических систем показывает, что указанный фактор в значительной степени определяет скорость сходимости процесса обучения к оптимальному вектору \mathbf{E}_i^* . В связи с этим предлагается процедура группировки обучающих образов и ранжирования полученных групп с целью определения очередности их использования в процессе обучения. Первоначальный вариант данной процедуры приводится в работе [8], ниже излагается ее доработанный вариант.

Пусть Y^i – подмножество обучающих образов, принадлежность которых i -му виду технического состояния системы известна [см. (3)]. В данном подмножестве выделяется группа Y_1^i , которая включает наибольшее количество неразличимых между собой элементов. Один из этих элементов $\mathbf{Y}^i \in Y_1^i$ после G -преобразования принимается в качестве вектора начального приближения: $G(\mathbf{Y}_1^i(0)) = \mathbf{E}_i(0)$. Элементы считаются неразличимыми, если их одноименные координаты отличаются друг от друга на величины, сопоставимые с погрешностями регистрации соответствующих траекторий в контрольных точках системы. Во вторую группу Y_2^i входит не больше неразличимых элементов, чем в первую, и не меньше, чем в остальные. В третьей группе Y_3^i количество неразличимых между собой элементов не больше, чем во второй, и не меньше, чем в остальных. Аналогичным образом формируются все остальные группы.

Если через J обозначить индексное множество обучающих образов ($|J| = N_i$, где $|J|$ – мощность множества J), относящихся к i -му виду технического состояния, то результаты их группировки можно представить следующим образом:

состояния соответственно). Данные значения определяются посредством анализа обучающей выборки (3). Если обучающая выборка представительна, в качестве y_{ij}^H (y_{ij}^B) могут быть приняты минимальные (максимальные) значения j -й координаты из всех обучающих образов для i -го вида технического состояния.

Основная проблема состоит в том, чтобы сформировать полную ортонормированную систему функций $g_j(\mathbf{Y})$, $j = \overline{1, n}$. Данная система представляет собой правую часть выражения (7). В известных работах предлагаются различные варианты таких систем, но не принимаются во внимание тригонометрические базисы. Однако, как показывает анализ, именно такие базисы обладают рядом преимуществ. Ниже рассматривается ортонормированный тригонометрический базис:

$$0,5; \frac{1}{(y_{ij}^B - y_{ij}^H)^{0,5}} \sin\left(\frac{2\pi k}{y_{ij}^B - y_{ij}^H} y_{ij}\right); \frac{1}{(y_{ij}^B - y_{ij}^H)^{0,5}} \cos\left(\frac{2\pi k}{y_{ij}^B - y_{ij}^H} y_{ij}\right), k = 1, 2, \dots, \quad (18)$$

начальные элементы которого являются основой построения системы функций $g_j(\mathbf{Y})$, $j = \overline{1, n}$. В представленных выражениях y_{ij} – текущее значение j -го контролируемого признака в i -м виде технического состояния системы. Такой базис существует в пространстве $C_2(\mathbf{Y})$ непрерывных функций, квадратично интегрируемых по Риману [10].

Каждая из функций $g_r(\mathbf{Y})$, $r = \overline{1, n}$ определяется следующим образом:

$$g_r(\mathbf{Y}) = \begin{cases} \delta_{rj} \frac{1}{(y_{ij}^B - y_{ij}^H)^{0,5}} \sin\left(\frac{2\pi k}{y_{ij}^B - y_{ij}^H} y_{ij}\right), & \text{если } k = 0,5(j+1), \\ r, j = 1(2)n-1, n - \text{четно}; r, j = 1(2)n, n - \text{нечетно}; \\ \delta_{rj} \frac{1}{(y_{ij}^B - y_{ij}^H)^{0,5}} \cos\left(\frac{2\pi k}{y_{ij}^B - y_{ij}^H} y_{ij}\right), & \text{если } k = 0,5j, \\ r, j = 2(2)n, n - \text{четно}; r, j = 2(2)n-1, n - \text{нечетно}, \end{cases} \quad (19)$$

где $\delta_{rj} = \begin{cases} 1, & \text{если } r = j; \\ 0, & \text{если } r \neq j \end{cases}$ – символ Кронекера.

Использование приведенных соотношений и обеспечивает ортонормированность системы $g_j(\mathbf{Y})$, $j = \overline{1, n}$. Ее ортогональность следует из того, что каждая функция $g_j(\mathbf{Y})$ формируется на основе только одного элемента базиса (18). Влияние других элементов исключается введением в соотношения (19) символа Кронекера. Нормированность данной системы непосредственно вытекает из того, что нормированным является базис (18). Совместно с $(n+1)$ -м элементом 0,5 система $g_j(\mathbf{Y})$, $j = \overline{1, n}$, образует в $(n+1)$ -мерном подпространстве, содержащемся в пространстве $C_2(\mathbf{Y})$, полную ортонормированную систему:

$$G_{\langle n+1 \rangle}(\mathbf{Y}_{\langle n \rangle}) = (g_1(\mathbf{Y}), g_2(\mathbf{Y}), \dots, g_n(\mathbf{Y}), 0,5).$$

Полнота данной системы следует из того, что не существует $(n+2)$ -го элемента в $(n+1)$ -мерном подпространстве, который был бы ортогонален первым $(n+1)$ элементам. Так как первый элемент 0,5 базиса (18) не зависит от технического состояния системы, его можно не учитывать. Тогда функция G -преобразования имеет размерность n , как это и представлено в выражении (7). В таком случае система функций $g_j(\mathbf{Y})$, $j = \overline{1, n}$, рассматривается как ортонормированный базис в n -мерном подпространстве, содержащемся в пространстве $C_2(\mathbf{Y})$.

В процессе обучения производится G -преобразование каждого элемента \mathbf{Y}^i из обучающей выборки (3), которые затем используются в рекуррентном соотношении (14). Обучение выполняется до того момента, пока не будут выполняться условия насыщения. Данные условия означают пренебрежимо малое различие между одноименными координатами изображений E_i на предыдущем и последующем шагах обучения:

$$\max_j |e_{ij}(k+1) - e_{ij}(k)| \leq a, \quad i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}. \quad (20)$$

Чем меньше значения коэффициента a в выражении (20), тем точнее изображения описывают свойства соответствующих видов технического состояния системы. Но с другой стороны, эти значения ограничиваются снизу объемом обучающей выборки (3).

В результате обучения на основе соотношений (14), (15) формируются координаты e_{ij} ($i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}$) вектора \mathbf{E}_i^* , по модулю близкие к единице. Тригонометрические функции в базисе (18) ограничивают результат преобразования любых вещественных чисел интервалом $[-1, 1]$. Наличие при этих функциях сомножителей $(y_j^B - y_j^H)^{-0.5}$, модуль которых может быть больше единицы, допускает некоторую размытость значений e_{ij} относительно указанного выше интервала. Но эта размытость незначительна, что является преимуществом тригонометрического базиса по сравнению с другими, например ортонормированным базисом Лежандра, который также содержится в пространстве $\mathbf{C}_2(\mathbf{Y})$. Ограниченность координат e_{ij} значительно упрощает алгоритмическую реализацию процесса обучения, а также вычислительные операции при диагностировании.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие методов математического описания систем как объектов диагностирования представляет собой важнейшую задачу, решение которой необходимо для повышения достоверности определения технического состояния данных объектов. Применение методов обучения является одним из наиболее конструктивных подходов в случае значительной неопределенности априорной информации о системе. При этом обеспечивается адаптивность математического описания, поскольку процесс обучения может быть продолжен при появлении дополнительной информации о системе на этапе применения диагностического обеспечения.

Список используемых источников

1. Сеньченков В.И. Математическое обеспечение контроля технического состояния мехатронных комплексов // Авиакосмическое приборостроение. – 2005. – № 10. – С. 27–32.
2. Сеньченков В.И. Модели, методы и алгоритмы анализа технического состояния. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 377 p.
3. Дмитриев А.К., Мальцев П.А. Основы теории построения и контроля сложных систем. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 192 с.
4. Основы технической диагностики / В.В. Карибский, П.П. Пархоменко, Е.С. Согомоян, В.В. Халчев; под ред. П.П. Пархоменко. – М.: Энергия, 1976. – Кн. 1: Модели объектов, методы и алгоритмы диагноза. – 464 с.
5. Васильев В.И. Распознающие системы: справочник. – Киев: Наукова думка, 1983. – 422 с.
6. Тарасенко Ф.П. Непараметрическая статистика. – Томск: Изд-во ТГУ, 1976. – 229 с.

7. *Ту Дж., Гонсалес Р.* Принципы распознавания образов: пер. с англ. – М.: Мир, 1978. – 411 с.
8. *Сеньченков В.И.* Процедура обучения при разработке моделей контроля технического состояния сложных систем // Известия вузов. Приборостроение. – 2010. – Т. 53, № 1.– С. 3–8.
9. *Цыпкин Я.З.* Адаптация и обучение в автоматических системах. – М.: Наука, 1968. – 251 с.
10. *Колмогоров А.Н., Фомин С.В.* Элементы теории функций и функционального анализа.– М.: Физматлит, 2009. – 571 с.

А.Н. Дьяков

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПОДДЕРЖАНИЯ ГОТОВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ОБСЛУЖИВАНИЕМ ПОСЛЕ ОТКАЗА

Традиционно планирование эксплуатационных мероприятий технологического оборудования ракетно-космических комплексов осуществлялось по наработке либо срокам его эксплуатации (регламентированное техническое). Применение календарной стратегии имеет ряд достоинств, но в то же время сопряжено со значительными эксплуатационными расходами. Снизить эксплуатационные расходы позволяет применение других стратегий обслуживания, таких как обслуживание по фактическому состоянию и фактическому уровню надежности, а также различные сочетания вышеперечисленных стратегий. Для исследования эксплуатационных процессов при регламентированной стратегии обслуживания существует достаточно большое разнообразие моделей, чего нельзя сказать о других стратегиях. В статье предлагается модель, которая предназначена для исследования эксплуатационных процессов технологического оборудования, имеющего стратегию технического обслуживания и ремонта (ТОиР), предполагающую обслуживание после отказа (без планового технического обслуживания).

Ключевые слова: стратегия обслуживания технологического оборудования, система технического обслуживания и ремонта, эксплуатационные затраты, стратегия обслуживания агрегата после отказа.

В развитии теории надежности выделяется два основных направления. Первое связано с разработкой обеспечения и расчета надежности техники, второе, обычно называемое проектированием или синтезом систем по надежности, – с разработкой методов проектирования высоконадежных систем [1].

Математически первое направление определяет решение «прямой» задачи надежности и имеет вид

$$P(t) = \frac{\sup P(t)}{C(\cdot)} \leq C_3, \quad (1)$$

а второе направление определяет решение «обратной» задачи надежности и имеет вид

$$C(\cdot) = \frac{\inf C(\cdot)}{P(t)} \geq P_3. \quad (2)$$

«Обратная» задача надежности характеризуется поиском оптимальных решений в определенных эксплуатационных, технических и экономических условиях [1]. Очевидно, что для решения любой из представленных задач необходимы соответствующие модели, которые позволят установить взаимосвязь параметров, характеризующих эксплуатационные, технические и экономические условия эксплуатации, с показателями надежности и стоимости ресурсов, выделяемых на обеспечение надежности.

Как известно, подавляющее большинство систем и агрегатов из состава технологического оборудования (ТлОб) ракетно-космических комплексов (РКК) имеют регламентированную (календарную) стратегию технического обслуживания и ремонта (ТОиР). В последнее время наблюдается тенденция все более широкого применения при эксплуатации различных сложных технических систем стратегий ТОиР, отличных от регламентированной.

Так, в соответствии с классификацией [2] выделяется «Техническое обслуживание с периодическим контролем технического состояния», которое предусматривает контроль технического состояния (ТС) с установленными в нормативно-технической или эксплуатационной документации периодичностью и объемом, а объем остальных операций определяется ТС изделия в момент начала технического обслуживания (ТО). Для агрегатов, функционирую-

щих непрерывно, для которых выход основных параметров за допустимые пределы проявляет себя немедленно, в [2] предполагается «Техническое обслуживание с непрерывным контролем ТС». В соответствии с требованиями нормативно-технической или эксплуатационной документации объем и момент начала ТО определяется результатами непрерывного контроля ТС. Однако на современном этапе технологического развития представленный перечень стратегий ТОиР представляется неполным.

По мнению советского экономиста В.В. Новожилова, общая тенденция развития техники направлена на повышение прочности и износоустойчивости деталей, применительно к сложным системам, прежде всего наименее долговечных деталей в составе этих систем. Эта тенденция подкрепляется целесообразностью сближения сроков технического износа различных видов деталей и увеличения межремонтных периодов. В отношении сроков службы агрегатов, напротив, прогресс техники направлен на сокращение сроков, так как их снижение уменьшает прирост затрат, обусловленных моральным износом [3]. Эти противоположные тенденции имеют общую основу – принцип наименьших затрат на единицу продукции. Теоретически развитие этих двух тенденций приводит к точке, в которой уравниваются сроки службы всех деталей между собой и со сроком службы системы в целом. Однако, по мнению того же автора, ранее подобное уравнивание считалось невозможным. Но в настоящее время достаточно часто мы видим применение сложных технических систем, обслуживание которых не предусмотрено. Для подобных систем межремонтный период равен сроку службы, а после отказа производится ремонт путем замены.

Для первых трех представленных стратегий ТОиР известно значительное количество моделей, описывающих протекающие в них эксплуатационные процессы [4, 5], чего нельзя сказать о стратегии ТОиР, предусматривающей функционирование агрегата без обслуживания до отказа.

Для моделирования эксплуатационных процессов применения оборудования, не имеющего планового ТО (стратегия обслуживания агрегата после отказа), предлагается модель, граф которой показан на рис. 1.

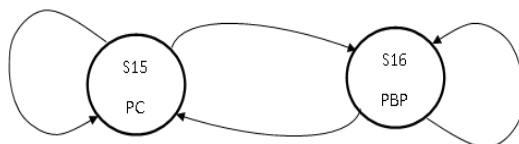


Рис. 1. Граф состояний модели поддержания готовности
ТлОб с обслуживанием после отказа:

S15 – агрегат работоспособен, применяется по назначению;

S16 – агрегат неработоспособен, проводится ремонт

Определим матрицу $Q = \{Q_{ij}(t)\}$ независимых функций распределения времени пребывания системы в i -м состоянии до перехода в j -е состояние. В состоянии $S15$ агрегат работоспособен и применяется по назначению, плановое ТО не предусмотрено. Агрегат применяется по назначению до возникновения неисправности, после которой в случайный момент времени возникновения отказа τ_{15} агрегат переходит в неисправное состояние $S16$, при этом изменение состояния $S15$ при переходе в состояние $S16$ описывается законом [6], который имеет вид

$$Q_{15-16}(t) = 1 - e^{-\lambda_{15}t}, \quad (3)$$

где λ_{15} – интенсивность отказа агрегата.

Переход из состояния $S16$ в состояние $S15$ в процессе ремонта описывается законом Эрланга второго порядка [6], имеющим вид

$$Q_{16-15}(t) = 1 - (1 + \omega_{16}t)e^{-\omega_{16}t}, \quad (4)$$

где ω_{16} – параметр Эрланга.

Переходы между состояниями имеют следующие вероятностные характеристики:

– неисправный агрегат может быть признан требующим проведения ремонта с вероятностью $R1$, что соответствует переходу $S15 - S16$;

– исправный агрегат может быть ошибочно признан требующим проведения ремонта с вероятностью $R2$ (ложный отказ), что соответствует переходу $S15 - S15$;

– на неисправном агрегате проведен ремонт, что соответствует переходу $S16 - S15$ с вероятностью $R3$;

– неисправный агрегат ошибочно не приведен в работоспособное состояние, не может функционировать в состоянии $S15$ (необнаруженный отказ, некачественное устранение неисправности), что соответствует переходу $S16 - S16$ с вероятностью $R4$.

В данной модели вероятность $R2$ также может быть обозначена α – ошибка первого рода. Отказ имеет явный характер, примем $\alpha \equiv 0$, в таком случае при возникновении неисправности переходу из состояния $S15$ в состояние $S16$ соответствует вероятность $R1=1$. Вероятность $R4$ в данной модели может быть обозначена как β – ошибка второго рода и соответствует величине [7]

$$\beta = 1 - R3. \quad (5)$$

Найдем безусловные функции распределения времени пребывания агрегата в состояниях $S15$ и $S16$:

$$F_i(t) = 1 - \prod_{j \in E} [1 - Q_{ij}(t)]; \quad (6)$$

$$F_{15}(t) = 1 - e^{-\lambda_{15}t}; \quad (7)$$

$$F_{16}(t) = 1 - e^{-\omega_{16}t} (1 + \omega_{16}t). \quad (8)$$

Вычислим математические ожидания времени $\bar{t}_{15}, \bar{t}_{16}$ нахождения агрегата в состояниях $S15$ и $S16$:

$$\bar{t}_i = \int_0^{\infty} [1 - F_i(t)] dt; \quad (9)$$

$$\bar{t}_{15} = \int_0^{\infty} [1 - F_{15}(t)] dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda_{15}t} dt; \quad (10)$$

$$\bar{t}_{16} = \int_0^{\infty} [1 - F_{16}(t)] dt = \int_0^{\infty} (1 - (1 - e^{-\omega_{16}t} (1 + \omega_{16}t))) dt = \int_0^{\infty} e^{-\omega_{16}t} dt + \omega_{16} \int_0^{\infty} te^{-\omega_{16}t} dt. \quad (11)$$

После преобразований получены выражения математических ожиданий времени нахождения в состояниях $S15$ и $S16$:

$$\bar{t}_{15} = \frac{1}{\lambda_{15}}; \quad (12)$$

$$\bar{t}_{16} = -\frac{1}{\omega_{16}} e^{-\omega_{16}t} \Big|_0^{\infty} + \omega_{16} \left[\frac{e^{-\omega_{16}t}}{\omega_{16}^2} (-\omega_{16}t) - 1 \right] \Big|_0^{\infty} = \frac{2}{\omega_{16}}. \quad (13)$$

Составим уравнения для определения стационарных вероятностей состояний вложенной Марковской цепи [5]:

$$\begin{cases} \pi_{15} = \pi_{16}P_{S16-S15}; \\ \pi_{16} = \pi_{15}P_{S15-S16} + \pi_{16}P_{S16-S16}. \end{cases} \quad (14)$$

При решении системы уравнений с учетом нормирующего $\sum_{i=15}^{16} \pi_i = 1$ получены выражения стационарных вероятностей:

$$\pi_{15} = \frac{P_{S16-S15}}{1 + P_{S16-S15}} = \frac{1 - \beta}{2 - \beta}; \quad (15)$$

$$\pi_{16} = \frac{1}{1 + P_{S16-S15}} = \frac{1}{2 - \beta}. \quad (16)$$

Определим математическое ожидание времени одного полного перехода:

$$\bar{t} = \sum_{i=15}^{16} \pi_i \bar{t}_i; \quad (17)$$

$$\bar{t} = \frac{1 - \beta}{2 - \beta} \cdot \frac{1}{\lambda_{15}} + \frac{1}{2 - \beta} \cdot \frac{2}{\omega_{16}}. \quad (18)$$

Полученные аналитические зависимости модели представлены в табл. 1.

Таблица 1

Аналитические зависимости модели процесса поддержания готовности

Переменные	S15	S16
$Q_{ij}(t)$	$Q_{15-16}(t) = 1 - e^{-\lambda_{15}t}$	$Q_{16-15}(t) = 1 - (1 + \omega_{16}t)e^{-\omega_{16}t}$
P_{ij}	1	$P_{16-15} = 1 - \beta$
$F_i(t)$	$F_{15}(t) = 1 - e^{-\lambda_{15}t}$	$F_{16}(t) = 1 - e^{-\omega_{16}t}(1 + \omega_{16}t)$
\bar{t}_i	$\bar{t}_{15} = \frac{1}{\lambda_{15}}$	$\bar{t}_{16} = \frac{2}{\omega_{16}}$

Используя зависимости $P_i = \frac{\pi_i \bar{t}_i}{\bar{t}}$, определим вероятности исследуемого полумарковского процесса [5]:

$$P_{15} = \frac{\pi_{15} \bar{t}_{15}}{\bar{t}} = \frac{\frac{1 - \beta}{2 - \beta} \cdot \frac{1}{\lambda_{15}}}{\frac{1}{2 - \beta} \left(\frac{(1 - \beta)}{\lambda_{15}} + \frac{2}{\omega_{16}} \right)}; \quad (19)$$

$$P_{16} = \frac{\pi_{16} \bar{t}_{16}}{\bar{t}} = \frac{\frac{1}{2 - \beta} \cdot \frac{2}{\omega_{16}}}{\frac{1}{2 - \beta} \left(\frac{(1 - \beta)}{\lambda_{15}} + \frac{2}{\omega_{16}} \right)}. \quad (20)$$

После преобразований получены выражения для определения вероятностей состояний:

$$P_{15} = \frac{(1-\beta)\omega_{16}}{\omega_{16}(1-\beta) + 2\lambda_{15}}; \quad (21)$$

$$P_{16} = \frac{2\lambda_{15}}{\omega_{16}(1-\beta) + 2\lambda_{15}}. \quad (22)$$

Значение вероятности P_{15} заставить в произвольный момент времени агрегат в работоспособном состоянии S_{15} для представленной модели характеризует значение коэффициента готовности $K_T = f(\lambda_{15}, \omega_{16}, \beta)$ агрегата. Однако необходимо также рассчитать величину затрат, которые сопряжены с поддержанием полученного показателя готовности.

Средние затраты ресурсов на пребывание системы в i -м состоянии определяются [5] следующим выражением:

$$\bar{C} = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^n \pi_i \left(C_{ii} \bar{t}_i + \sum_{j \in E} p_{ij} C_{ij} \right), \quad (23)$$

где C_{ii} – средние затраты за единицу времени пребывания в i -м состоянии;

C_{ij} – средние затраты, связанные с переходом из i -го состояния в j -е.

Средние затраты за единицу времени пребывания агрегата в i -м состоянии C_{ii} определяются удельной суммой затрат по следующим категориям:

- затраты на персонал эксплуатирующей организации C_L ;
- затраты на расходные материалы C_{RM} ;
- затраты на электроэнергию C_E ;
- затраты на ГСМ, СГ, КРТ C_{RT} ;
- затраты на ЗИП $C_{ЗИП}$;
- затраты на персонал по плану авторского и технического надзора $C_{ЛПП}$.

Для упрощения расчетов допустим $C_{ij} \equiv 0$, затраты пропорциональны времени пребывания в i -м состоянии, получим выражение для расчета величины затрат:

$$\bar{C} = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^{16} C_{ii} \bar{t}_i = \frac{1}{t} (C_{1515} \pi_{15} \bar{t}_{15} + C_{1616} \pi_{16} \bar{t}_{16}). \quad (24)$$

С учетом выражения (17) и системы уравнений (14) получим:

$$\bar{C} = \frac{\pi_{16} (C_{1515} p_{16-15} \bar{t}_{15} + C_{1616} \bar{t}_{16})}{\pi_{16} (p_{16-15} \bar{t}_{15} + \bar{t}_{16})}, \quad (25)$$

где π_{15}, π_{16} – стационарные вероятности состояний;

$\bar{t}_{15}, \bar{t}_{16}$ – математические ожидания длительностей нахождения в состояниях.

После преобразования получим выражение

$$\bar{C} = \frac{C_{1515} \cdot (1-\beta) \cdot \frac{1}{\lambda_{15}} + C_{1616} \cdot \frac{2}{\omega_{16}}}{(1-\beta) \cdot \frac{1}{\lambda_{15}} + \frac{2}{\omega_{16}}}. \quad (26)$$

Таким образом, для определения величины эксплуатационных затрат, необходимых для обеспечения коэффициента готовности, определяемого (21), получена следующая аналитическая зависимость:

$$\bar{C} = f(\lambda_{15}, \omega_{16}, \beta, C_{15}, C_{16}); \quad (27)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для моделирования эксплуатационных процессов агрегатов, имеющих стратегию ТОиР с обслуживанием после отказа, разработана соответствующая модель процесса поддержания готовности ТлОб.

Представленная модель в отличие от известных позволяет установить зависимость параметров системы ТОиР агрегата, характеризующих эксплуатационные, технические и экономические условия эксплуатации, с показателями надежности и стоимости ресурсов, выделяемых на обеспечение надежности для описанной выше стратегии ТОиР, предполагающей обслуживание после отказа.

Сравнение показателей коэффициента готовности и величины затрат, полученных с помощью разработанной модели, и аналогичных показателей для моделей других стратегий ТОиР, представленных в [2], позволяет обосновать выбор рациональной стратегии ТОиР, обеспечивая тем самым практическую значимость представленной модели.

Полученные аналитические зависимости (21) и (26) в сочетании с любым из известных методов оптимизации позволяют решить задачи (1) или (2), тем самым обеспечивая технико-экономическое обоснование показателей надежности либо стоимости ресурсов, выделяемых на обеспечение показателя надежности.

Список используемых источников

1. Обеспечение надежности сложных технических систем: учебник / А.Н. Дорохов, В.А. Керножицкий, А.Н. Миронов, О.Л. Шестопалова. – СПб.: Лань, 2011. – 352 с.
2. ГОСТ 18322-78. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. – М.: Госстандарт, 1978 – 18 с.
3. *Новожилов В.В.* Проблемы измерения затрат и результатов при оптимальном планировании. – М.: Наука, 1972. – 434 с.
4. *Перминов А.Н.* Управление наземной космической инфраструктурой на основе мониторинга ее состояния: монография. – СПб., 2005. – 320 с.
5. *Волков Л.И.* Управление эксплуатацией летательных комплексов: учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1987. – 400 с.
6. *Половко А.М., Гуров С.В.* Основы теории надежности. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 704 с.
7. *Бирюков Г.П., Зброжек Ю.М.* Эксплуатация стартовых комплексов по фактическому состоянию. – М.: Издательство МАТИ им. К.Э. Циолковского, 2000. – 172 с.

Г.А. Коршунов;
Ю.М. Любченко,
кандидат техн. наук, доцент;
Г.Б. Стеганов,
кандидат техн. наук, доцент;
Ю.А. Чудновский,
кандидат техн. наук

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СТАЦИОНАРНОГО ЭЛЕКТРОТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ОГРАНИЧИТЕЛЯ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ С УЧЕТОМ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ТЕПЛОТЫДЕЛЕНИЯ ПО ВЫСОТЕ КОЛОНКИ ВАРИСТОРОВ

В настоящей статье предложено решение задачи взаимосвязанного электрического и теплового моделирования работы ограничителей перенапряжений при импульсных воздействиях. Получены результаты для формирования начальных условий, которые являются основой для двумерной нестационарной тепловой задачи оценивания электротепловых свойств ОПН при воздействии серий импульсов с заданными параметрами.

Ключевые слова: ограничитель напряжения, многослойная структура, нестационарный тепловой режим, сеточная модель, отказоустойчивость.

При решении задач оценивания электрического и теплового режима усовершенствованных конструкций ограничителей перенапряжений (ОПН) на основе металлоксидных варисторов обычно необходимо решить два вопроса – обеспечивается ли требуемое ограничение импульсов перенапряжений с заданными параметрами, и если да, то при каких значениях теплофизических параметров ОПН, включая температуру варисторов в колонке [1].

Для решения задачи взаимосвязанного электрического и теплового моделирования работы ОПН при импульсных воздействиях приходится решать задачи нестационарного нагрева конструктивных элементов ОПН с ненулевыми начальными и разнородными граничными условиями [2]. Известно, что повышение температуры варисторов до 100°C и выше может вызвать разрушение ОПН до завершения серии импульсов перенапряжений [3]. Поэтому для правильного определения нестационарных температурных полей в ОПН в режимах «ограничения» следует знать и начальное стационарное тепловое состояние варисторов ОПН в режиме «ожидания».

Соединенные последовательно в колонке ОПН варисторы имеют некоторые различия в электрофизических параметрах (рабочих напряжениях), достигающие в эксплуатации по различным оценкам от 5 до 25%. Наличие местных термических и электрических повреждений варисторов и других конструктивных элементов ОПН приводит к неравномерности распределения электрического и теплового полей по высоте колонки H , и как следствие к увеличению неравномерности температурных и электрических полей ОПН и к изменениям выделяемой варисторами тепловой мощности по высоте колонки. Кроме того, неравномерное увлажнение и загрязнение поверхностей колонки, особенно при наружной установке, вызывает перераспределение продольных (активных) и поперечных (емкостных) токов утечек, при котором часть варисторов перегружается суммарным током, а часть несколько разгружается в зависимости от расположения зоны изменения поверхностной проводимости изоляционной крышки.

Типовую конструктивную схему ОПН (3-35кВ) поясняет рис. 1. Электрические соединения с защищаемой цепью обеспечивают алюминиевые фланцы 1, 2. В центре расположена колонка варисторов 3, размещенных в стеклопластиковой трубе 4. Наружная часть кон-

струкции – крышка 5, например из силиконовой полимерной резины. На рисунке выделена часть поверхности крышки – область повышенных токов утечек i_y .

Данной конструктивной схеме соответствует электрическая схема замещения ОПН, показанная на рис. 2. Каждый варистор представлен параллельным соединением элементов $R_i C_i$, $i = 1, N$. Продольные и поперечные цепи утечек представлены элементами Δr и ΔC соответственно, в общем случае их значения по высоте колонки также различны. Расчетная схема отражает предельный случай неравномерности токов варисторов, при котором верхний варистор обтекается суммарным током утечки остальных варисторов ОПН (загрязнена вся поверхность ОПН, кроме верхней части). Аналогичная неравномерность токораспределения достигается и в противоположном случае, когда загрязнена верхняя часть крышки (как на рис. 1). Поскольку мощность тепловыделения в варисторах пропорциональна второй степени их активных токов (токов резисторов R_i), максимальная неравномерность тепловыделения по высоте колонки H соответствует величине $\delta(N, R_i, \Delta r, \Delta C) = I_{RN}^2 / I_{R1}^2$. Учитывая, что для ОПН-35 [3] $C' = 407$ Пф/м, а $HC' = \Delta C \times N$, используя параметры ОПН из [3], получим значение неравномерности тепловыделения $\delta \approx 4-5$. Выполненные расчеты, в частности, показывают, что распределение источников объемного тепловыделения по высоте колонки с достаточной точностью описывается приближенным эмпирическим соотношением $q'(z)/q'(0) \approx 1 + (z/H)^x (\delta - 1)$. Для ОПН-35 $x \approx 2,6$.

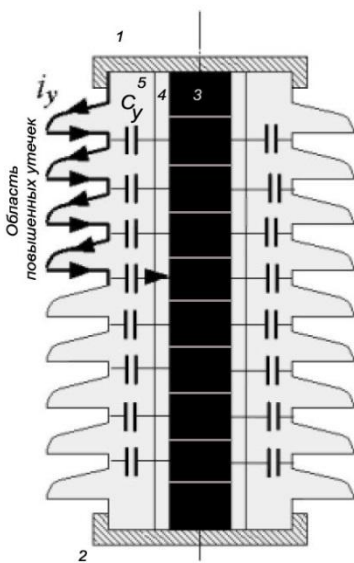


Рис. 1. Устройство ОПН и цепи токов утечек

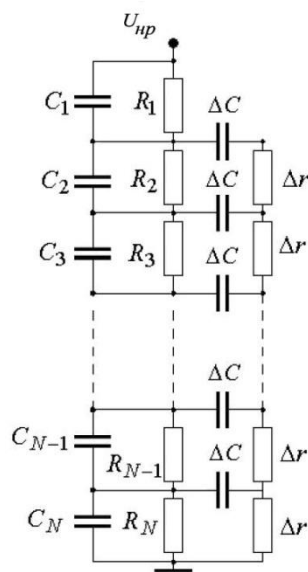


Рис. 2. Расчетная электрическая схема замещения ОПН

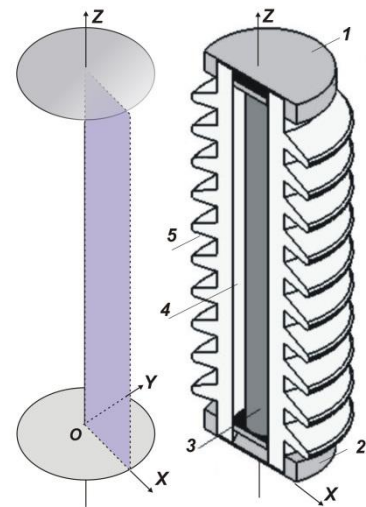


Рис. 3. Осевая симметрия ОПН и рабочая система координат

Заметим, что согласно рис. 3 ОПН является телом вращения вокруг оси z . Это позволяет в первом приближении оценить стационарный тепловой режим ОПН, решая две одномерные задачи стационарной теплопроводности (для $z = 0$ и $z = H$) по методике [2] при равенстве нулю изменений температуры во времени. Выполним решение сеточным методом, ограничиваясь для упрощения четырьмя узлами – 0,1,2,3, как показано на рис. 4. Сеточный метод сочетает простоту реализации с возможностью работы со слоями разнородных материалов, часть из которых согласно схеме, показанной на рис. 2, содержит источники тепла.

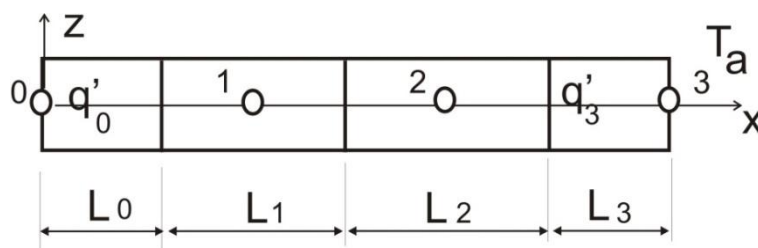


Рис. 4. Сеточная модель многослойной структуры ОПН согласно рис. 1–3

Получим систему линейных уравнений:

$$\begin{cases} -T_0 / R_{01} + T_1 / R_{01} + q'_0 L_0 = 0; \\ T_0 / R_{01} + T_1 / (1 / R_{01} + 1 / R_{21}) + T_2 / R_{21} = 0; \\ T_1 / R_{21} - T_2 / (1 / R_{12} + 1 / R_{23}) + T_3 / R_{23} = 0; \\ T_2 / R_{23} - T_3 / (1 / R_{23} + h_\alpha) + T_a h_\alpha + q'_3 L_3 = 0, \end{cases}$$

где приняты обозначения согласно рис. 4: $R_{01} = L_0 / \lambda_0 + 0,5L_1 / \lambda_1$; $R_{21} = 0,5L_1 / \lambda_1 + 0,5L_2 / \lambda_2$; $R_{23} = 0,5L_2 / \lambda_2 + L_3 / \lambda_3$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные решения данных уравнений с параметрами, приведенными в работах [1, 3], показали, что внутренний радиальный перепад стационарных температур в слоях конструкции ОПН достигает 3–4°C, а неравномерность распределения температур по высоте ОПН при реальных значениях $\delta \approx 4-5$ достигает 4–5°C. Полученные результаты являются основой для формирования начальных условий для двумерной нестационарной тепловой задачи оценивания электротепловых свойств ОПН при воздействии серий импульсов с заданными параметрами.

Список используемых источников

1. Титков В.В., Таджибаев А.И. Особенности теплового режима ограничителей перенапряжений в условиях загрязнения внешней изоляции и возможности его тепловизионной диагностики // Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования / под ред. А.И. Таджибаева. – Вып. 24 – Иваново, 2004.
2. Каргу Д.Л., Власов В.А., Коришунов Г.А. Математическая модель динамики теплового воздействия импульса тока на многослойную структуру ограничителя перенапряжения // Вопросы электромеханики. – 2014. – Т. 138.
3. Агавердиев И.Н., Эйвазо Д.Г., Титков В.В. Особенности теплового режима нелинейных ограничителей перенапряжений в условиях длительной перемежающейся дуги заземления. – URL: <http://gigabaza.ru/doc/80749.html> (дата обращения: 18.11.2015).

А.С. Лебедев;
Е.Л. Лебедев,
доктор техн. наук, доцент;
И.Г. Уханов,
кандидат техн. наук

СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОБРАБОТКЕ ПАРАМЕТРОВ АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫХ СИГНАЛОВ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Рассмотрен подход к обработке параметров акустико-эмиссионных сигналов, основанный на определении энтропии, представляющей собой статистическую меру неопределенности. На примере установленной экспериментальной зависимости энтропии распределения параметров акустико-эмиссионных сигналов от различных режимов работы лазерного оборудования доказана возможность применения предлагаемого подхода для идентификации возникающих дефектов.

Ключевые слова: акустико-эмиссионный метод неразрушающего контроля, параметры сигналов, энтропия, повреждение лакокрасочного покрытия, сигналы.

Лазерные технологии (лазерная сварка, резка, отжиг, локальный нагрев при контроле нагартовки и т. д.) нашли широкое применение при производстве отечественных промышленных объектов. Для контроля процесса воздействия лазера все чаще используют акустико-эмиссионный контроль [1–3]. Известно, что в процессе применения лазерных технологий акустико-эмиссионный контроль позволяет наблюдать за изменением свойств как самого обрабатываемого материала, так и его покрытия. Обычно при оценке состояния материала или какой-либо конструкции оценивают энергетические параметры сигналов или их амплитудно-частотные характеристики. Необходимо отметить, что часто сигналы, пришедшие от заведомо разных источников, имеют близкие значения, однако их количество, в зависимости от напряженно-деформированного состояния объекта контроля, может значительно отличаться. В ряде случаев (недостаток оборудования и аппаратуры) определить дефекты объекта контроля по амплитудному распределению акустико-эмиссионных сигналов достаточно проблематично (рис. 1) [4].

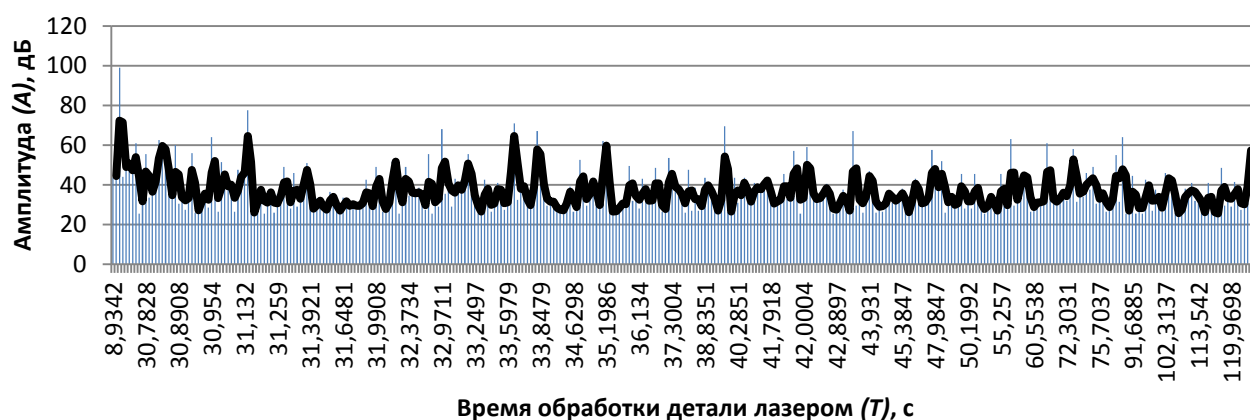


Рис. 1. Гистограмма зависимости амплитуды акустико-эмиссионных сигналов от времени обработки детали лазером

Согласно полученным ранее зависимостям (рис. 2) максимальные значения параметров акустико-эмиссионных сигналов монотонно возрастают при увеличении энергии лазерного излучения. Однако при возникновении дефектов (трещины, отслоение лакокрасочного покрытия и т. д.) на поверхности обрабатываемой лазером детали не наблюдается каких-либо изменений в характере наблюдаемых зависимостей. По представленным данным можно оценить уровень плотности энергии лазера, но определить момент образования дефекта в обрабатываемой лазером детали не представляется возможным. Поэтому для определения момента появления дефектов предлагается использовать статистическую обработку параметров акустико-эмиссионных сигналов.

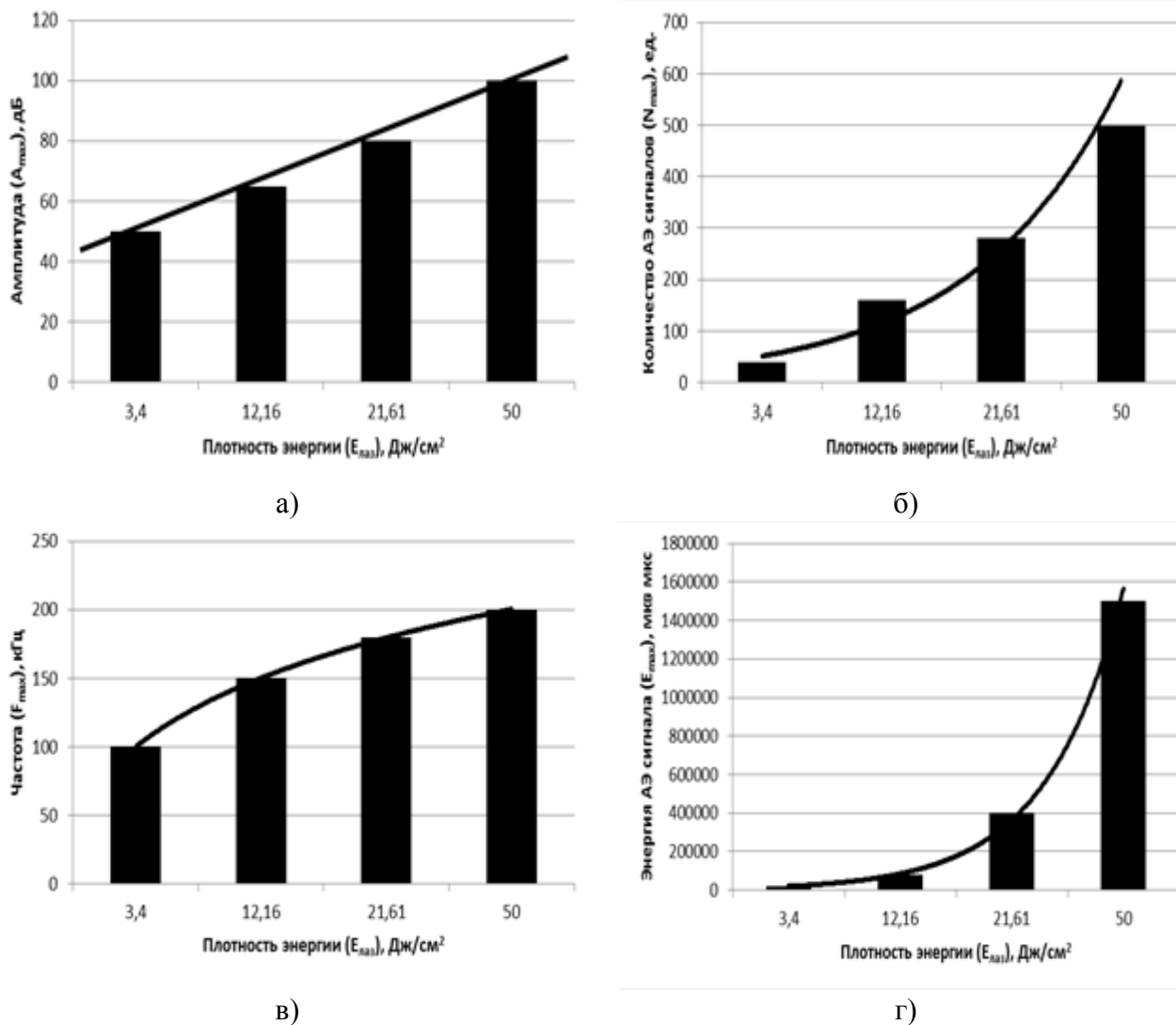


Рис. 2. Гистограммы зависимости параметров акустико-эмиссионных сигналов от различной плотности энергии лазерного излучения

В результате проведения измерений последовательно регистрируются параметры акустико-эмиссионных сигналов, которые содержат в себе неоднозначную информацию о различных процессах, порождающих акустико-эмиссионные сигналы. Для извлечения информации о возникновении новых источников акустико-эмиссионных сигналов (дефектов) предлагается использовать энтропийный подход при статистической обработке данных параметров. Понятие энтропии удобно использовать в качестве критерия при организации оптимального выбора идентификационных признаков [5]. Суть данного подхода заключается в том, что

скачкообразное увеличение энтропии информирует о включении в процесс генерации акустико-эмиссионных сигналов новых источников данных сигналов.

Для каждой выборки зарегистрированных параметров сигналов рассчитывается вероятность ($p(A_i)$ и др.) попадания указанных параметров (амплитуда (A) и др.) в заданный интервал. Согласно предварительным исследованиям для оценивания вероятности попадания амплитуды в заданный интервал последний должен составлять 1 дБ. Плотность распределения вероятности по амплитуде рассчитывается по формуле

$$p(A_i) = \frac{N_i}{N}, \quad (1)$$

где N_i – количество акустико-эмиссионных сигналов с соответствующими параметрами, попавших в i -й интервал амплитуды, частоты;
 N – количество импульсов, зарегистрированных за время обработки детали [6].

Затем рассчитывается H – энтропия амплитудного распределения акустико-эмиссионных сигналов:

$$H = - \sum_{i=1}^n p(A_i) \ln(p(A_i)), \quad (2)$$

где $p(A_i)$ – вероятность попадания амплитуды в интервал 1 дБ;
 n – число интервалов.

Средняя амплитуда как математическое ожидание дискретной случайной величины имеет вид

$$A_{\text{cp}} = \left(\frac{1}{N}\right) \sum_{i=1}^n (A_i N_i), \quad (3)$$

Экспериментальное подтверждение возможности использования вышеописанного подхода по обработке параметров акустико-эмиссионных сигналов было проведено на примере нанесения повреждений на керамическом покрытии металлической пластины, изготовленной из сплава АМг-6. Образец представлял собой пластину размером 100×100 мм с лакокрасочным покрытием. Суть эксперимента заключалась в возбуждении импульсным лазерным излучением акустических волн в пластине и одновременной регистрации акустико-эмиссионных сигналов, порождающихся этими волнами. Длительность импульсного лазерного излучения составляла 10^{-3} с, и оно имело различную плотность энергии. Акустико-эмиссионные сигналы регистрировались с помощью зафиксированных с тыльной стороны пластины пьезоэлектрических датчиков, входящих в состав акустико-эмиссионной аппаратуры «Малахит 12А-С». Плотность энергии в данном случае выбиралась из интервала 6–64 Дж/см². Для генерации акустических волн использовался лазер ГОС 1001. Экспериментальные образцы выбирались таким образом, чтобы в них отсутствовали различные дефекты (коррозионные повреждения, трещины, царапины и риски на поверхности и т. д.), которые могли бы являться источником акустико-эмиссионных сигналов при лазерном воздействии. Это обстоятельство обеспечивало чистоту проведения эксперимента. Таким образом, источниками акустико-эмиссионных сигналов в этом случае могут служить отслоение и растрескивание лакокрасочного покрытия, напряженно-деформированное состояние локально нагретой области при возникновении градиента температур.

В ходе проведения эксперимента по указанным пластинам поочередно осуществлялось воздействие импульсным лазерным излучением с плотностями энергии 6, 13, 23, 37, 53 и 64 Дж/см² соответственно. Для получения каждой экспериментальной точки использовалось не менее пяти пластин. Акустико-эмиссионная аппаратура «Малахит 12А-С» обрабатывала зарегистрированные акустико-эмиссионные сигналы и выдавала информацию о параметрах указанных сигналов. Затем рассчитывалась энтропия амплитудного распределения акустико-эмиссионных сигналов и средняя амплитуда акустико-эмиссионных сигналов для каждой плотности энергии лазерного излучения. Из рис. 3 видно, что при увеличении плотности энергии лазерного излучения от 6 до 13 Дж/см² не наблюдаются повреждения лакокрасочного покрытия пластин. Однако энтропия амплитудного распределения акустико-эмиссионных сигналов возрастает. Это объясняется тем, что увеличивается градиент температур и уровень напряженно-деформированного состояния локально нагретой области пластин.

При увеличении плотности энергии лазерного импульса до 23 Дж/см² наблюдается возникновение дефекта в виде отслоения лакокрасочного покрытия пластин. В этом случае энтропия распределения вероятности амплитуд акустико-эмиссионных сигналов увеличилась скачкообразно. При дальнейшем увеличении плотности энергии лазерного импульса также наблюдается отслоение лакокрасочного покрытия, при этом продолжается монотонный рост указанной энтропии.

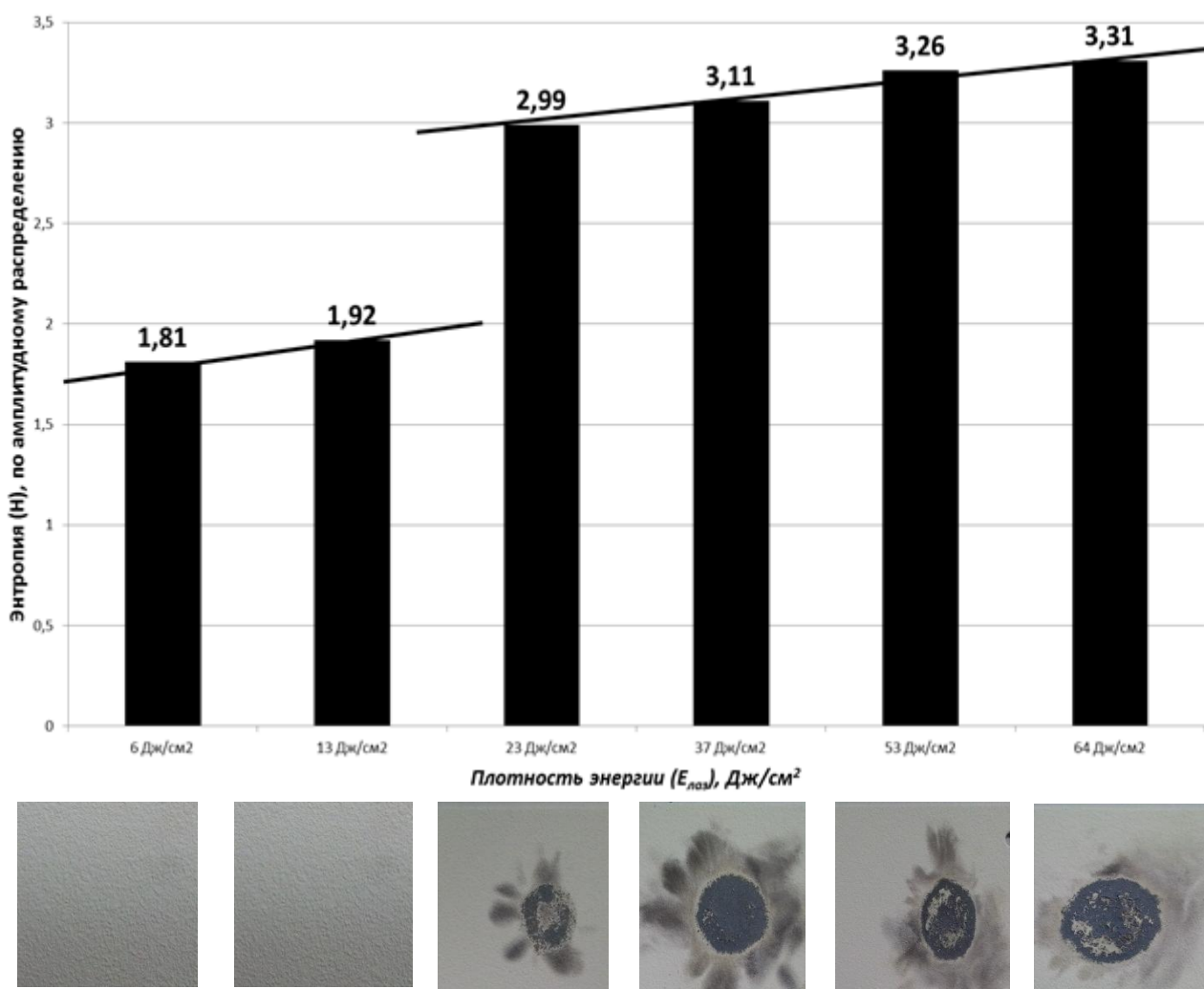


Рис. 3. Гистограмма зависимости энтропии по амплитудному распределению от различной плотности энергии лазерного излучения

Кроме этого, средняя амплитуда при отслоении лакокрасочного покрытия в отличие от [3] не увеличивается, а уменьшается при возникновении дефекта. Данный факт информирует о включении в процесс генерации акустико-эмиссионных сигналов дополнительного источника, которым является растрескивание и отслоение керамического покрытия, оно порождает большое количество акустико-эмиссионных сигналов сравнительно малой амплитуды, что приводит к уменьшению средней амплитуды. В целом при увеличении энергии лазерного излучения средняя амплитуда акустико-эмиссионных сигналов увеличивается (рис. 4).

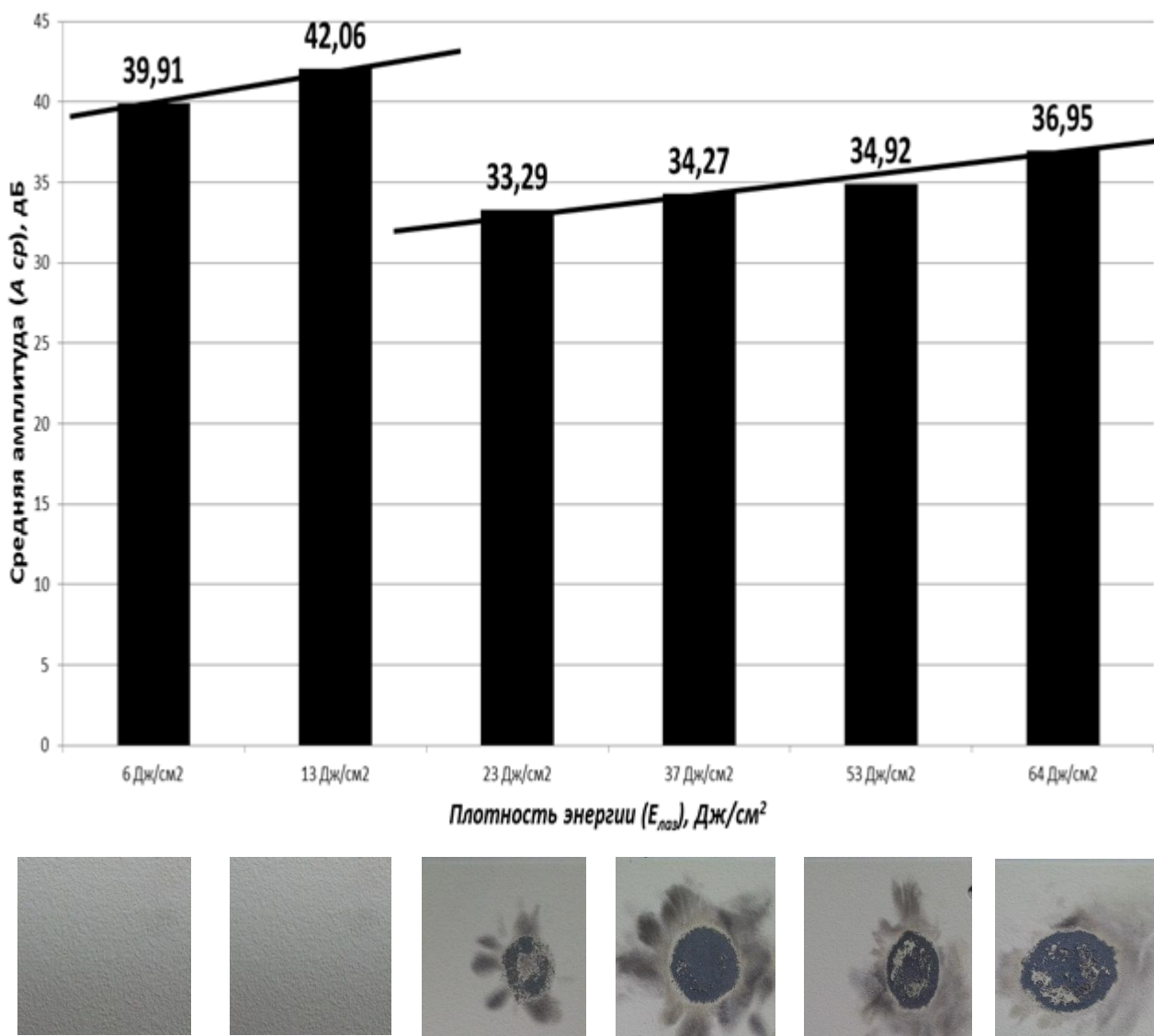


Рис. 4. Гистограмма зависимости средней амплитуды от различной плотности энергии лазерного излучения

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С учетом представленных в статье результатов экспериментальных исследований можно сделать вывод о возможности применения предлагаемого статистического подхода для обработки параметров акустико-эмиссионных сигналов, генерируемых в результате лазерной обработки металлов для идентификации повреждений обрабатываемых деталей. Признаками возникновения дефекта может служить скачкообразное увеличение энтропии распределения

вероятности амплитуд акустико-эмиссионных сигналов и уменьшение среднего значения амплитуд акустико-эмиссионных сигналов. При этом по монотонному возрастанию данных параметров, а также значению амплитуды и энергии сигналов можно судить о плотности энергии лазерного излучения.

Список используемых источников

1. *Иванов В.И., Бигус Г.А., Власов И.Э.* Акустическая эмиссия: учеб. пособие. – М.: Издательский дом «Спектр», 2011. – 192 с.
2. Акустико-эмиссионный контроль авиационных конструкций / А.Н. Серьёзов, Л.Н. Степанова, С.И. Кабанов и др.; под ред. докторов техн. наук Л.Н. Степановой, А.Н. Серьёзова. – М.: Машиностроение, 2008. – 440 с.
3. *Шпорт В. И.* Пластическая деформация и разрушение металлических материалов авиационной техники. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 272 с.
4. Акустико-эмиссионная система диагностики состояния ответственных металлоизделий / В.В. Шип, Г.А. Бигус, Е.Г. Дорохова, И.С. Самойлова // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 1997. – №3 – С. 56–59.
5. *Ту Дж., Гонсалес Р.* Принципы распознавания образов. – М.: Мир, 1978. – 411 с.
6. *Бигус Г.А., Дорохова Е.Г.* Идентификация источника АЭ на основе параметров распределения вероятности амплитуды сигнала АЭ // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 1998. – №3 – С. 25–31.

Н.В. Васильева,
кандидат техн. наук, доцент;
Н.Б. Кунтурова,
доктор педагогических наук, доцент

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ У БУДУЩИХ ВОЕННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ

В статье рассматриваются модель формирования математической компетентности и вопросы использования электронных образовательных ресурсов при формировании математической компетентности у будущих военных специалистов.

Ключевые слова: математическая компетентность, электронные образовательные ресурсы, виртуальный учебник, математические компетенции, военные специалисты.

Профессиональная подготовка высококвалифицированного военного специалиста, обладающего современными профессиональными компетенциями, является актуальной проблемой современного высшего военного профессионального образования.

Одной из составляющих профессиональной компетентности будущего военного специалиста является его математическая компетентность, которая в значительной степени зависит от качества его математической подготовки [1]. Математический склад мышления и владение знаниями математических методов являются неотъемлемой частью профессиональной подготовки военного специалиста. Усиление математической подготовки, усвоение и использование методов математики способствуют достижению значительного прогресса, обеспечивают успешность и эффективность служебной и научной деятельности будущих военных специалистов.

Курс высшей математики, преподаваемый в ВКА имени А.Ф. Можайского, нацелен на формирование у курсантов теоретической базы для усвоения общепрофессиональных и военно-специальных дисциплин, практических умений, способствующих поиску рациональных решений проблемных задач прикладного характера. Фундаментальная математическая подготовка военного специалиста способствует достижению значительного прогресса в решении стоящих перед ним профессиональных задач.

Математическую компетентность курсантов вуза формируют, с одной стороны, высокий уровень знаний, а с другой – опыт самостоятельной деятельности на их основе, при которой у курсантов развиваются навыки самостоятельно делать выводы при решении профессиональных задач, применять систему усвоенных математических знаний, умений и навыков в исследовании математических моделей, оценивать и использовать информацию [1, 2].

Рассматривая математическую компетентность будущего военного специалиста как феномен личности, отражающий ее готовность к изучению дисциплин, требующих математической подготовки, и способность к ответственному применению математических методов в военно-профессиональной деятельности с целью эффективного ее осуществления, можно проанализировать модель (рис. 1) ее формирования.

Поскольку компетентность как качество личности формируется в результате освоения компетенций, то одной из целей обучения будущего военного специалиста является формирование его математических компетенций.

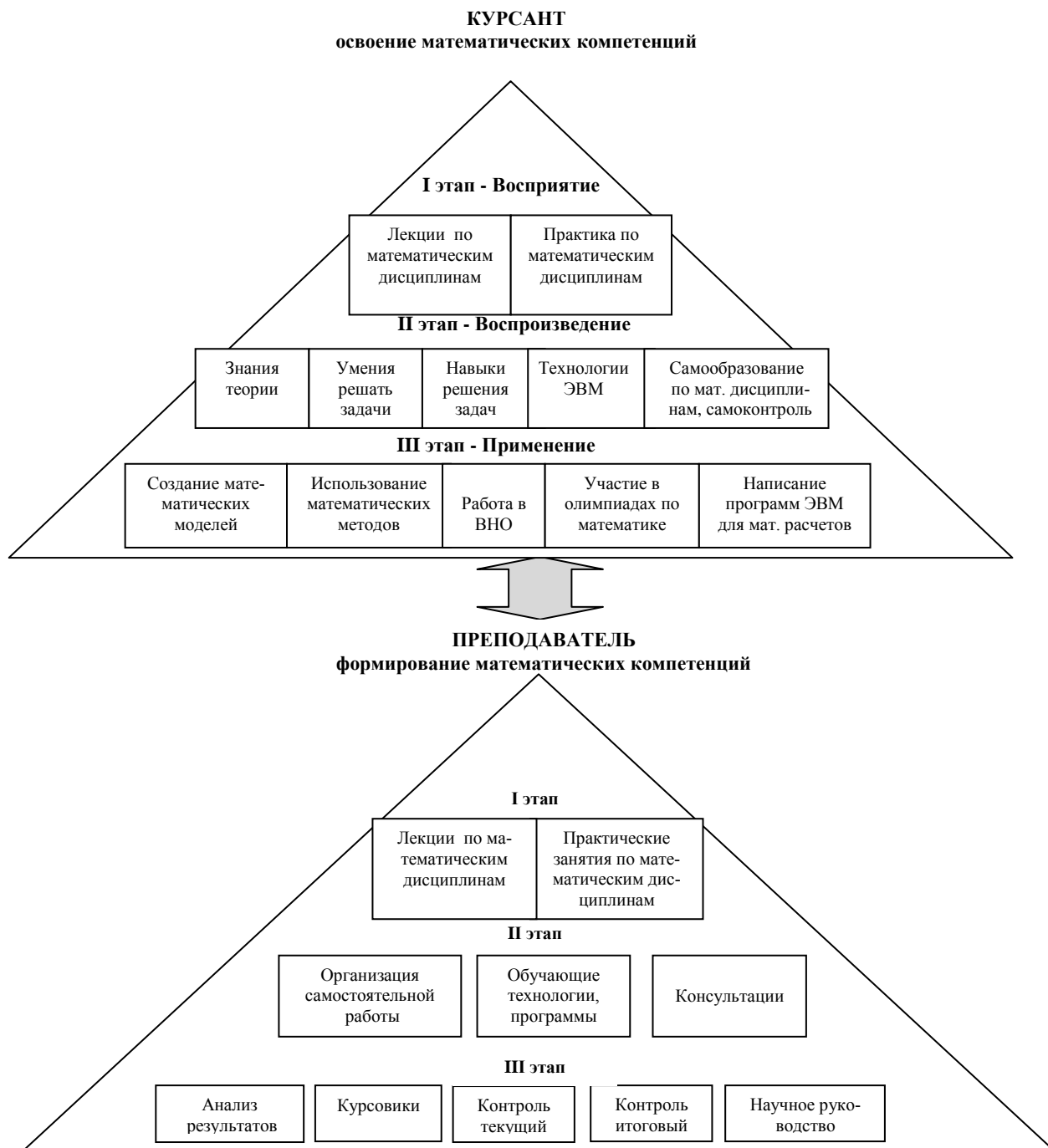


Рис. 1. Модель формирования математической компетентности

Математическая компетентность военного специалиста – это система взаимосвязанных элементов, основу которой составляют содержательные компетенции – готовность военного специалиста к использованию фундаментальных математических знаний, навыков, умений, владение навыками математического моделирования, математико-статистическими, инженерно-математическими методами. Содержательные компетенции проявляются во владении теоретическими и практическими основами математики, в развитии навыков решения различных математических задач [3].

Выделяют также технический и интеллектуальный элементы системы.

Технический элемент системы (использование компьютерной техники и технологий) проявляется в освоении навыков применения специальных статистических и математических

программ при решении военно-профессиональных задач, навыков использования компьютерной техники при обработке математической информации.

Интеллектуальный элемент системы [готовность к проявлению математического (логическое, абстрактное, аналитическое) мышления, владение математическим языком (термины, обозначения и т. п.)] проявляется математической интуицией в профессиональной деятельности.

Технические, интеллектуальные и содержательные элементы входят в состав математической компетенции военного специалиста. В свою очередь, математическая компетентность военного специалиста является компонентом его профессиональной культуры [4]. Повышение уровня математической компетентности военного специалиста увеличивает его конкурентоспособность при первичном распределении, расширяет спектр его профессиональной деятельности и способствует успешному служебному росту.

Качественный отбор содержания математических дисциплин с учетом будущей профессиональной деятельности офицера создает возможность для формирования осмысленного опыта применения им математических знаний и моделирования в контексте его служебной деятельности.

Повышению качества математического образования способствует постоянное развитие математической теории и прогресс компьютерной техники. Эффективность обучения дисциплинам математического цикла возрастает при использовании моделирования, алгоритмизации и электронных образовательных ресурсов. Спрогнозировать все аспекты использования знаний из области математики в служебной деятельности офицеров не представляется возможным, поэтому задача математической подготовки военного специалиста состоит в том, чтобы усилить прикладную направленность обучения, способствовать расширению и углублению знаний по военно-специальным предметам, активизировать совместную творческую деятельность преподавателя и курсантов.

Целенаправленное формирование математических компетенций у курсантов военного вуза в современных условиях требует использования новых подходов и внесения изменений в методическую систему на основе применения современных информационных технологий. Использование электронных образовательных ресурсов дополняет классические средства обучения применением современных интерактивных учебных средств с собственной системой навигации и выбором режимов использования.

Одним из примеров использования в традиционной системе образования электронных ресурсов может служить разработанный на кафедре математики Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского виртуальный учебник по элементарной математике [5]. Учебник выполнен в виде набора web-страниц и включает в себя те разделы (модули) школьного курса математики, которые наиболее широко используются при изучении математических дисциплин в вузе (рис. 2).

Виртуальный учебник содержит элементы дистанционного обучения и предназначен для самостоятельного повторения школьного курса математики курсантами, не обладающими достаточно устойчивыми базовыми знаниями. Использование такого электронного ресурса способствует индивидуальному подходу к обучающимся, пластичности графика их обучения, что положительно сказывается на качестве образования.

Содержание учебника основано на базовом курсе элементарной математики и включает в себя те его разделы, твердое знание которых необходимо в процессе изучения математических дисциплин в высшей школе. К ним относятся:

- техника тождественных преобразований алгебраических, логарифмических и тригонометрических выражений;
- обзор элементарных функций, их свойства и графическое изображение;
- основные методы решения алгебраических, показательных, логарифмических и тригонометрических уравнений и неравенств.

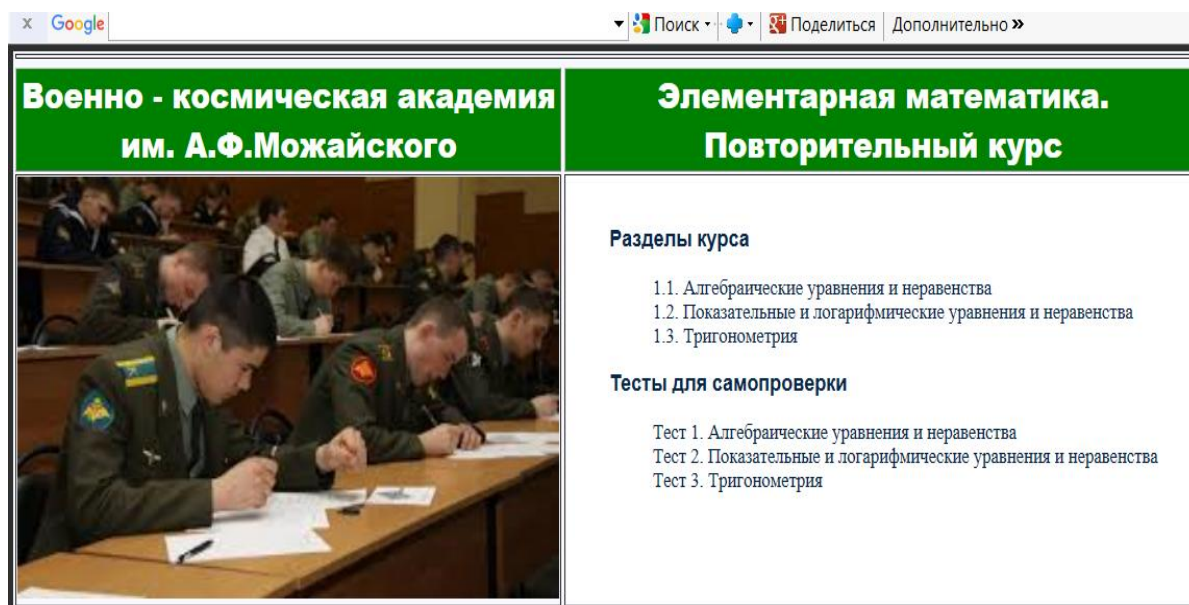


Рис. 2. Начальная страница виртуального учебника

Необходимый теоретический материал по названным выше вопросам в виде определений, теорем и формул подкрепляется большим количеством подробно разобранных задач.

Учебник структурирован так, чтобы избежать необходимости пролистывания большого числа страниц. Объем каждого элемента предлагаемой информации (раздела занятия) размещается на одном экране. Основная, самая важная информация помещена в начале раздела, дополнительная информация появляется в открывающихся окнах, что минимизирует время, необходимое для ориентирования в учебном материале [5].

Совмещая работу в аудитории и использование виртуального учебника, преподаватель повышает качество знаний обучающихся, осуществляет не только отработку алгоритмов решения задач, но и развивает творчество в поиске их решения. Возможность автоматизированного контроля уровня знаний через встроенную систему тестирования – важная составляющая виртуального учебника, позволяющая преподавателю осуществлять корректировку и анализ усвоения повторяемого материала.

Электронные образовательные ресурсы можно рассматривать и как предметно-ориентированную интерактивную среду, и как метод организации и поддержки учебного процесса.

Процесс формирования математической компетентности у будущих военных специалистов организуется при целенаправленной деятельности преподавателя и курсанта, а внедрение новых методов обучения, использующих электронные образовательные ресурсы, дополняет классические и способствует разрешению противоречия между возрастающими требованиями к качеству образования и сокращением учебного времени.

Список используемых источников

1. 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. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2014.– Вып. 642. – С. 210–215.

2. 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.

3. Кунтурова Н.Б. Актуальные проблемы математической подготовки военных специалистов // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2012. – Вып. 635.– С. 94–97

4. Плахова В.Г. Математическая компетенция как основа формирования у будущих инженеров профессиональной компетентности// Известия РГПУ. Аспирантские тетради.– 2008. – №38. – С. 131–136.

5. Васильева Н.В., Кунтурова Н.Б. Аспекты дистанционного образования в учебном процессе вуза при обучении дисциплинам математического цикла//Приоритетные научные направления: от теории к практике. – Новосибирск. – 2015. – № 19. – С. 26–32.

М.Ю. Касавцев,
кандидат техн. наук;
Е.А. Михайлова;
Н.В. Селихина,
кандидат военных наук

УЧЕТ ВОЗРАСТНЫХ И ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗВИТИЯ ЛИЧНОСТИ КУРСАНТА В СИСТЕМЕ ОБУЧЕНИЯ И ВОСПИТАНИЯ ВОЕННО- УЧЕБНОГО ЗАВЕДЕНИЯ

В статье рассмотрены вопросы диагностики особенностей развития личности курсантов высших военных учебных заведений, которые могут быть использованы в профессиональной деятельности военных преподавателей, в целях совершенствования системы воинского обучения и воспитания в военном вузе.

Ключевые слова: военно-педагогический процесс, педагогическая диагностика, возрастные и психологические особенности развития личности курсанта.

Развитие науки, техники, военного дела, изменения в качественном и количественном составе Вооруженных сил требуют от офицерского состава постоянной работы по совершенствованию военно-педагогического процесса [1]. Очевидно, что преподаватель высшего военно-учебного заведения должен обладать способностями организатора, оратора, аналитика, психолога, должен владеть строгой логикой педагогического процесса и воспитания, литературной устной и письменной речью, должен иметь широкий кругозор в других областях знаний и быть высококомпетентным специалистом в своей области.

Цель статьи – сформулировать приемы диагностики личности курсанта, которые будут использованы преподавателями и командирами для повышения успешности курсантов в военном вузе по основным видам деятельности вуза.

Военный преподаватель (равно как и командир подразделения курсантов) должен понимать психологические процессы, происходящие в учебной группе, и уметь управлять ими. Он должен уметь правильно провести распознавание индивидуальных и групповых особенностей участников педагогического процесса – выполнить педагогическую диагностику одного из основных этапов военно-педагогического процесса [1]. Это может дать правильный прогноз, поможет осуществить эффективные практические действия, которые могут стать основой для успешного выполнения задач учебного процесса.

Столяренко Л.Д. выделяет ряд особенностей обучения в высшем военном учебном заведении, к которым в первую очередь относится осуществление учебной деятельности в условиях адаптации учащихся к военно-профессиональной деятельности, что значительно увеличивает общую нагрузку [2]. Ни в одном из гражданских высших учебных заведений обучение не влечет за собой столь существенного изменения прежнего жизненного стереотипа. Всё это позволяет охарактеризовать учебную деятельность курсантов как умственную деятельность, сопровождающуюся нервным и эмоциональным напряжением, требующую значительных адаптационных усилий.

Военному преподавателю необходимо скорректировать направление своей деятельности так, чтобы создать условия для саморазвития обучающихся, их самовоспитания и самореализации, что невозможно сделать без учета особенностей развития личности обучающегося высшего военно-учебного заведения. Рассмотрим ниже возрастные и психологические особенности развития личности курсанта.

Хухлаева О.В. в своей работе нижней границей молодежного периода считает 16-17 лет, когда приобретает первичная социализация, верхним пределом ею указан возраст 24-25 лет, на который приходится завершение социализации, т. е. усвоение профессиональных, семейных, культурных функций [3]. Понятно, что готовность к выполнению данных функций будет зависеть от конкретных общественно-исторических условий, а следовательно, возрастные границы могут колебаться. Кроме того, следует учитывать, что физическое и социальное созревание у разных людей происходит неравномерно, поэтому можно говорить лишь об условном установлении хронологических границ юности. Так, желания и стремления развиваются ранее, чем воля и сила характера. В условиях перехода к зрелости юноши не всегда способны подавить некоторые чрезмерные и лишние устремления и желания. Именно поэтому психический склад людей юношеского возраста не только сложен, но порой и противоречив. Крайний эгоизм и самопожертвование идут рука об руку, и кажется иногда, что только та или иная ситуация определяет, какое из этих качеств окажется сильнее. Для юношеского возраста характерен большой оптимизм, вера в собственные силы, чуткое и доброе отношение к людям, искренность, непосредственность, задушевность, чувство товарищества и др. Эти особенности позволяют преподавателям и командирам формировать у курсантов благородные качества личности и использовать их силу, энергию в повседневной деятельности вуза.

Петрова М.Ю. отмечает, что ведущим психологическим свойством личности курсанта, является военно-профессиональная направленность, представляющая собой систему внутренних побуждений и жизненных целей [4]. На занятиях интерес к военной профессии у курсантов формируется путем возбуждения у них положительного эмоционального состояния с постепенным превращением его в устойчивое психологическое образование, а затем в склонность к конкретной воинской специальности (топографа, метролога, радиоинженера и так далее). Основными целями развития военно-профессиональных интересов у курсантов являются:

- осознание важности изучаемого предмета, своей военной специальности, перспектив ее развития;
- формирование эмоционально положительного отношения к изучаемой специальности;
- умение действовать самостоятельно, решать определенные учебные задачи, на практике применять приобретаемые знания, навыки и умения;
- обеспечение положительных результатов в учебной деятельности курсантов, что вызывает у них удовлетворенность своей учебой (консультации, факультативные занятия со слабоуспевающими курсантами);
- постановка перед каждым курсантом в ходе учебы более сложных задач, требующих самостоятельности и активности на занятиях.

Успешное развитие военно-профессиональных интересов у курсанта приводит к формированию военно-профессиональной направленности личности курсанта – разновидности направленности личности военнослужащего, предопределяющей его отношение к воинскому долгу, своим служебным обязанностям, избранной профессии. Одним из факторов, оказывающим влияние на устойчивость военно-профессиональной направленности курсантов, является уставная организация службы, соблюдение воинских ритуалов, личный пример преподавателей и командиров (как преподавателя общевойсковых дисциплин). Принятие военной присяги, вынос знамени вуза, прохождение торжественным маршем вызывают у курсантов положительные эмоциональные переживания, что способствует упрочению интереса к воинской службе, стремлению к овладению военной профессией. При этом в повседневной жизнедеятельности, в процессе выполнения уставных требований, распорядка дня курсант встречается с определенными трудностями, которые могут вызвать отрицательные переживания. Поэтому командирам следует систематически разъяснять курсантам первого курса, находящимся на этапе адаптации, смысл и значение воинского порядка в подразделении, ра-

зумности и целесообразности требований общевоинских уставов, воплотивших в себе многолетний опыт нашей армии и флота.

Курсанты второго курса уже обладают определенным опытом учебы и службы, ими уже приобретены необходимые навыки и умения. Это является благоприятными предпосылками для совершенствования процесса формирования у них мировоззрения и нравственных качеств. Многие второкурсники включаются в военно-научную работу, активно тренируются в спортивных секциях, принимают участие в работе художественной самодеятельности и т. п.

На третьем курсе обучения курсанты в решении всех своих вопросов стараются проявлять большую самостоятельность. Однако процесс профессионального становления у некоторых идет замедленно.

Четвертый курс, наоборот, характеризуется тем, что в этот период происходит формирование курсантов в профессиональном отношении.

При работе с выпускниками необходимо учитывать их возросший интерес, связанный с будущей профессией, что поможет им завершить прохождение пути профессионального становления курсанта.

В своей работе Мелетичев В.В. раскрывает содержание деятельности преподавателя [5], автор рассматривает множество подходов ведущих педагогов и психологов к сущности и структуре профессиональной деятельности военного преподавателя. Эти подходы не противоречат, а дополняют друг друга. Однако они не в полной мере отражают содержание профессионально-педагогической деятельности преподавателя военного вуза. Для повышения эффективности решения задач, стоящих перед военным преподавателем, необходимо умелое применение комплекса приемов диагностики личности курсанта (ПДЛК). Перечень ПДЛК и достигаемые цели приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика приемов диагностики личности курсанта

ПДЛК	Цель
1. Изучение и анализ документов курсантов (служебные карточки, переводные характеристики с курса на курс, списки успеваемости (средний балл), журнал учебных занятий, списки допущенных к несению караульной службы, списки военнослужащих, находящихся под динамическим наблюдением, списки военнослужащих, требующих повышенного психолого-педагогического контроля, и т. п.)	Оценить уровень адаптации и мотивации курсанта
2. Наблюдение в процессе учебных занятий или вне их (в ходе службы в наряде, в повседневной деятельности, во время спортивных мероприятий)	Получить информацию об уровне личной ответственности курсанта во время выполнения поставленных задач, о его положении в учебной группе, волевых качествах и т. д.
3. Личные беседы с курсантом (командир группы, начальник курса, преподаватель и др.)	Получить информацию о личности курсанта [вербальную, невербальную (мимика, жесты, тон речи, положение рук, наклон тела и т. п.)]
4. Обобщение независимых отзывов о конкретном курсанте (отзывы от командиров, сержантов, преподавателей, тренеров, товарищей)	Получить информацию о межличностных и личностно-групповых отношениях курсанта
5. Взаимодействие с психологом высшего военно-учебного заведения	Получить дополнительную информацию и рекомендации преподавателю и командиру по взаимодействию с конкретным курсантом

Обобщив результаты диагностики личности курсанта, можно получить достоверное представление о его взаимоотношениях в учебной группе, отношении к учебе, к несению службы в карауле (суточном наряде), дисциплинированности, творческих способностях, склонности к научной и исследовательской работе, что даст представление о соответствии (несоответствии) психологического и биологического возрастов курсанта. Опираясь на результаты диагностики личности, имея представление о психологических и возрастных особенностях курсанта, преподаватель сможет: сформулировать и осуществить эффективные практические действия для успешного выполнения задач учебного процесса; воздействовать на микросреду в учебной группе, влияние которой на качество образования рассмотрено в статье Н.Б. Кунтуровой [6].

Результаты, полученные с помощью ПДЛК, учитывались при разработке методов и методик учебного и воспитательного процессов (ММСУВП), которые применялись в военном вузе для своевременной коррекции процесса обучения и воспитания курсантов. Вот некоторые из них:

– методы: рейтинга; публичного поощрения успешных курсантов; личного примера командира и т.п.;

– методики: распределения поощрительного премирования за год; распределения выпускников; подбора личного состава в состав суточного наряда; оперативного реагирования на поведение и состояние курсанта в ходе несения службы; проведения общего собрания курса; работы совета комнаты досуга и актива подразделения; нештатных должностей и т. п.

Указанные выше методы и методики были применены в деятельности преподавателей и командиров 1-го факультета (набор 2002 года) Санкт-Петербургского Высшего военного училища радиоэлектроники [СПВУРЭ (ВИ)] в период с 2004 по 2007 год. По окончании обучения в вузе успешность в основных видах деятельности (учебная и научная деятельность, несение службы в наряде, воинская дисциплина, спортивная работа, безопасность военной службы) по сравнению с курсами того же года набора повысилась на 22 % по сравнению со 2-м факультетом и на 55 % по сравнению с 3-м факультетом (гистограммы на рис. 1).

Затем в течение девяти лет в рамках лонгитюдного исследования постоянной группы, состоящей из 74 выпускников 2007 года со всех факультетов, авторами проводился анализ отзывов из войск, результатов анкетирования в войсках (при проведении войсковой стажировки курсантами), личных встреч с выпускниками, общения посредством телефона и интернета, почтовой переписки и т. п. В 2016 году по результатам исследования были получены оценки успешности профессиональной деятельности офицеров, которые представлены на рис. 2 (оценены по пятибалльной шкале – высокая, хорошая, средняя, удовлетворительная, неудовлетворительная). Приведены условные оценки, поскольку рамки статьи не позволяют оперировать служебной информацией.

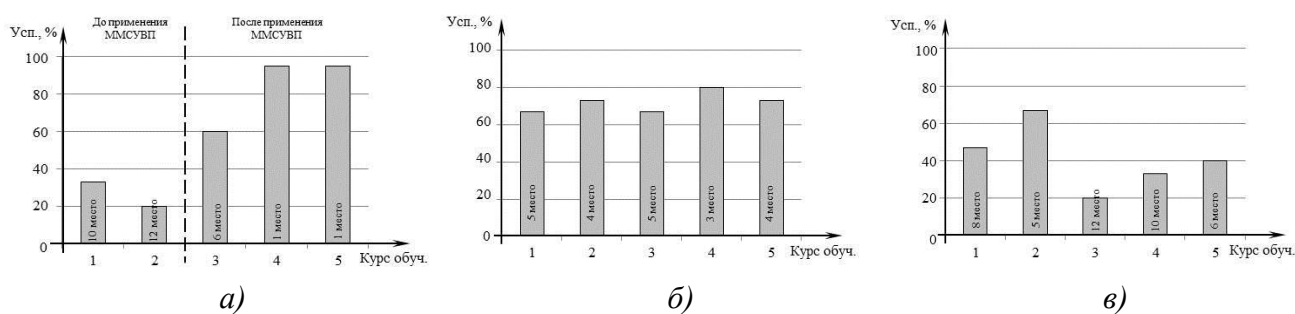


Рис. 1 Гистограмма соотношения успешности курсантов:
а – 1-го факультета; б – 2-го факультета; в – 3-го факультета

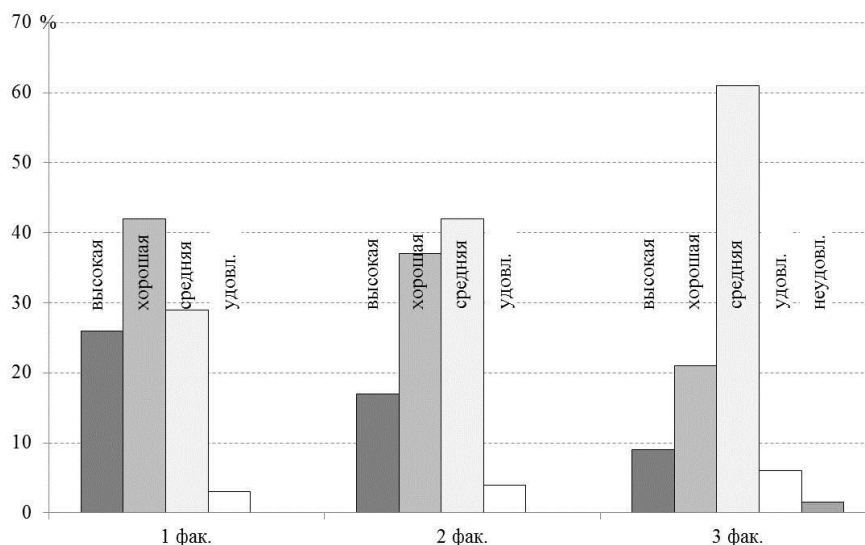


Рис. 2. Гистограмма успешности офицеров-выпускников 2007 года выпуска

Таким образом, общая тенденция успешности в профессиональной деятельности, которая наблюдалась в течение всего периода обучения курсантов, осталась характерной и в настоящее время, но уже для офицеров. Что позволяет сделать следующий вывод: учет особенностей развития личности курсанта в профессиональной деятельности преподавателя военного вуза (командира курсантского подразделения) дает пролонгированный положительный эффект в формировании успешных в профессиональном плане офицеров.

Список используемых источников

1. Военная педагогика / под ред. О.Ю. Ефремова. – СПб.: Питер, 2008. – 890 с.
2. Столяренко Л.Д. Педагогическая психология. – Ростов н/Д.: Феникс, 2000. – 544 с.
3. Хухлаева О.В. Психология развития: молодость, зрелость, старость. – М.: Академия, 2002. – 208 с.
4. Петрова М.Ю. Социально-психологические особенности развития военно-психологической направленности курсантов: диссертация на соискание ученой степени кандидата психологических наук. – М., 2007. – 223 с.
5. Мелетичев В.В. Мотивация профессионально-педагогической деятельности преподавателей военных вузов: монография. – СПб.: СПВВУРЭ (ВИ), 2005. – 133 с.
6. Кунтурова Н.Б. К вопросу о влиянии микросреды на качество образования // Качество. Инновации. Образование. – 2003. – № 3. – С. 6–8.

И.В. Плетенчук;
А.Е. Привалов,
кандидат техн. наук;
Р.М. Тюрин

ДЕЛОВАЯ ИГРА «УПРАВЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ ВООРУЖЕНИЯ, ВОЕННОЙ И СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ»

В статье изложена структура и порядок проведения деловой игры «Управление эксплуатацией вооружения, военной и специальной техники». Раскрывается место и роль деловой игры в формировании управленческой компетентности выпускника. Предлагается облик имитационной модели процесса управления.

Ключевые слова: деловая игра, управленческая компетентность, эксплуатация вооружения, военной и специальной техники.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее важных качеств выпускника по специальности «Специальные организационно-технические системы» является управленческая компетентность, под которой понимается свойство личности, определяющее успешность выполнения задач управления специальными организационно-техническими системами. Управленческая компетентность выпускника определяется формированием у него ряда профессиональных компетенций, связанных со способностями выполнять отдельные функции управления, к которым относятся [1]:

- способность организовывать работу коллектива исполнителей, определять порядок выполнения работ, контролировать их выполнение, принимать управленческие решения и управлять коллективом (ПК-23);
- способность разрабатывать организационно-техническую документацию (графики работ, инструкции, планы, сметы) и документы установленной отчетности по утвержденным формам (ПК-24);
- способность управлять специальными организационно-техническими системами, организовывать контроль за их эксплуатацией (ПК-25);
- способность организовывать мероприятия по повышению эффективности применения специальных организационно-технических систем в сфере профессиональной деятельности (ПК-27).

Формирование перечисленных компетенций заключается в приобретении обучающимися комплекса знаний, умений и навыков, а также способности применять их для решения задач управления специальными организационно-техническими системами (ОТС). Методы формирования *знаний, умений и навыков* для предметной области управления специальными ОТС достаточно отработаны и подкреплены опытом проведения занятий по дисциплинам «Теория управления ОТС», «Технологии разработки управленческих решений» и рядом других, в то время как формирование *способности* применять полученные знания является новой и актуальной задачей.

ПРИМЕНЕНИЕ ДЕЛОВЫХ ИГР ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ

Сущность управленческой деятельности выпускника заключается в целенаправленном воздействии на объект управления для достижения его целевого состояния. Следовательно,

необходимым условием применения полученных знаний, умений и навыков в области управления является наличие в процессе обучения системы управления ОТС. Элементами данной системы (рис. 1) являются субъект управления, в роли которого выступает обучающийся, и объект управления – учебная или реальная ОТС. В процессе обучения субъект управления на основе приобретенных знаний, умений и навыков осуществляет управляющее воздействие на объект управления. Контроль состояния объекта управления осуществляется как обучающимся – субъектом управления, так и преподавателем, который на основе текущего состояния объекта управления корректирует действия обучающегося.

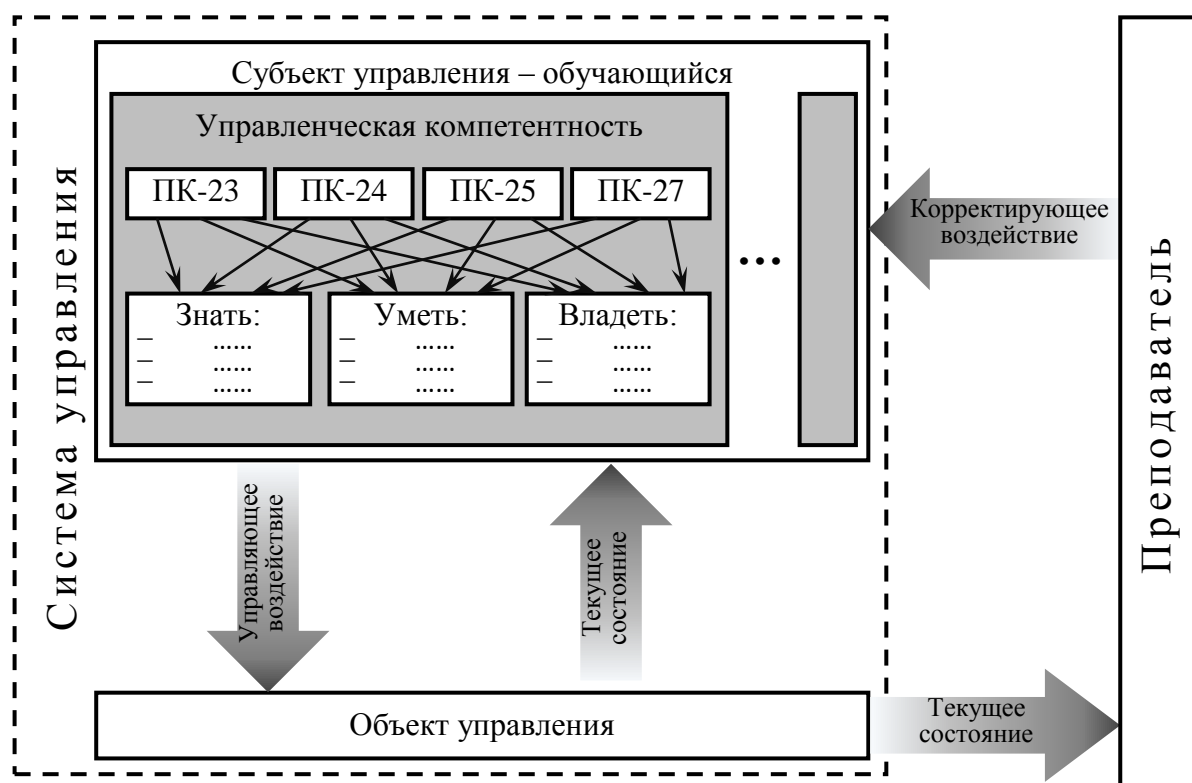


Рис. 1. Схема формирования управленческой компетентности

Для реализации системы управления на учебных занятиях необходимо определить объект управления и форму проведения занятий таким образом, чтобы выполнялись следующие требования:

1. Объект управления должен быть максимально приближен к реальному, потенциально реализуем (с определенными допущениями и ограничениями) в ходе учебных занятий. Принимаемые допущения и ограничения не должны носить принципиальный характер.
2. Обучающиеся должны получать опыт решения задач управления, сходных с реальными.
3. Система управления должна динамически реагировать на действия обучающихся, а также давать возможность преподавателю вмешиваться в ситуацию.

Область военно-профессиональной деятельности выпускников включает организацию боевого применения воинских формирований, оснащенных (вооруженных) РКН, средствами технических и стартовых комплексов для выполнения задач по предназначению в мирное и военное время, а также управление личным составом, обеспечивающим боевое применение РКН, средств технических и стартовых комплексов в мирное и военное время [2]. В связи с этим основным видом деятельности, к которому должен быть подготовлен выпускник, является эксплуатационная деятельность. С целью подготовки выпускника к эксплуатационной деятельности в Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского разработана и внед-

рена Концепция непрерывной эксплуатационной подготовки курсантов [3], которой определен перечень актуальных задач эксплуатации, к решению которых должен быть подготовлен выпускник. К задачам, требующим управленческой компетентности выпускника, относятся:

- разработка методов управления эксплуатацией вооружения;
- разработка методов и алгоритмов управления состоянием вооружения в системе эксплуатации;
- разработка методов и алгоритмов управления персоналом в системе эксплуатации вооружения.

Анализ области профессиональной деятельности выпускника и положений Концепции непрерывной эксплуатационной подготовки позволяет сделать вывод о целесообразности выбора *системы эксплуатации РКК и его элементов* в качестве объекта управления при проведении учебных занятий, направленных на формирование управленческой компетентности.

Наиболее подходящей формой проведения учебных занятий, удовлетворяющей указанным требованиям, является деловая игра [4] – педагогическое моделирование различных ситуаций с целью обучения отдельных личностей и их групп принятию решений. Учебная деловая игра обладает рядом достоинств:

- в ходе учебной игры обучающиеся овладевают опытом деятельности, сходным с тем, который они получили бы в действительности;
- учебная игра позволяет обучающимся самим решать трудные проблемы, а не просто быть наблюдателями;
- игры создают потенциально более высокую возможность переноса знаний и опыта деятельности из учебной ситуации в реальную;
- учебные игры обеспечивают учебную среду, незамедлительно реагирующую на действия обучающихся.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ДЕЛОВОЙ ИГРЫ

В рамках деловой игры «Управление эксплуатацией ВВСТ» обучающиеся разбиваются на расчеты по 3-4 человека, каждый расчет представляет собой службу вооружения учебной отдельной инженерно-испытательной части (оиич). Задачей каждого расчета является управление эксплуатацией учебного объекта космической инфраструктуры – технического и стартового комплексов, заправочной станции КА и РБ, кислородно-азотного завода, измерительного пункта космодрома и т. д. Преподаватель действует от имени вышестоящего органа управления эксплуатацией, а также руководит ходом выполнения игры, обеспечивая ее педагогическую результативность. В состав информационного обеспечения деловой игры входят исходные данные, руководящие документы и имитационная модель объекта управления. Кроме того, преподавателем разрабатываются методические указания к проведению учебных занятий.

Исходные данные для деловой игры для каждого расчета включают в себя следующее:

1. Цель и задачи эксплуатации ВВСТ, поставленные вышестоящим органом управления.
2. Состав технологического оборудования учебной оиич, содержащий следующую информацию:
 - наименование технологического оборудования;
 - даты выпуска и ввода в эксплуатацию;
 - текущая категория и техническое состояние;
 - данные о гарантии и ресурсе.

В исходных данных предусмотрены различные ситуации, возникающие при управлении эксплуатацией ВВСТ, такие как наличие неисправной техники, окончание ресурса или гарантийного срока и т. п.

3. Организационно-штатная структура учебной оиич.

4. Временные нормы проведения эксплуатационных процессов для технологического оборудования (определяются эксплуатационной документацией).

Основным руководящим документом, необходимым для информационного обеспечения учебных занятий, является Временное руководство по эксплуатации вооружения Космических войск (РЭВ КВ – 2002). Кроме того, для более детальной отработки некоторых вопросов используются другие руководящие документы, такие как Руководство по организации и обеспечению безопасной эксплуатации вооружения Космических войск (РООБЭВ КВ), Методические указания по ведению рекламационной работы в Космических войсках и т. п. Для эффективного использования комплекта руководящих документов целесообразно использовать электронные сборники и базы данных руководящих документов, такие как СУБД «Документы по эксплуатации ВВСТ» [5]. Их применение существенно облегчает поиск необходимой информации, обеспечивает быструю навигацию по тексту, а также дает возможность преподавателю выделить необходимую информацию, что особенно важно в условиях ограниченности времени на практических занятиях.

Сложность выбранного объекта управления, а также сложность и многогранность самого процесса управления не позволяют реализовать деловую игру в ходе одного практического занятия. В связи с этим в рамках дисциплины «Теория управления ОТС» разработан цикл практических занятий, каждое из которых посвящено отработке в игровой форме определенной функции управления [6]: принятие решения – практическое занятие № 1; планирование – практические занятия № 2–5; организация – практические занятия № 6 и 7; контроль – практические занятия № 8 и 9.

Работа курсантов на практических занятиях подразумевает несколько этапов (рис. 2). На первом этапе расчетом уясняются исходные данные и задачи на практическое занятие, анализируется теоретический материал и руководящие документы, требуемые для выполнения задачи. Суть второго этапа заключается в коллективной работе обучающихся в составе расчета, в ходе которой изучаются соответствующие разделы руководящих документов, обсуждаются варианты решения поставленных задач, принимаются решения и составляются планы их реализации. Третий этап представляет собой оформление результатов решения поставленных задач в рабочей тетради в форме отчета о практическом занятии. Кроме того, готовится презентация и доклад о результатах выполнения задачи. На заключительном этапе представитель каждого расчета делает доклад о результатах решения задачи, который обсуждается личным составом учебной группы. По результатам доклада и обсуждения выставляется оценка всему расчету.

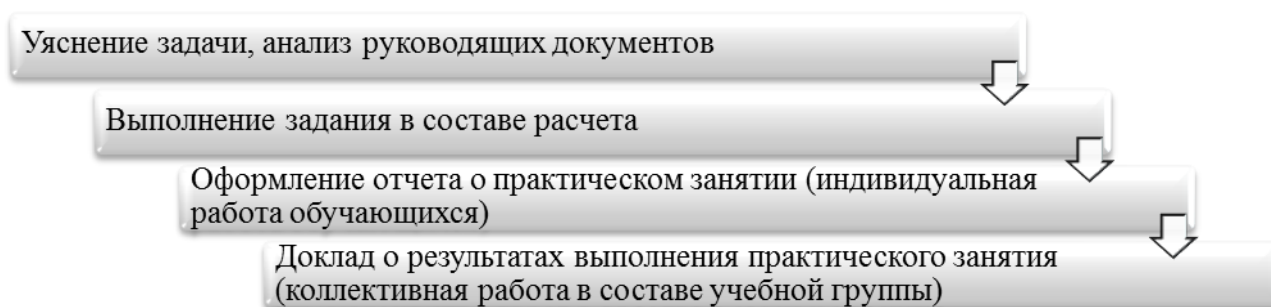


Рис. 2. Этапы проведения занятия

Структура деловой игры показана на рис. 3. Практическое занятие № 1 посвящено разработке перечня задач эксплуатации ВВСТ подчиненной оиич. В ходе выполнения задания обучающиеся анализируют цель и задачи вышестоящего органа управления, текущее состояние объекта управления и требования руководящих документов (в первую очередь РЭВ КВ – 2002) и разрабатывают перечень задач эксплуатации, которые необходимо выполнить для достижения цели.

На практическом занятии № 2 обучающиеся на основании анализа руководящих документов разрабатывают для каждой задачи перечень мероприятий, необходимых для ее решения, а также последовательность выполнения мероприятий и крайние сроки выполнения мероприятий.

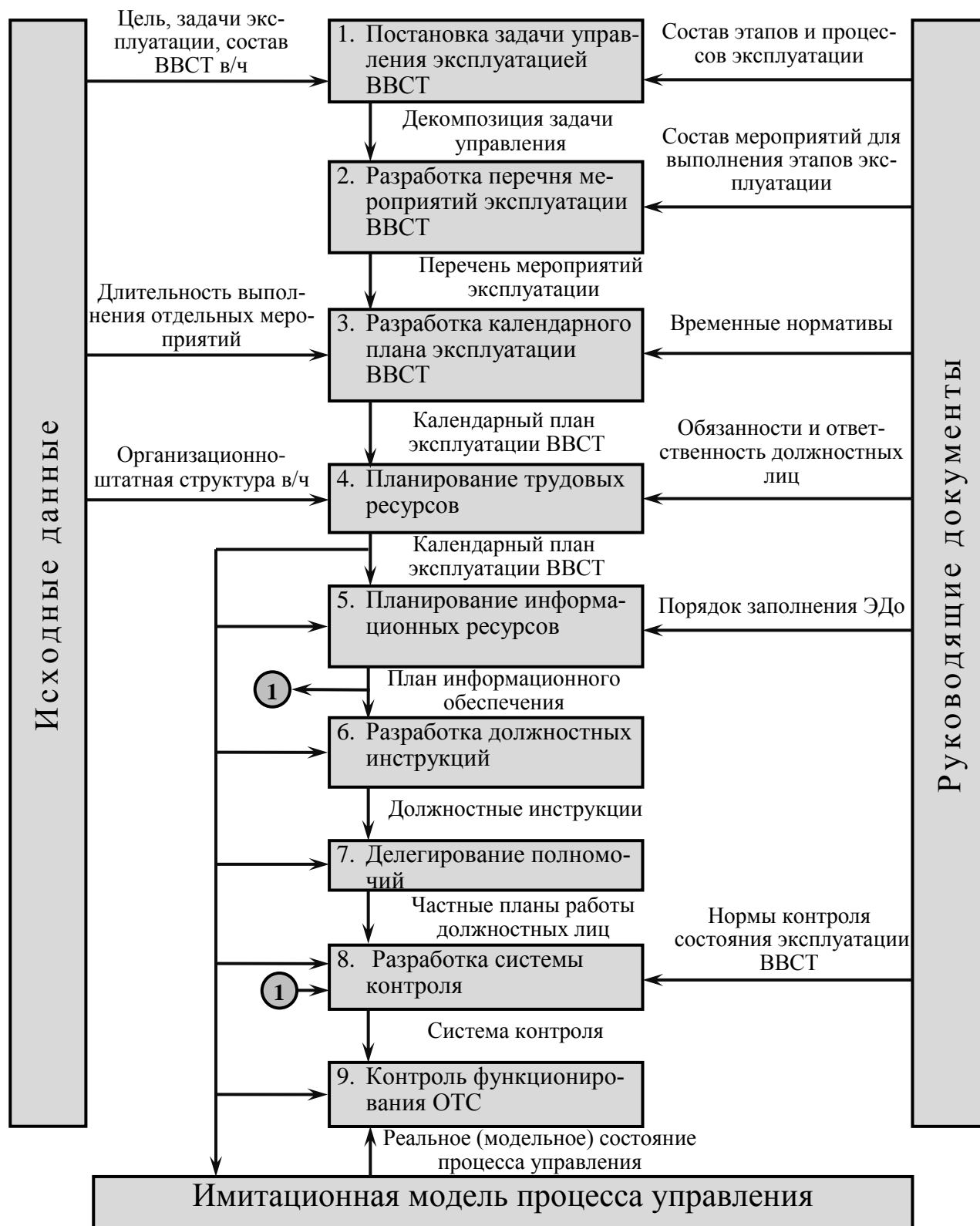


Рис. 3. Структура деловой игры

Практическое занятие № 3 посвящено разработке календарного плана выполнения мероприятий. Длительности выполнения каждого мероприятия, временные нормативы определяются на основании анализа исходных данных и руководящих документов. В ходе проведения занятия обучающиеся приобретают навыки разработки планов в системе календарного планирования и контроля Microsoft Project.

На практическом занятии № 4 на основании анализа трудовых ресурсов, представленных в форме организационно-штатной структуры оиич, и требований руководящих документов назначают трудовые ресурсы на мероприятия календарного плана. После назначения трудовых ресурсов с использованием возможностей Microsoft Project осуществляется анализ загрузки ресурсов, в случае обнаружения перегрузки она устраняется. Результатом выполнения задания является уточненный календарный план эксплуатации ВВСТ.

На практическом занятии № 5 разрабатывается план информационного обеспечения эксплуатации, которое в рамках занятия ограничивается эксплуатационной документацией. В качестве исходных данных используется разработанный план эксплуатации ВВСТ и требования руководящих документов. Результатом выполнения задания является план информационного обеспечения, который содержит сроки разработки (заполнения) эксплуатационной документации, а также данные, которые должны быть внесены.

Практические занятия № 6 и 7 посвящены выполнению функции организации деятельности. На них разрабатываются конкретные обязанности должностных лиц в части, касающейся эксплуатации ВВСТ. Исходными данными являются перечень задач, назначенных каждому должностному лицу, а также требования руководящих документов. Кроме того, с использованием возможностей работы с данными Microsoft Project разрабатываются частные планы работы службы вооружения на месяц и планы работы отдельных должностных лиц и подразделений.

Наиболее сложными и динамичными являются занятия № 8 и 9, посвященные выполнению функции контроля. На первом этапе разрабатывается система контроля, в которой конкретизируются точки контроля, набор контролируемых параметров, а также разрабатываются контрольные карты для различных точек контроля. Последнее занятие посвящено непосредственно процессу контроля и требует особого внимания при рассмотрении имитационной модели.

ОБЛИК ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ

С технической точки зрения наибольшую сложность вызывает этап деловой игры, посвященный контролю (практические занятия № 8 и 9), под которым понимается функция управления, обеспечивающая достижение целей функционирования объекта управления путем сравнения фактического состояния системы с желаемым. Сущностью контроля является сравнение плановых показателей, характеризующих процесс функционирования объекта управления, с реальными и формирование на его основе управляющего воздействия, которое направлено на ликвидацию рассогласования реальных и плановых показателей. Основная проблема при этом заключается в отсутствии реальных показателей, а следовательно, и возможности сравнить их с плановыми. Решением может быть применение имитационной модели процесса управления, которая предназначена для решения названных ниже задач:

1. Конфигурация модели на основании структуры и параметров мероприятий календарного плана эксплуатации ВВСТ (рис. 4), а также параметров, характеризующих закономерности функционирования объекта управления и воздействие случайных факторов.

2. Реализация различных законов изменения оперативного (модельного) времени.

3. Формирование фактических и прогнозных значений параметров процесса управления для каждого момента времени.

4. Формирование различных нештатных ситуаций (вводных), возникающих в процессе контроля.

5. Оперативное изменение конфигурации модели по результатам принятых управленческих решений по парированию нештатных ситуаций и отработке вводных.

6. Оценивание качества разработанного календарного плана (и качества принятых решений) по показателю вероятности достижения цели управления.



Рис. 4. Входные и выходные параметры имитационной модели процесса управления

Работа обучающихся на практическом занятии с применением имитационной модели состоит из следующих этапов:

1. Конфигурация имитационной модели на основании разработанного календарного плана.

2. Определение точек контроля, набора контролируемых параметров с использованием разработанной ранее системы контроля.

3. Выполнение рабочих прогонов имитационной модели, осуществление мониторинга контролируемых параметров.

4. Сравнение полученных показателей с плановыми, принятие и реализация управленческих решений на парирование отклонений.

Необходимым условием для успешного проведения занятий является использование информационных систем календарного планирования и контроля (Microsoft Project или аналогов) для разработки плана эксплуатации ВВСТ. Только в этом случае возможно автоматизировать процесс ввода параметров плана и конфигурации модели, что позволяет сделать акцент непосредственно на контроле и принятии решений, а не на подготовительных мероприятиях, таких как ввод данных в имитационную модель.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ отзывов на выпускников академии выявляет большое количество недостатков, связанных со слабой подготовкой выпускников к решению конкретных профессиональных задач. Главным назначением рассмотренной деловой игры является моделирование этих задач в ходе учебного процесса. Близость задач, отрабатываемых в рамках деловой игры, к реальным достигается выбором системы эксплуатации существующих образцов ВВСТ в качестве объекта управления, использованием действующих руководящих документов и применением реальных должностей в качестве игровых ролей. Разработка и применение имитационной модели процесса управления позволяет обеспечить обратную связь процесса управления, что еще больше повышает реалистичность ситуации.

Опыт проведения занятий в форме деловой игры «Управление эксплуатацией ВВСТ» показал, что данная форма проведения занятий дает возможность повысить заинтересованность и активизировать мышление обучающихся, так как она максимально приближена к реальности. Кроме того, организация занятий методом сквозного примера способствует достаточно полному изучению объекта управления и руководящих документов.

Список используемых источников

1. Об утверждении и введении в действие федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению подготовки (специальности) 220402 Специальные организационно-технические системы (квалификация (степень) «специалист»): приказ Министерства образования и науки Российской Федерации от 14 января 2011 г. №15 // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. – 2011. – № 25.

2. Квалификационные требования к военно-профессиональной подготовке выпускников ФГКВОУ ВПО ВКА имени А.Ф.Можайского МО РФ по специальности 220402 «Специальные организационно-технические системы»; по специализации «Управление и эффективность применения ОТС космического назначения»; по военной специальности «Применение подразделений запуска и эксплуатация ракет-носителей и космических аппаратов». Утверждены Командующим Космическими войсками 16.07.2011.

3. Информационный бюллетень № 105. Концепция подготовки специалистов по эксплуатации комплексов космических средств / под общ. ред. Н.С. Кужекина. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2008. – 36 с.

4. Современные технологии обучения: учеб. пособие / Н.Б. Ачкасов, В.В. Майоров, Н.А. Репях, А.Н. Хрустова. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2009. – 234 с.

5. Поляков А.П. СУБД «Документы по эксплуатации ВВСТ»: электронное учеб. пособие. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2014.

6. Привалов А.Е., Кочанов И.А., Бугайченко П.Ю. Онтологический подход к формированию ситуационной осведомленности при управлении эксплуатацией РКК // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2013. – Вып. 639. – С. 93–98.

А.Л. Прокофьева;
Н.С. Яснова,
кандидат педагогических наук

МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОННОГО УЧЕБНОГО КУРСА КАК СРЕДСТВО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ

Предлагается учебно-методическое обеспечение образовательного процесса на основе современных информационных технологий в форме электронного учебного курса для самостоятельной подготовки обучающихся. Рассмотрена модель структуры курса, методика его применения, преимущества его использования как средства организации самостоятельной подготовки.

Ключевые слова: информационные технологии в образовании, электронный учебный курс, самостоятельная подготовка.

В контексте модернизации высшего образования большое значение приобретает повышение качества профессиональной подготовки. Это выдвигает на первый план вопросы организации самостоятельной работы обучающихся, главная цель которой – расширить знания, умения и навыки, предотвратить их забывание, развить индивидуальные склонности и способности. Таким образом, новые условия предполагают значительную индивидуализацию учебного процесса при активной позиции личности обучаемого.

В традиционной педагогике при очном обучении самостоятельная работа включает в себя чаще всего лишь самостоятельную работу с литературой. С использованием информационных технологий возможности организации самостоятельной работы расширяются. Самостоятельная работа с исследовательской и учебной литературой, изданной на бумажных носителях, сохраняется как важное звено самостоятельной работы в целом, но ее основу теперь составляет самостоятельная работа с обучающими программами, с тестирующими системами, с информационными базами данных. По существу все известные виды компьютерных обучающих программ могут служить основой для организации самостоятельной работы [1]. В настоящей работе рассмотрена модель электронного учебного курса «Грамматика английского языка», методика его применения во время самостоятельной работы курсантов.

Любой преподаватель, работающий с аудиторией, всегда старается наиболее доступно донести до учащихся материал, однако это не всегда возможно, так как каждый обучающийся воспринимает информацию по-своему, одно и то же объяснение не будет в равной степени эффективно для каждого из них. Поэтому самоподготовка является еще одним способом восприятия информации [2].

Применение информационных технологий в образовательном процессе позволяет осуществить серьезные изменения в технологии обучения. Таким изменениям способствуют следующие обстоятельства:

- значительное расширение возможности предъявления учебной информации;
- усиление мотивации обучения в связи с новизной работы с информационными технологиями, занимательностью обучения, возможностью регулирования уровня сложности учебных задач, оказанием помощи в процессе решения задач;
- активное вовлечение в учебный процесс;
- расширение набора применяемых учебных задач;
- качественное изменение контроля деятельности обучаемых и при этом обеспечение гибкости управления процессом обучения [3].

Принципы, положенные в основу информационных образовательных технологий, должны отвечать стандартным дидактическим принципам, предъявляемым к традиционным учебным изданиям, таким как учебники, учебные и методические пособия. К таким принципам относятся следующие:

1) **принцип научности** (фундаментальные положения современной науки, вопросы перспектив ее развития, системный подход к изложению учебного материала, его структурирование и выделение основных понятий и связей между ними). Процесс усвоения учебного материала должен строиться в соответствии с современными методами научного познания: эксперимент, сравнение, наблюдение, абстрагирование, обобщение, конкретизация, аналогия, индукция и дедукция, анализ и синтез, метод моделирования, в том числе математического, а также метод системного анализа;

2) **принцип доступности** (коллективной и индивидуальной, достижения цели обучения, наличие разветвлений, помощи, пояснений, дополнительных указаний и задач, различных уровней сложности, поддержание мотивации обучаемого). Недопустима чрезмерная усложненность и перегруженность учебного материала, при которой овладение этим материалом становится непосильным для обучаемого;

3) **принцип наглядности** (иллюстративная компонента, необходимость учета чувственного восприятия изучаемых объектов, их моделей, динамики развития в различных условиях и их личное наблюдение за обучаемым). Требование обеспечения наглядности в случае информационных технологий реализуется на принципиально новом, более высоком уровне;

4) **принцип систематичности и последовательности** (обеспечение последовательного усвоения обучающимся определенной системы знаний в изучаемой предметной области). Нужно, чтобы знания, умения и навыки формировались в определенном логическом порядке и находили применение в реальной деятельности, для этого необходимо:

- предъявлять учебный материал в систематизированном и структурированном виде;
- учитывать как ретроспективы, так и перспективы формируемых знаний, умений и навыков при организации учебной информации;
- учитывать межпредметные связи изучаемого материала;
- продумывать последовательность подачи учебного материала и обучающих воздействий;
- строить процесс получения знаний в последовательности, определяемой логикой обучения;
- обеспечивать связь теории с практикой путем сопоставления содержания и методики обучения с личным опытом обучающегося, подбором примеров и заданий практического характера;

5) **принцип проблемности обучения** (определяется сущностью и характером учебно-познавательной деятельности – когда обучающийся сталкивается с учебной проблемной ситуацией, требующей разрешения, его мыслительная активность возрастает). Выполнение данного дидактического принципа при помощи информационных технологий может быть значительно выше, чем при использовании традиционных учебников и пособий;

6) **принцип прочности усвоения знаний**. Для прочного усвоения учебного материала наибольшее значение имеют глубокое осмысление этого материала, его рассредоточенное запоминание;

7) **принцип единства** образовательных, развивающих и воспитательных функций обучения [4].

Таким образом, *самостоятельная работа на основе информационных технологий* – это учебно-познавательная деятельность, включающая организационные формы работы с образовательными электронными изданиями. Содержание и структура электронных учебных курсов, применяемых в ходе самостоятельной работы обучающихся, должны соответствовать учебной программе изучаемой дисциплины и одновременно быть ориентированными

на углубленное изучение теории [5]. **Основным методологическим принципом** является четкое представление места информационных образовательных технологий в учебном процессе. Они не должны увеличивать объем учебной нагрузки, а наоборот, учебная нагрузка должна быть снижена и качество обучения улучшено. **Две главные задачи информационных образовательных технологий** – обеспечить эффективное усвоение учебного материала обучающимися и облегчить труд преподавателя. Учитывая вышесказанное, нами был создан и успешно внедрен в учебный процесс электронный учебный курс (ЭУК) «Грамматика английского языка».

Электронный учебный курс – 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 видеoinформации для обеспечения информационной поддержки учебного процесса и самостоятельной работы обучающихся. ЭУК как компьютерная обучающая программа может быть использован при любых формах обучения – очной, заочной, дистанционной.

С точки зрения дидактического назначения ЭУК обеспечивает структурирование электронного материала всех образовательных блоков:

- теоретического;
- иллюстративного;
- справочного;
- контролирующего.

Значимая роль в рамках каждого блока отводится формулированию дидактической цели, обеспечивающей целенаправленное изучение материала.

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 [6].

При формировании навыков перевода с помощью разработанного ЭУК «Грамматика английского языка» в форме тестов отрабатывается умение пользоваться 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. Тестовая база по каждому модулю и теме соответствует содержанию учебной программы и входит в комплект методического обеспечения учебной дисциплины.

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 лично ориентированного принципа организации учебной деятельности.

Таким образом, необходимо отметить, что по сравнению с печатным учебным изданием ЭУК «Грамматика английского языка» обладает рядом преимуществ, а именно:

- выполнен в виде тестов, что является передовым, повсеместно внедряемым методом контроля знаний;
- обеспечивает мгновенную обратную связь;
- помогает быстро найти необходимую информацию, поиск которой в обычном учебнике затруднен;
- существенно экономит время при многократных обращениях к гипертекстовым ссылкам;
- позволяет в индивидуальном темпе, наиболее подходящем для конкретного обучающегося, проверить знания по определенному разделу грамматики путем тестирования.

Система тестирования может быть использована не только обучающимися для самооценки знаний и умений, но и преподавателями для промежуточной и итоговой аттестации по дисциплине.

Результаты работы могут использоваться при создании новых образовательных продуктов (обучающих программ по грамматике и лексике других иностранных языков), а также при совершенствовании общей педагогической системы в целом. Одна из задач нашего исследования заключалась в разработке и реализации обучающей компьютерной программы ЭУК, который бы способствовал повышению эффективности изучения английского языка в условиях самостоятельной работы курсантов.

Электронный учебный курс «Грамматика английского языка» опубликован в электронной библиотеке системы федеральных образовательных порталов. Ознакомиться с ним можно по адресу: <http://window.edu.ru/window/library>.

Список используемых источников

1. *Андерсен Бент. Б.* Мультимедиа в образовании: специализированный учебный курс / пер. с англ. Бент. Б. Андерсен, Катя Ван Ден Бринк. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Дрофа, 2007. – 221 с.
2. *Киселев Г.М., Бочкова Р.В.* Информационные технологии в педагогическом образовании: учеб. пособие. – М.: Дашков и К, 2013. – 308 с.
3. *Григорьев С.Г., Гриншкун В.В.* О разработке учебника «Информатизация образования» // Вестник МГПУ. Сер. Информатика и информатизация образования. – М.: МГПУ, 2005. – №1 (4). – С. 24–28.
4. *Дочкин С.А.* Применение новых информационных технологий для активизации самостоятельной работы курсантов высшего военного учебного заведения: монография. – Кемерово: Изд-во ГОУ «КРИПО», 2004. – 160 с.
5. Об использовании дистанционных образовательных технологий: приказ от 6 мая 2005 №137. – URL: www.mil.ru (дата обращения: 10.02.2016).
6. *Захарова И.Г.* Информационные технологии в образовании. – М.: Академия, 2003. – 186 с.

О.В. Гугорович,
кандидат философских наук

ФИЛОСОФИЯ ТЕХНИКИ И ЕЕ ПРОБЛЕМАТИКА

Статья посвящена формирующемуся разделу философской науки – философии техники, проблематика которого проходит период своего становления. Автор обращает внимание на то, что исследования феномена техники предполагают решение методологических вопросов, связанных со спецификой, особенностями и эволюцией технического знания, и рассмотрение гуманистических, ценностных аспектов техники, социальных проблем, связанных с ее развитием. Перед автором стоит задача показать многоаспектность и неоднозначность феномена техники.

Ключевые слова: философия техники, технологический детерминизм, технологический алармизм, технологический эвдемонизм, бездуховность.

Философия техники – это область философско-методологических и социально-философских исследований феномена техники в современном мире. Ее истоки легко обнаружить в трудах античных авторов, но систематическое философское исследование техники началось лишь в конце XIX – начале XX века. Этому предшествовал ряд событий, на которые следовало бы обратить внимание.

Первое событие сопряжено с деятельностью К. Маркса, давшего в своих трудах не только экономический анализ роли машины в создании капитализма, но и показавшего разрушительное воздействие машинного способа производства на рабочего. Второе – с выходом в свет в 1877 году книги «Основные линии философии техники», автором которой был немецкий ученый Эрнест Капп, он первым совершил смелый шаг, соединив в заголовке своей работы два понятия – «философия» и «техника», казавшиеся ранее несовместимыми. Наконец, событие 1911 года, когда на IV Международном конгрессе по философии, состоявшемся в Болонье, русский инженер Петр Энгельмейер обосновал право философии техники на существование.

С тех пор ни один крупный мыслитель XX века не обошел своим вниманием феномен техники. Среди них следует отметить Ф. Дессауэра, К. Ясперса, Х. Ортега-и-Гассета, М. Хайдеггера, Г. Маркузе, Ю. Хабермаса и многих других. Тем не менее еще в 1989 году, рассуждая о статусе философии техники, немецкий философ, доктор технических наук Г. Рополь отмечал, что «вряд ли есть веские основания утверждать, что философия техники – уже прочно сложившаяся дисциплина. В таблице о рангах философских дисциплин философия техники занимает скромное место в рубрике "разное"» [1].

Однако нарастающее беспокойство по поводу последствий развития техники, актуальность и дискуссионность данной темы, спровоцировавшей массовый интерес экономистов, социологов, политиков и т. д., свидетельствуют о том, что философия неслучайно обратилась к феномену техники. По сути, философию техники следует отнести к формирующемуся разделу философской науки, проблематика которого проходит период своего становления.

Так, например, в 70–80-е годы XX столетия особое внимание было уделено этическим проблемам техники. В это же время в рамках философии техники наблюдался переход от абстрактно-метафизических рассуждений о технике, анализа структуры и динамики технического знания, проблем методологии технических наук к комплексному, междисциплинарному анализу техники как многоаспектному и противоречивому фактору развития человеческой цивилизации. Философия техники стремилась выйти за пределы чисто философских рассуждений и дать практическое решение актуальным вопросам: что такое «техника»? какова роль человека в развитии и функционировании техники? в чем сущность

технической деятельности? каково соотношение техники и культуры? что собой представляет взаимосвязь техники с политикой?

В 80–90-е годы внимание философов привлекли экологические последствия научно-технического прогресса. В предмет философии техники были также включены вопросы создания искусственного интеллекта, его отношения к естественному интеллекту, закономерности развития техники, специфика технического знания и технических наук, проблемы детерминации развития техники и перспектив этого развития.

На рубеже XX–XXI веков основные проблемы философии техники оказались связанными с бурным развитием и внедрением во все сферы жизни компьютерной техники, разрешением противоречий современной техногенной цивилизации, социальными последствиями современного научно-технического прогресса, переходом человечества к постиндустриальной цивилизации, наконец, техническим образованием и воспитанием.

Все исследования феномена техники условно можно разделить на два направления. В рамках первого направления решаются чисто методологические вопросы: специфика технического знания, отличие технического знания от научного, этапы развития техники и их особенности, факторы, детерминирующие развитие технического знания, и т. д. Второе направление исследований акцентирует внимание на гуманистических, ценностных аспектах техники, социальных проблемах, связанных с ее развитием. Философы останавливаются на взаимоотношениях «техника – природа», «техника – человек», «техника – социум», «техника – культура». Основы методологического подхода были заложены Э. Каппом и П. Энгельмейром, гуманистический подход развивался Л. Мэмфордом, Х. Ортега-и-Гассетом, М. Хайдеггером и Ж. Эллюлем.

Среди методологических проблем философии техники внимание исследователей прежде всего привлекают две проблемы – специфика технического знания и особенности факторов, детерминирующих его развитие.

Демаркационную линию между наукой и техникой в свое время провел П. Энгельмейер [2]. Отвечая на вопрос, в чем между ними разница, он говорил, что наука преследует истину, техника стремится к пользе. Техник приходит тогда, когда ученый уже сказал, в чем истина: наука знает, а техника делает. Хотя, разумеется, это не означает прекращение их взаимосвязи.

Вопрос о границе между техническим и научным знанием не столь прост, как кажется. По мнению немецкого философа техники Ф. Раппа, техническое знание отличается более сложной системной организацией, а также тем, что объекты этого знания имеют искусственную природу (в отличие от «естественности» объектов науки) [3]. Кроме того, наука ориентирована на отыскание истины и решение концептуальных проблем, тогда как техническое знание – на достижение заранее планируемого практического результата.

Иначе, если задачей различных разделов естествознания (физики, химии, биологии) является получение информации о свойствах, причинных связях, структурных образованиях и законах движения материальных объектов, то структура технических устройств и их функции должны быть известны до их реализации в виде материальных объектов. Рост технических знаний заключается в расширении конструктивных возможностей человека. Техническое творчество в отличие от научного состоит не в открытии того, что существует, а в конструировании того, чего еще не было. Однако эти отличия не абсолютны.

Вопрос о детерминирующих факторах технического прогресса расколол философское общество на сторонников технологического детерминизма (Т. Веблен, Д. Белл, З. Бжезинский, Э. Тоффлер) и его противников (Л. Мэмфорд, Х. Ортега-и-Гассет, Ж. Эллюль). Первые полагают, что развитие техники направляется универсальными или так называемыми «внутренними» критериями, к которым следует отнести эффективность, экономичность и надежность. Они определяют характер технических новаций. Влияние «внешних» факторов чаще всего сказывается отрицательно на техническом развитии. Среди таких факторов называются «экологические соображения», «социально-политические обстоятельства», «моральные или идеологические аргументы» и т. д.

Критики технологического детерминизма и технократизма справедливо указывают на парадоксальность этих идей: история современной технической цивилизации показывает, что рациональное планирование техники, если оно оторвано от гуманистических целей и ценностей, способно порождать иррациональные последствия, разрушающие основы человеческого бытия. По мнению Л. Мэмфорда, главной причиной всех социальных зол и потрясений является все возрастающий разрыв между уровнем технологии и нравственностью. Научно-технический прогресс, совершенный со времен Ф. Бэкона и Г. Галилея, он называл «интеллектуальным империализмом», «жертвой» которого пали гуманизм и социальная справедливость [4].

В то же время признанный лидер в исследовании социальных аспектов технического прогресса К. Маркс, рассуждая о том, что с развитием техники человек, например, обнаруживает свою зависимость от работодателя и от средств труда и, как следствие, свою отчужденность от производства, был убежден, что «машины сами по себе не ответственны за то, что они "освобождают" рабочего от жизненных средств существования» [5]. Машина аксиологически нейтральна! Она просто оказалась не в тех руках. Такова логика учения Маркса.

В философии техники оформились и существуют две крайние формы технологического детерминизма: технологический эвдемонизм (от греч. *eudaimonia* – блаженство) и технологический алармизм (от ст. фр. *à l'arme* – «к оружию», через англ. *alarmism* – «паникерство»). Технологический эвдемонизм элиминирует все негативные последствия технической деятельности человека и поэтому в техническом прогрессе видит одни только позитивные моменты: боготворит технику, абсолютизирует ее значение как источника благосостояния. В отличие от него технологический алармизм в указанном прогрессе не видит ничего позитивного, сводя его к одним только негативным последствиям. С точки зрения алармистов, техника является конечной причиной или источником многих горьких испытаний и бедствий, которые выпали (и еще непременно выпадут) на долю человечества. Именно она явилась той зловещей силой, которая разрушила духовность человека, отлучила его от собственной сущности и в конечном итоге поработила его.

Технологический детерминизм во всех его проявлениях представляет собой неадекватную реакцию на современную научно-техническую революцию. По мнению Г. Рополя, альтернативой технологическому детерминизму должны стать комплексные концепции, учитывающие как «внутренние», так и «внешние» факторы развития техники, опирающиеся на результаты исследований, проводимых экономистами, социологами, социальными психологами, политологами, а также на философскую теорию ценностей [6].

Несомненно, следует учитывать и противоречивость факторов развития техники. Жизнь неоднократно доказывала, что оптимальный по своим техническим или экономическим параметрам проект может быть неприемлем из-за несоответствия экологическим требованиям или определенным культурным традициям, а совершенные технические системы (например, в области вооружений) не согласуются с моральными или религиозными принципами и т. д. Кроме того, содержание и направленность технических программ находятся в очевидной зависимости от противоречивых интересов различных групп населения, соображений национальной безопасности, престижа, экономической конкуренции. Это связывает процесс развития техники с политическими процессами в обществе, динамикой структуры власти.

Особенность методологических проблем, рассматриваемых философией техники, заключается в том, что они в большинстве случаев выходят за рамки узкого scientизма и затрагивают социальные, политические, нравственные основания технической цивилизации и перспективы ее исторического развития.

Так, Хосе Ортега-и-Гассет, обратившись к проблеме эволюции техники, дает не только характеристику каждому этапу ее развития, но и констатирует угрозу, исходящую со стороны развивающейся техники, для европейской культуры [7]. Ортега выделяет в истории развития техники три периода.

Первый период он называет *«техникой случая»* – это исторически первая форма существования техники, присущая первобытному обществу и характерная для доисторического человека. Она отличается простотой, скудостью исполнения и крайней ограниченностью технических действий. Вторым периодом, охватывающим историю развития техники Древней Греции и Рима, а также европейского Средневековья, получил название *«техники ремесла»*. В это время существенно расширяется набор технических действий, усвоение которых требует специальной выучки, как следствие, занятие технической деятельностью становится профессией и передается по наследству. Во второй половине XVIII века на смену *«техники ремесла»* приходит *«техника человека-техника»*. Это время машинной техники и технических устройств. Начало данному периоду положило изобретение Эдмундом Картрайтом в 1743 году механического ткацкого станка.

В данной интерпретации развития техники всё логично: жизнь тождественна деятельному производству и активному творчеству, которое немислимо без технических изобретений и создания технических средств. Миссия техники – это освобождение человека от природы и излишних усилий. «Миссия техники – это освобождение человека, дарующее ему возможность всецело быть самим собой» [8]. Однако, убежден философ, эволюция техники ведет к возникновению уникальной современной проблемы: отмиранию и иссяканию способности человека воображать и желать.

«В наши дни, имея в своем распоряжении общий метод создания технических средств для реализации любого запроецированного идеала, люди, кажется, утратили всякую способность желать ту или иную цель и стремиться к ней. Человек вложил в новую технику столько веры, что просто забыл: быть техником и только техником означает способность быть всем, а следовательно, быть ничем. В руках одних лишь техников, т. е. личностей, лишенных способности воображения, техника есть лишь пустая форма – подобно всем формализованным логикам; такая техника не способна определять содержание и смысл жизни» [9].

Исключительно верой в технику жить нельзя – жизнь становится бессодержательной и пустой. Машина существенно меняет отношения между человеком и орудием. «Работает» машина, а человек ее обслуживает, превращаясь в придаток машины. Побочным явлением этого процесса становится «кризис желаний» и бездуховность. Развивая эту тему, в работе «Восстание масс» (в гл. IX «Примитивизм и техника») Ортега дал блестящий анализ ситуации, когда самая передовая техника оглушает человека [10].

Вслед за Х. Ортегой-и-Гассетом Н.А. Бердяев обратил внимание на то, что массовая техническая организация уничтожает всякую индивидуальность, всякое своеобразие и оригинальность; всё становится анонимным и лишенным образа [11].

С точки зрения Н.А. Бердяева, научно-технический прогресс неизбежно приведет к роковым последствиям. Он рисует два сценария развития технической цивилизации. Во-первых, небольшая кучка людей, обладающая секретом технических изобретений, сможет тиранически управлять всем миром, держа всё человечество в своей власти. Во-вторых, возможен иной вариант, предполагающий однозначное господство совершенных машин, исключающий присутствие человека в мире. Воображение философа рисует сюрреалистические картины превращения последних людей в машины, а затем их полнейшее исчезновение за ненадобностью. Органическая жизнь уйдет в прошлое, ей на смену придет техника – машины, безжалостные ко всему живому.

Общий вывод Н.А. Бердяева таков: предстоит страшная борьба между личностью и технической цивилизацией, борьба между жизнью и смертью.

Итак, вполне очевидно, что, реализуя методологический подход при рассмотрении феномена техники, исследователи вольно или невольно обращаются к вопросам, которые рассматриваются в гуманитарном контексте исследования техники, которому присущи, во-первых, критическая установка по отношению к технике, а во-вторых, выдвигание на первый план проектов социального переустройства.

Одним из первых профессиональных философов, кто смог увидеть в развитии техники нарастающую угрозу человеческой цивилизации, был Освальд Шпенглер. О технике он размышлял в V главе «Мир форм экономической жизни» второго тома книги «Закат Европы» (1922), а также в специальном трактате «Человек и техника», вышедшем в Мюнхене в 1932 году.

Технику О. Шпенглер понимал широко, полагая, что она так же стара, как и сам человек. «Техника, – писал он в «Закате Европы», – имеет тот же возраст, что и свободно движущаяся в пространстве жизнь вообще» [12]. Сначала человек подражал природе, но затем отважился играть в божество, т. е. с помощью средств и методов, использующих законы космического ритма, стал в противоположность природе создавать искусственные вещи, к которым, несомненно, относится и техника.

С точки зрения О. Шпенглера, техника – это система воли к власти, что наиболее полно проявилось в западноевропейской (фаустовской) цивилизации. Уже в XIII веке францисканский монах Роджер Бэкон определяет естествознание как «экспериментальную науку» и обдумывает в своей келье паровую машину, пароход и самолет, а доминиканец Петр Перегрин мечтает о вечном двигателе, с помощью которого человек лишил бы Бога его всемогущества. Они создали идею машины, с помощью которой можно стать Богом и подчинить космос своей воле. «До этого времени природа оказывала человеку услуги, теперь же она, как рабыня, впрягается в ярмо, и труд ее, как бы в насмешку, оценивается в лошадиных силах. Культура взошла на такой уровень деятельности, что под ней трясется Земля» [13].

В трактате «Человек и техника» О. Шпенглер предрекает неминуемый конец европейской цивилизации, указывая на непосредственную причину ее гибели. Ею станет безудержное и неконтролируемое развитие техники. Он пишет: «Творение восстает против своего творца... Властелин мира становится рабом машины. Она вовлекает его, нас и всех без исключения, знаем ли мы это, и хотим или нет, в свой бег. В этой бешеной упряжке свергнутый победитель будет загнан насмерть» [14].

Когда это произойдет? Исходя из шпенглеровского предположения о существовании культур, приблизительно, через 1000 или 1200 лет и, учитывая, что западноевропейская культура ведет свой отсчет с 1000 года, ее концом может стать 2200 год. О. Шпенглер рисует апокалипсическую картину. Железные дороги и пароходы, так же как когда-то римские дороги и китайская стена, гигантские города с их небоскребами, так же как дворцы старого Мемфиса и Вавилона, однажды будут разрушены и забыты. «История этой техники быстро приближается к неизбежному концу. Она будет исчерпана, как и все великие формы любой культуры. Когда и каким образом, этого мы не знаем» [15].

В свою очередь, Мартин Хайдеггер отверг традиционные ответы, сводившиеся к тому, что техника является нейтральным средством в руках человека или человеческой активности. Он показал, что техника не просто конструирует «технический мир», в котором она победоносна и универсальна, а подчиняет своему диктату едва ли не всё пространство бытия. Присущая ей логика проникает в социальное и человеческое измерение истории, ее инструментальный разум поражает всё сознание эпохи.

Анализируя взаимодействие техники и общества, М. Хайдеггер отмечал, что непродуманное развитие техники, успехи технического прогресса, как правило, оборачиваются сложными социальными проблемами. Заменяя рабочую силу человека на производстве, способствуя повышению производительности труда, техника обостряет проблемы занятости и безработицы. Жилищный комфорт, приобретаемый человеком за счет использования технических устройств, приводит к нежелательной разобщенности людей. Достигнутая с помощью личного транспорта мобильность покупается ценой шумовой нагрузки, неудобных, обезличенных городов и загубленной природы и т. д.

Рассматривая технику как антропологическую проблему, М. Хайдеггер обосновывал точку зрения, в соответствии с которой «...опасность техники для человека заключается, прежде всего, не в уничтожении существования человека, а в преобразовании его сущности» [16].

Совершенствуя технику, человек попадает под ее власть. И чем точнее, совершеннее технические средства, тем больше нуждается в них человек. В конечном итоге человек подчиняет им свое существование, ограничивая собственную свободу и достоинство.

М. Хайдеггер убежден, что современная техника достигла такого уровня развития и обрела столь мощное влияние в мире, что можно говорить об определенной самостоятельности техники, о способности действовать, направлять развитие общества, формировать его мировоззрение. Сейчас уже трудно понять: техника служит человеку или человек – технике. В этой ситуации человек не может говорить о моральной нейтральности научной и технической деятельности, а также пренебрегать этическим контекстом деятельности инженера, обязанного в полной мере осознавать свою ответственность перед человеческой цивилизацией.

«Претензиям» техники к всевластию подлежит оказывать активное противодействие и давать серьезный отпор. На роль такого противодействия претендует сформулированная Жаком Эллюлем этическая концепция отказа от власти техники («Техника», 1954). Эта концепция основывается на прямом и полном отрицании «технологического императива», согласно которому люди могут, а следовательно, должны делать все, что технически им доступно и принципиально выполнимо. Этика отказа от власти техники требует не просто ограничения указанного императива, а полного его отрицания. Исходным принципом этой этической концепции является идея самоограничения человека, которая неизбежно ведет к замене «технологического императива» противоположной установкой, согласно которой люди должны договориться между собой и не делать всего того, что они вообще в состоянии технически осуществить. Эту установку можно назвать «антитехнологическим императивом», она становится и актуальной, и судьбоносной, так как на фоне непомерного усиления власти техники приходит убеждение в полном отсутствии внешних сил, способных противостоять технике и активно противодействовать ее всевластию.

Тем не менее реальной альтернативы технике не существует, поэтому приходится с ней «уживаться». Этическая концепция Ж. Эллюля, по сути, представляет собой утопическую модель развития современного западного общества.

Но утопия вряд ли станет руководством к действию, в этой связи следует вспомнить, что еще П. Энгельмейер выстроил свод требований к технике, которые она обязана соблюдать, будучи фундаментом культуры. Высказываясь в пользу существования в обществе людей с «техническим» складом ума, он писал: «Пушка одинаково служит тому, кто ею владеет; типографский станок безразлично выпускает и Евангелие, и памфлет мракобеса; все зависит от людей, в руках которых машина работает» [17]. По его мнению, техника должна иметь чувство ответственности, основанное на «формуле воли», составляющими которой являются «Истина, Красота, Добро, Польза».

В качестве вывода хотелось бы отметить, что важной заслугой философии техники является попытка проанализировать противоречивое развитие современной техногенной цивилизации, грозящее необратимыми разрушениями природной среды и ставящее под сомнение историческую перспективу человечества. При этом среди философов не существует единства ни в определении причин такого рода противоречий, ни в понимании сущности технической цивилизации.

Автору статьи близка позиция Мартина Хайдеггера, усматривавшего причину губельных угроз, вытекающих из «действия машин и всевозможных устройств», в самой сущности человека, понимающего мир исключительно как материал для удовлетворения своих притязаний, а технику – как орудие, с помощью которого снимаются завесы природных тайн. К сожалению, в такой перспективе бытие предстает только как среда человеческого существования. Поэтому попытки избежать грозящей опасности путем каких-либо внешних ограничений технического развития, рационального обуздания техники безнадежны. С опасностями техники нельзя совладать с помощью самой же техники. Спасение, если оно вообще возможно, состоит в переориентации мышления людей.

Список используемых источников

1. *Рополь Г.* Является ли техника философской проблемой? // *Философия техники в ФРГ.* – М., 1989. – С. 191.
2. *Философия науки и техники / К. Хабибуллин, В. Коробов, А. Луговой, А. Тонконогов.* – М., 2008. – С. 35.
3. Там же. – С. 37.
4. Там же. – С. 35.
5. *Маркс К.* Капитал. – М., 1932. – С. 173.
6. *Рополь Г.* Является ли техника философской проблемой? // *Философия техники в ФРГ.* – М., 1989. – С. 191.
7. *Терешкун О.Ф.* Антропология техники Хосе Ортеги // *Электронный научно-практический журнал «Гуманитарные научные исследования».* – URL: <http://human.snauka.ru> (дата обращения: 1.02. 2016).
8. *Ортега-и-Гассет Х.* Философские произведения. – М., 2000. – С. 172.
9. Там же. – С. 174.
10. *Ортега-и-Гассет Х.* Восстание масс // *Вопросы философии.* – 1989. – № 3.– С. 146–150.
11. *Смотрницкий Е.Ю., Шубин В.И.* Философия техники Освальда Шпенглера: прогнозы и реальность // *Научно-культурологический журнал.* – 2013. – №7 [263]. – URL: <http://www.relga.ru> (дата обращения: 3.02. 2016).
12. *Шпенглер О.* Закат Европы: Очерки морфологии мировой истории. – М.: Мысль, 1998. – Т. 2. – С. 531.
13. Там же – С. 533–534.
14. *Зотов А.Ф., Мельвиль Ю.К.* Буржуазная философия середины XIX – начала XX века. – М.: Высшая школа, 1988. – С. 455.
15. Там же. – С. 456.
16. *Философия Мартина Хайдеггера и современность.* – М.: Наука, 1991. – С. 143.
17. *Энгельмейер П.* Философия техники // *Alma mater. Вестник высшей школы: междисциплинарный науч. журнал.* – 1997. – № 3 – С. 38, 39.

О.А. Курбатов,

кандидат исторических наук;

В.М. Латанов,

кандидат исторических наук, доцент

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ИСТОРИЧЕСКОГО ОПЫТА ГОСУДАРСТВЕННО-ПОЛИТИЧЕСКОГО РУКОВОДСТВА ПОДГОТОВКОЙ ОФИЦЕРСКИХ КАДРОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ УКРЕПЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И ВОИНСКОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В КОСМИЧЕСКИХ ЧАСТЯХ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ СССР (1982–1991)

Статья посвящена рассмотрению определенных аспектов исторического опыта государственно-политического руководства подготовкой офицерского состава для решения задач укрепления технологической и воинской дисциплины в период становления космических частей как новой самостоятельной составной части Вооруженных Сил СССР. В статье отмечается значение государственно-политического руководства этой сферой деятельности в космических частях, раскрывается его основное содержание. Приводятся примеры накопленного опыта деятельности командиров, воспитательных структур и общественных организаций, сделан определенный анализ эффективности государственно-политического руководства подготовкой офицеров космических частей в решении проблем технологической и воинской дисциплины.

Ключевые слова: государственно-политическое руководство, офицерские кадры, технологическая и воинская дисциплина, опытно-испытательная работа (ОИР), боевой расчет, дежурная смена, несение дежурства, космические аппараты (КА), Научно-исследовательский испытательный полигон Министерства Обороны СССР (НИИП МО СССР), отдельный научно-испытательный пункт (ОНИП), нарушение технологической дисциплины (НТД).

Актуальность проблемы определяется необходимостью изучения и практического применения накопленного исторического опыта укрепления технологической и воинской дисциплины в Воздушно-космических силах РФ в условиях возрастания их роли в обеспечении безопасности страны и борьбе с военизированными террористическими группировками в различных регионах мира. Рассмотрение проблемы представляется особенно важным в настоящее время, когда аварии и катастрофы космической техники перестали быть чрезвычайно редким явлением.

В исследуемый период возросло внимание к проблемам технологической и воинской дисциплины было продиктовано рядом обстоятельств.

Прежде всего в условиях предпринимаемых попыток перестройки советской модели общественного развития государственно-политическое руководство СССР придавало большое значение подготовке офицерских кадров Вооруженных Сил, в том числе вопросам их технологической и воинской дисциплины. Роль и задачи военных кадров в усилении боевого потенциала Советских Вооруженных Сил, укреплении воинской дисциплины отмечались в материалах и решениях XXVII съезда КПСС, XIX Всесоюзной партийной конференции, январского (1987) и июньского (1987) Пленумов ЦК КПСС, в ряде постановлений ЦК КПСС [1]. «Необходимо и впредь повышать ответственность командиров, политработников, всего офицерского состава, партийных организаций армии и флота за поддержание на высоком уровне воинской дисциплины, идейное и нравственное воспитание воинов, их боевую и политическую подготовку», – подчеркивалось в постановлении январского (1987) Пленума ЦК КПСС [2].

Требования к офицерским кадрам по укреплению воинской дисциплины в армии и на флоте были конкретизированы в ряде приказов и директив Министра обороны СССР и

начальника Главного политического управления Советской Армии и ВМФ. «Умение офицера поддерживать среди подчиненных крепкую воинскую дисциплину, – говорится в приказе Министра обороны СССР №160 от 19 августа 1987 года «О повышении эффективности работы командного и политического состава армии и флота по укреплению воинской дисциплины», – следует рассматривать как один из главных критериев оценки организаторских способностей, политической и деловой зрелости, определяющей перспективу его роста».

В космических частях требования советского государственно-политического руководства о решающей роли офицерских кадров в решении проблем технологической и воинской дисциплины приобретали особое значение. Это определялось в первую очередь значительным, по сравнению с другими видами Вооруженных Сил, количеством в них офицерского состава. В 1987 году среди военнослужащих космических частей было более 25 % офицеров. В частях запуска КА и управления КА офицеры составляли около 40 %, а в боевых расчетах и дежурных сменах – более 60 %. Более того, в исследуемый период наблюдался относительно быстрый рост офицерского корпуса. Количество офицеров в космических частях увеличилось почти на 40 % [3]. Они выполняли ключевые функции в испытаниях и применении ракетно-космических комплексов, управлении КА на околоземной орбите. Многие офицеры выполняли не только инженерно-испытательные задачи, но и проводили воспитательную работу с личным составом подразделений и частей. Вместе с тем анализ отзывов из войск свидетельствовал, что определенная часть офицеров обладала слабыми командно-организаторскими навыками и навыками воспитательной работы с людьми. Около 20–25 % выпускников военно-учебных заведений, проходящих службу в частях запуска КА 5 НИИП МО, и от 12 до 17 % выпускников, проходящих службу в частях управления КА 153 ГНИИЦ МО, в 1983–1985 годах имели удовлетворительные и неудовлетворительные командирские качества и навыки воспитательной работы [4]. Дополнительные трудности создавало то обстоятельство, что офицерский корпус космических частей формировался за счет выпускников 52 высших военных и 48 гражданских учебных заведений, что не позволяло обеспечить единого подхода к подготовке офицеров в области укрепления технологической и воинской дисциплины [5].

Исключительная важность подготовки офицеров к решению задач технологической и воинской дисциплины в космических частях в рассматриваемый период во многом определялась технической сложностью, уникальностью эксплуатируемой боевыми расчетами, дежурными сменами ракетно-космической техники, нарастанием объема опытно-испытательных работ в частях запуска КА и интенсивности сеансов управления КА в частях управления КА. Части запуска КА 5 и 53 Научно-исследовательских испытательных полигонов МО (НИИП МО) ежегодно проводили более 100 запусков КА. В 1990 году специалистами Командно-измерительного комплекса было выполнено 320 736 сеансов управления с 269 космическими аппаратами, тогда как в 1985 году специалисты управляли 245 объектами и провели 245168 сеансов управления с ними [6]. Анализ нарастания интенсивности сеансов управления КА в частях КИК в 1982–1990 годах представлен в табл. 1.

Таблица 1

**Сравнительный анализ возрастания интенсивности сеансов управления КА
в частях КИК в 1982–1990 годах**

Интенсивность сеансов управления КА	Отдельные научно-испытательные пункты (ОНИП) и годы								
	ОНИП-19			ОНИП-15			ОНИП-14		
	1983	1985	1988	1982	1986	1990	1982	1985	1988
Количество сеансов управления КА в ча- стях	1049	1521	2876	2471	13291	20150	3125	12153	15102

Особую тревогу государственно-политического руководства космической отрасли вызвала наметившаяся негативная тенденция увеличения количества нарушений технологической дисциплины (НТД) (в 1984 году – 17 НТД; в 1985-м – 16 НТД; в 1986-м – 18 НТД; в 1987-м – 32 НТД; в 1988 году – 22 НТД) [7]. Повышения внимания к вопросам технологической дисциплины требовало постановление ЦК КПСС от 12 июня 1987 года «Об имевшем место нарушении воздушного пространства СССР и неотложных мерах по повышению боевой готовности Вооруженных Сил». В Организационно-методических указаниях соединениям и частям космических средств МО СССР на 1988 учебный год отмечалось, что необходимо обеспечить строжайшую дисциплину при несении дежурства, исключить нарушения технологической дисциплины и мер безопасности в ходе опытно-испытательных работ (ОИР) [8].

Анализ причин нарушений технологической дисциплины, совершенных в 1982–1988 годах показывал, что около 50 % из них были вызваны личной недисциплинированностью, безответственностью и халатностью военнослужащих боевых расчетов и дежурных смен. Свыше 40 % нарушений технологической дисциплины являлись следствием низкой специальной подготовки и слабых практических навыков работы на ракетно-космической технике и системах управления КА.

В целом в период с 1982 по 1985 год количество происшествий и преступлений в космических частях возросло в 1,7 раза, почти в 2 раза увеличилось число военнослужащих, осужденных за совершенные правонарушения военными трибуналами, в 1,5 раза – погибших военнослужащих. Среди участников происшествий и преступлений около 10-12 % составили офицеры [9].

Сложившиеся обстоятельства требовали обратить особое внимание на подготовку офицеров космических частей, воспитание у них высокой дисциплинированности и ответственности. В исследуемый период подготовка офицерского корпуса для космических частей проводилась в Военной академии имени Ф.Э. Дзержинского, Военно-политической академии имени В.И. Ленина, военном институте имени А.Ф. Можайского, Харьковском высшем военном командно-инженерном училище имени Н.И. Крылова, Рижском высшем военно-политическом училище имени С.С. Бирюзова. Выпускники этих военных учебных заведений составляли костяк офицерских кадров новой самостоятельной составной части Вооруженных Сил СССР.

В основу подготовки офицерских кадров космических частей были положены требования советского государственно-политического руководства, положения приказов и директив Министра обороны СССР и начальника Главного политического управления СА и ВМФ [10]. «Одной из главных задач командиров, политических органов всех степеней, – отмечалось в приказе Министра обороны СССР 1982 года № 0135 «О дальнейшем совершенствовании подготовки офицерского состава в Вооруженных Силах СССР», – на современном этапе считать подготовку высококвалифицированных офицеров, настойчивую и кропотливую работу по их обучению и воспитанию как важное условие успешного решения всех других задач по подготовке войск, укреплению воинской дисциплины и в целом – повышения боевой готовности Вооруженных Сил».

В военно-учебных заведениях на решение задач подготовки офицерских кадров был направлен учебно-воспитательный процесс, который осуществлялся достаточно квалифицированным и опытным профессорско-преподавательским составом. В 1985 году 100 % преподавателей, ведущих подготовку офицеров для космических частей в Военной академии имени Ф.Э. Дзержинского, Военно-политической академии имени В.И. Ленина, Военном институте имени А.Ф. Можайского, Рижском высшем военно-политическом училище имени С.С. Бирюзова и Харьковском военном командно-инженерном училище имени Н.И. Крылова, имели высшее военное и высшее военно-специальное образование, свыше 50 % среди них были докторами и кандидатами наук, около 80 % – обладали стажем педагогической деятельности пять и более лет [11].

В военном инженерном институте имени А.Ф. Можайского учебно-воспитательный процесс дополнялся работой по реализации комплексного плана коммунистического воспитания. В плане предусматривались мероприятия по формированию у курсантов командных качеств и навыков, воспитанию их в духе высокой воинской дисциплины, аттестованию курсантов и слушателей по окончании очередного семестра и курса [12].

Особую роль в формировании у будущих офицеров космических частей знаний и навыков политико-воспитательной работы по укреплению воинской дисциплины играли кафедры общественных наук. Под руководством преподавателей этих кафедр курсанты и слушатели изучали специальные темы по методике укрепления воинской дисциплины, сплочения воинских коллективов в курсах «Военная психология и педагогика», «Партийно-политическая работа в Вооруженных Силах СССР». К проведению занятий с курсантами и слушателями привлекались опытные офицеры космических частей. В 1983–1985 годах в военном институте имени А.Ф. Можайского, Рижском высшем военно-политическом училище имени С.С. Бирюзова выступили с обменом опытом идейно-воспитательной работы в подразделениях около 60 политработников [13].

Важным критерием качества подготовки офицеров в военно-учебных заведениях служили отзывы командиров космических частей и подразделений. По отзывам командиров в 1985 году более 93 % выпускников базовых военных учебных заведений, ведущих подготовку офицеров для космических частей, оценивались по идейно-теоретической (марксистско-ленинской) подготовке на «хорошо» и «отлично», а по специальной подготовке твердые знания показывали около 95 % офицеров. Вместе с тем результаты отзывов из частей говорили о многих нерешенных проблемах. В частности, на «удовлетворительно» и «неудовлетворительно» оценивались командирские качества 21 % и навыки политико-воспитательной работы 18,2 % выпускников Военной академии имени Ф.Э. Дзержинского. Аналогичные показатели соответственно составили в 1985 году в Харьковском высшем военно-инженерном училище имени Н.И. Крылова 27,4 и 22 %, в военном институте имени А.Ф. Можайского – 24 и 18,7 % [14].

С 1986 года на основе решений советского государственно-политического руководства в космических частях были предприняты определенные меры по перестройке подготовки офицерских кадров, учебно-воспитательной работы в военно-учебных заведениях. В соответствии с решением Министра обороны СССР [15] с 1986 года в Военной академии имени Ф.Э. Дзержинского для космических частей была расширена подготовка офицеров командно-штабной специальности на должности командиров частей запуска и управления КА, начальников испытательных групп и отделов, их заместителей, другие командные должности.

Основные мероприятия по перестройке подготовки офицерских кадров в космических частях были определены приказами и директивами Министра обороны СССР и начальника Главного политического управления Советской Армии и ВМФ № 103 1987 года «О состоянии и мерах улучшения подготовки офицерских кадров в военных училищах», № 300 1987 года «О коренном улучшении подготовки офицерских кадров в военно-учебных заведениях Министерства обороны СССР в свете требований основных направлений перестройки высшего и среднего специального образования в стране», № Д-52 1987 года «О преподавании общественных наук в военно-учебных заведениях Министерства обороны СССР и мерах по его перестройке», другими документами [16]. В приказе Министра обороны СССР № 300 1987 года говорилось, что в основу обучения курсантов и слушателей необходимо положить требования ЦК КПСС о подготовке специалистов широкого профиля, сочетающих глубокое знание фундаментальных вопросов теории с прочными практическими навыками по специальности, сосредоточить главное внимание на дисциплинах, определяющих их военно-профессиональную подготовку. В преподавании общественных наук требовалось добиваться глубокого изучения марксистско-ленинской теории в неразрывной связи с теоретическими

положениями, выработанными КПСС, практикой коммунистического строительства, жизнью войск.

На совещании руководящего состава военно-учебных заведений, состоявшемся 24–25 января 1989 года в Москве и обсудившем пути углубления перестройки военной школы, было подчеркнуто, что в системе военных вузов необходимо не только обеспечить поддержание воинской дисциплины на самом высоком уровне, но и настойчиво учить курсантов и слушателей умелой работе по утверждению строго уставного порядка [17].

В целях более внимательного изучения абитуриентов приказом Министра обороны СССР № 162 от 23 июля 1980 года «О введении в действие руководства по профессионально-психологическому отбору молодежи и военнослужащих и их рациональному распределению по специальности при прохождении дальнейшей воинской службы в Вооруженных Силах СССР» в военных училищах и институтах были введены группы профессионального отбора. С 1987 года с задачей привития курсантам навыков исполнения обязанностей солдата преподаватели военных училищ первые три месяца обучения по тактической и общевойсковой подготовке стали проводить в лагерях. В этом же году для курсантов вводится Государственный экзамен по общевойсковым уставам, а со слушателями-офицерами было решено проводить в период Государственных экзаменов собеседования по этим вопросам [18].

Требования советского государственно-политического руководства, Министра обороны СССР по совершенствованию системы подготовки и переподготовки офицерских кадров космических частей были рассмотрены на Совете командования Управления Начальника космических средств МО в сентябре 1987 года. По итогам Совета командования были определены основные направления перестройки подготовки офицеров, среди которых приоритетными определялись повышение их профессионального мастерства, а также формирование у них командно-организаторских качеств и навыков воспитательной работы с людьми.

Предпринимались меры и по перестройке преподавания общественных наук в военно-учебных заведениях. Согласно требованиям директивы Министра обороны СССР и начальника Главного политического управления Советской Армии и ВМФ от 27 сентября 1987 года № Д-52 «О преподавании общественных наук в военно-учебных заведениях МО СССР и мерах по его перестройке» на общественных кафедрах училищ и институтов на 50 % было увеличено время изучения курса «Военная психология и педагогика», на 15 % – курса «Партийно-политическая работа в Вооруженных Силах СССР» [19].

Полученные в ходе аудиторных занятий знания курсанты и слушатели космических частей закрепляли на войсковой стажировке, которая проводилась с курсантами под руководством опытных преподавателей не менее двух раз за период обучения общей продолжительностью не менее полутора месяцев, а со слушателями – не менее одного месяца. В целях оказания методической помощи курсантам и слушателям в освоении ими форм и методов работы по укреплению воинской дисциплины преподаватели кафедры марксизма-ленинизма Харьковского ВВКИУ имени Н.И. Крылова подготовили учебно-методические пособия «Индивидуально-воспитательная работа», «Причины возникновения конфликтных ситуаций в воинском коллективе и пути их предупреждения». В Рижском ВВПУ имени С.С. Бирюзова в интересах повышения эффективности воспитательной работы была выпущена «Памятка по изучению психологии личности, воинского коллектива». Коллективом кафедры Истории КПСС и партийно-политической работы Военного института имени А.Ф. Можайского было издано учебное пособие «Партийно-политическая работа в космических частях».

Принятыми мерами командирам, воспитательным структурам, общественным организациям космических частей удалось добиться определенных положительных результатов. В 1987 году среди выпускников Военной академии имени Ф.Э. Дзержинского, Военного института имени А.Ф. Можайского, Харьковского ВВКИУ имени Н.И. Крылова, Рижского ВВПУ по сравнению с 1985 годом на 5–7 % сократилось количество офицеров, имеющих слабые навыки политико-воспитательной работы с военнослужащими.

Приоритетным направлением деятельности командиров и воспитательных структур космических частей являлось укрепление технологической дисциплины при проведении опытно-испытательных работ (ОИР) и несении дежурства. По инициативе командования 153 ГНИИЦ МО в 1983 году было введено в действие «Руководство по организации и несению дежурства в частях и подразделениях Главного научно-исследовательского испытательного центра», определившее режим боевого дежурства (дежурства), порядок допуска и подготовки личного состава. Политорганами 5 и 53 НИИП МО в 1985 году были подготовлены методические рекомендации по организации партийно-политической работы при подготовке и проведении опытно-испытательных работ в частях запуска КА. Офицерами управления начальника космических средств МО СССР было выработано «Временное положение по обеспечению технологической дисциплины и профилактике ее нарушений в частях». С 1987 года в части стали направляться обзоры состояния технологической дисциплины, в которых проводился конкретный анализ всех нарушений, их причин и последствий [20].

В связи с ухудшением технологической дисциплины в мае 1988 года командование и политическое управление выступили с обращением к руководящему командно-политическому составу, офицерам-испытателям, партийным и комсомольским организациям космических частей о необходимости коренной перестройки профилактической работы по предупреждению нарушений технологической дисциплины. В Обращении были проанализированы причины нарушений дисциплины дежурства и опытно-испытательных работ, намечались меры по их предупреждению. Наиболее ответственные и опасные операции командиры, офицеры-воспитатели, общественные организации доверяли опытным офицерам-испытателям. Так, при подготовке к запуску КА «Кобальт» в 1987 году в 1-м научно-испытательном управлении 5 НИИП МО на проведение таких сложнейших операций, как обтекание пиропатронов, набор стартовой готовности, установка полетного задания были направлены опытные (проведшие более 10 запусков КА) инженеры-испытатели майор Сметанкин В.В., майор Чижик И.А., капитан Бурый И.И., ст. лейтенант Заставленко А.И [21]. В 6-м научно-испытательном управлении руководство проведением ответственных операций по заправке ракеты-носителя «Энергия» и орбитального корабля «Буран» криогенным топливом было доверено одному из лучших специалистов космодрома «Байконур», мастеру военного дела полковнику Савину Э.И. В целом руководство испытанием этой ракетно-космической системы было поручено ветерану космодрома генерал-майору Гудилину В.Е. «Специалист высочайшего класса, – писал о нем начальник политического управления космических частей генерал-лейтенант Куринный И.И., – профессионально, как это требует дело, оперируя большими людскими и материальными ресурсами, коммунист Гудилин В.Е., сверх того, буквально во всё вносит неудержимое творческое стремление, радость открытия, преодоления» [22]. Такой подход командиров, воспитательных структур и общественных организаций к подбору и расстановке воинов-испытателей позволял обеспечить необходимый качественный состав боевых расчетов и смен. Особое внимание уделялось качественному составу боевых расчетов. Так, в боевой расчет 6-го научно-испытательного управления 5 НИИП МО при испытаниях изделия «5С» в 1985 году входило 33 % отличников боевой и политической подготовки, 14 % мастеров военного дела, 64 % специалистов повышенной классности. В войсковой части 14108 в 1987 году управление КА осуществляли военнослужащие дежурных смен, среди которых было около 40 % отличников боевой и политической подготовки, 100 % мастеров боевой квалификации и классных специалистов [23].

В интересах улучшения дисциплины дежурства и ОИР в космических частях совершенствовались специальную подготовку личного состава боевых расчетов и дежурных смен. Значительные трудности в этой работе создавала высокая степень интенсивности опытно-испытательных работ, в условиях которой приходилось организовать учебный процесс. Части 5 и 53 НИИП МО ежегодно проводили более 100 запусков КА, дежурные смены 153 ГНИИЦ МО ежедневно выполняли около 1000 сеансов управления КА. В этих обстоятельствах в космических частях, наряду с организацией плановой специальной подготовки, про-

водился поиск других форм и методов совершенствования профессионального уровня воинов-испытателей. Обучение велось в ходе опытно-испытательных работ и при несении дежурства. По инициативе ряда организаций КПСС и комсомольских организаций, опытным специалистам давались поручения быть наставниками у военнослужащих, впервые принимающих участие в испытаниях и применении ракетно-космических комплексов. В частях управления КА 153 ГНИИЦ МО, в частях запуска КА 5 и 53 НИИП МО в 1983 году наставниками являлись около 60 % мастеров военного дела. Во взаимодействии с руководством Министерств и ведомств СССР было организовано обучение офицеров на промышленных предприятиях, в научных учреждениях. В 1985–1987 годах в войсковых частях 44275, 96630, 59948, 14108 прошли подготовку более 1000 военнослужащих боевых расчетов и дежурных смен [24].

Подводя итоги несения дежурства, опытно-испытательных работ, командиры, офицеры-воспитатели стали больше внимания уделять анализу причин допущенных нарушений, мерам по их предупреждению, обобщению передового опыта работы общественного актива, лучших воинов-испытателей. В частях 5 НИИП МО, 153 ГНИИЦ МО к этой работе привлекались главные конструкторы ракетно-космических систем и комплексов, летчики-космонавты СССР, представители предприятий промышленности и научных учреждений. По итогам дежурства, испытаний и применения ракетно-космической техники командиры поощряли отличившихся военнослужащих, активистов. В период с 1982 по 1988 год около 900 офицеров боевых расчетов и дежурных смен были награждены орденами и медалями Советского государства за успешное выполнение задач по созданию и производству новой техники [25].

В интересах повышения боевого мастерства в космических частях проводились научно-технические конференции по рассмотрению важнейших проблем развития космических сил и средств, испытания и применения космических комплексов, обеспечения надежного функционирования орбитальной группировки. В 1983, 1985 и 1987 годах на научно-технических конференциях 5 НИИП МО, 153 ГНИИЦ МО на специальных секциях были рассмотрены основные направления совершенствования специальной подготовки военнослужащих космических частей.

Усилия командиров, воспитательных структур, общественных организаций были направлены на вовлечение номеров боевых расчетов и дежурных смен в рационализаторскую и изобретательскую работу.

В период с 1982 по 1988 год воинами-испытателями 5 НИИП МО было подано свыше 30 тысяч рационализаторских предложений и двух тысяч заявок на изобретения. В частях 153 ГНИИЦ МО конкретным результатом этой работы стали 35 тысяч рацпредложений и более 1000 заявок на изобретения [26].

Новые задачи по подготовке офицерских кадров для решения задач укрепления технологической и воинской дисциплины были определены в директиве Министра обороны СССР и начальника Главного политического управления Советской Армии и ВМФ 1989 года № 0105 «О партийно-политической работе по выполнению задач подготовки Вооруженных Сил СССР в 1989 году». В ней говорилось: «Необходимо учить офицерские кадры целенаправленным и активным подходам по искоренению правонарушений и происшествий, вызывающих особую озабоченность партии и народа, наносящих ущерб боевой готовности и авторитету армии и флота» [27]. В Положении по организации боевой и политической подготовки соединений и частей космических средств МО СССР указывалось: «Одной из основных задач командирской подготовки офицеров космических частей является обучение их умению поддерживать постоянную боевую готовность подразделений и частей, организовывать жизнь и деятельность войск в соответствии с требованиями воинских уставов, обеспечивать высокую воинскую дисциплину» [28].

Большое внимание уделялось командирской подготовке офицеров космических частей. Предлагалось изучать основы военной психологии и педагогики, проблемы улучшения воин-

ского воспитания, укрепления воинской дисциплины и правопорядка, советского законодательства. Содержание командирской подготовки офицеров определялось тематическими и учебными планами Министерства обороны, Главного политического управления СА и ВМФ, рекомендациями политического управления и политических органов с учетом специфики космических частей.

В соответствии с вышеуказанными планами на занятиях по военной психологии и педагогике офицеры рассматривали социально-психологические и педагогические основы укрепления воинской дисциплины в части (1983), методику изучения индивидуальных особенностей, подчиненных (1984), пути предупреждения и преодоления конфликтов в воинских коллективах (1988), другие методы и формы психолого-педагогической работы по формированию дисциплинированности военнослужащих.

В связи с возрастанием требований и внимания государственно-политического руководства страны к состоянию дисциплины и порядка в Вооруженных Силах, космических частях по рекомендации Главного политического управления СА и ВМФ политические органы с 1984 года организовали в системе командирской подготовки офицеров проведение классно-групповых занятий по проблемам воинского воспитания, укрепления воинской дисциплины и правопорядка. Так, в 1984 году на занятиях, которые проводили опытные командиры и политработники, были изучены «Опыт организаторской и идейно-воспитательной работы по укреплению воинской дисциплины и правопорядка в части (подразделении)», «Практика анализа состояния воинской дисциплины в части (подразделении)», другие темы. В 1987–1989 годах основное внимание политических органов и парторганизаций в командирской подготовке было обращено на вооружение офицеров методикой и передовым опытом работы по укреплению воинской дисциплины [29].

К проведению занятий по советскому законодательству командиры, воспитательные органы космических частей, как правило, привлекали военных прокуроров, юристов, наиболее подготовленных в правовом отношении офицеров. В ходе учебы офицеры изучали правовые основы укрепления воинской дисциплины. Правовая учеба проводилась дифференцированно с различными категориями офицеров по специальной тематике. Так, с руководящим командно-политическим составом частей запуска КА и управления КА в 1985 году была изучена тема: «Военное право и его роль в укреплении воинской дисциплины и правопорядка», в 1987 году – «XXVII съезд КПСС об укреплении социалистической законности и правопорядка, усилении борьбы с антиподами советского образа жизни. Возрастание ответственности офицерского состава за состояние воинской дисциплины в космических частях». С начальниками испытательных групп, команд, отделов и отделений, их заместителями, наряду с вышеуказанными темами, изучались вопросы организации правового воспитания личного состава в подразделении, ответственности военнослужащих за нарушения правил дежурства, а также другие нормы правовой профилактики неуставных взаимоотношений, нарушений воинской дисциплины.

В соответствии с требованиями приказа Министра обороны СССР 1989 года № 200 «Об организации юридического всеобуча и улучшения правовой работы в Советской Армии и Военно-Морском Флоте» была расширена программа правового обучения офицерских кадров, началось изучение правового минимума с офицерами [30].

Наряду с командирской подготовкой, командиры и политические органы космических частей пытались использовать другие формы и методы обучения офицерского состава практике работы по укреплению воинской дисциплины.

Значительное внимание уделялось подготовке руководящих кадров частей и подразделений запуска КА и управления КА. На сборах с командирами, руководителями воспитательных структур политические органы отводили время для изучения решений государственно-политического руководства страны по проблемам воинской дисциплины, обмена опытом организаторской и воспитательной работы по улучшению воинского порядка и дисциплины. Так, в ноябре 1986 года на сборах командиров частей и их заместителей 5 НИИП МО был

проведен анализ выполнения требований постановления ЦК КПСС «О мерах по укреплению воинской дисциплины в Советской Армии и ВМФ», состояния воинской дисциплины, обсуждались пути ее улучшения, искоренения глумлений и издевательств в воинских коллективах [31].

Для подготовки командиров, офицеров-воспитателей (политработников), инженеров подразделений командование и политическое управление космических частей использовали курсы офицерского состава на базе Военного института имени А.Ф. Можайского. С начальниками и инженерами групп, команд, отделов и отделений, офицерами-воспитателями преподаватели общественных кафедр проводили занятия по актуальным вопросам воспитания военнослужащих, укрепления воинской дисциплины. Такую подготовку ежегодно проходили более 300 офицеров космических частей [32].

Таким образом, в исследуемый период советское государственно-политическое руководство предъявляло жесткие требования к подготовке офицерского состава космических частей для решения задач укрепления технологической и воинской дисциплины. Большое внимание уделялось подготовке офицерских кадров в военно-учебных заведениях, среди которых ведущее место занимал военно-инженерный институт имени А.Ф. Можайского. Особое внимание обращалось на формирование у офицерского состава высокой специальной подготовки и необходимых профессиональных качеств. Принятые меры позволили обеспечить определенный уровень воинской дисциплины, однако достичь более значительных сдвигов в повышении организованности и порядка в космических частях не удалось.

Список используемых источников

1. Материалы XXVII съезда Коммунистической партии Советского Союза. – М.: Политиздат, 1986. – С. 62, 161.
2. Материалы Пленума Центрального Комитета КПСС, 27–28 января 1987 г. – М., 1987. – С.124.
3. Архив войсковой части 55576. – 1987. – Д.12. – Л.4.
4. Архив войсковой части 11284. – Инв. 1070. – Л.4–88.
5. Архив политического отдела Военного института имени А.Ф. Можайского. – 1989. – Д.2. – Л.19.
6. *Бочинин Д.А.* Подготовка специалистов по управлению космическими аппаратами в Вооруженных Силах СССР накануне и в годы перестройки (1982–1991): автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата исторических наук. – СПб., 2008. – С. 25.
7. Архив войсковой части 57275. – Инв. 290. – Л.1–103.
8. Организационно-методические указания соединениям и частям космических средств МО СССР на 1988 учебный год. – М., 1987. – С.4–40.
9. Архив войсковой части 57275. – Инв.290. – Л.1–103.
10. О дальнейшем развитии высшей школы и повышении качества подготовки специалистов: Постановление ЦК КПСС, 29 июня 1979 г. // Справочник партийного работника. – М.: Политиздат, 1980. – Вып. 20, ч.1. – С. 331–338.
11. Архив военной академии имени Ф.Э. Дзержинского. – 1988. – Д.5, – Л.12–18.
12. Комплексный план коммунистического воспитания курсантов и слушателей. – Л.: ВИКИ имени А.Ф. Можайского, 1985.
13. Архив политического отдела военного института имени А.Ф. Можайского. – Инв. 269639. – Л.61; инв. 279715. – Л.51.
14. Архивы Военной академии имени Ф.Э. Дзержинского. – 1985. – Д.26. – Л.182.
15. Архив войсковой части 55576. – 1987. – Д.19. – Л. 34–38.
16. О состоянии и мерах улучшения подготовки офицерских кадров в военных училищах: приказ Министра обороны СССР № 103, 29 апреля 1987 г. – М.,1987.

17. Военная школа – новое качество // *Красная звезда*. – 1989. – 28 января.
18. О состоянии и мерах улучшения подготовки офицерских кадров в военных училищах: приказ Министра обороны СССР № 103, 29 апреля 1987 г. – М., 1987.
19. Архив Военной академии имени Ф.Э. Дзержинского. – 1989. – Д.7. – Л.11–56.
20. *Латанов В.М.* Партийное руководство деятельностью командиров, политорганов и партийных организаций соединений и частей Космических средств МО СССР по укреплению воинской дисциплины (1982–1989 гг.): диссертация на соискание ученой степени кандидата исторических наук. – М., 1990. – С.120.
21. Архив войсковой части 44275. – 1987. – Д.9. – Л.16–20.
22. *Куринный И.И.* Испытатели Байконура // *Красная звезда*. – 1989. – 3 февраля.
23. *Латанов В.М.* Партийное руководство деятельностью командиров, политорганов и партийных организаций соединений и частей Космических средств МО СССР по укреплению воинской дисциплины (1982–1989 гг.): диссертация на соискание ученой степени кандидата исторических наук. – М., 1990. – С.126.
24. Там же. – С.127.
25. Там же. – С.130.
26. Там же. – С.131.
27. О партийно-политической работе по выполнению задач подготовки Вооруженных Сил СССР в 1989 году: директива Министра обороны СССР и начальника Главного политического управления Советской Армии и ВМФ № Д-105, 15 октября 1988 г. – М., 1988.
28. Положение по организации боевой и политической подготовки в соединениях и частях космических средств МО СССР. – М., 1987. – С. 56.
29. *Латанов В.М.* Партийное руководство деятельностью командиров, политорганов и партийных организаций соединений и частей Космических средств МО СССР по укреплению воинской дисциплины (1982–1989 гг.): диссертация на соискание ученой степени кандидата исторических наук. – М., 1990. – С. 56.
30. Об организации юридического всеобуча и улучшения правовой работы в Советской Армии и ВМФ: приказ Министра обороны СССР № 200, 21 мая 1989 года. – М., 1989.
31. Архив политического отдела войсковой части 11284. – Инв.186. – Л.71–72.
32. *Латанов В.М.* Партийное руководство деятельностью командиров, политорганов и партийных организаций соединений и частей Космических средств МО СССР по укреплению воинской дисциплины (1982–1989 гг.): диссертация на соискание ученой степени кандидата исторических наук. – М., 1990. – С. 64.

А.Б. Пауков,
кандидат военных наук, доцент

ОБ ОСНОВНЫХ ЭТАПАХ РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ ШКОЛЫ БОЕВОЙ ПОДГОТОВКИ ВОЙСК

В статье рассмотрены основные этапы развития системы боевой подготовки в вооруженных силах Российского государства. На основании изучения исторических источников проанализированы этапы преобразования правил подготовки войск в целенаправленный, организованный процесс воинского обучения и воспитания, слаживания воинских частей для выполнения боевых задач.

Ключевые слова: система боевой подготовки, обучение и воспитание военнослужащих.

В настоящее время, учитывая сложную военно-политическую обстановку, в Вооруженных Силах Российской Федерации значительно повышаются требования к боевой подготовке.

Реализуя один из основных принципов боевой подготовки – научность обучения – в органах военного управления, в том числе Воздушно-космических силах, идет последовательная работа по внедрению в процесс боевой подготовки передовых, научно обоснованных методик обучения, применению новых эффективных форм, методов и средств обучения, происходит постоянное совершенствование методики боевой подготовки [1].

С целью выработки научно обоснованных предложений в проекты документов, регламентирующих методику боевой подготовки, представляется целесообразным рассмотреть отечественный опыт подготовки войск, который прошел в своем развитии несколько этапов.

Первый этап. Формирование военной организации Русского государства было проведено в ходе военной реформы Ивана IV (Грозного).

Основой русского войска стали стрельцы, составившие в 1550 году отдельное воинское формирование. Стрельцы имели единообразное вооружение и форму, периодически проходили военную подготовку. Стрелецкое войско представляло собой наиболее подготовленную и организованную часть войск [2].

Второй этап. Дальнейшее развитие связано с закреплением имеющегося опыта боевой подготовки и передовых взглядов по вопросам обучения войск в первом воинском уставе – «Уставе ратных, пушечных и других дел, касающихся до военной науки» (1621), разработанном крупным военным теоретиком Онисимом Михайловым.

В частности, в Уставе имеется прямое указание на необходимость проведения ежедневных занятий с солдатами. Только «ежедневное навывание» дает воинское мастерство, так было записано в Уставе. Важно отметить, что в Уставе содержалось требование содержать войска в постоянной боевой готовности. Для этого командирам предписывалось устраивать подчиненным войскам учебные тревоги («всполыхи») [3].

Третий этап. Наиболее отчетливо создание российской школы подготовки войск начинает проявляться с момента образования в начале XVIII века Петром I регулярных армии и флота.

Система боевой подготовки войск характеризовалась следующими основными чертами:

– воинское обучение было подчинено единой цели – подготовить армию для войны и исключить из ее деятельности все, что не ведет к победе в бою;

– система боевой подготовки состояла из двух периодов: одиночная подготовка и подготовка в составе подразделений. Одиночная подготовка молодых и старослужащих солдат проводилась раздельно. При обучении молодых солдат главное внимание уделялось стрельбе, владению штыком, отработке простейших строевых приемов. Для старослужащих солдат

обучение проводилось комплексно и заключалось в отработке действий в основных видах боя;

– высшей формой боевой подготовки являлись учения и двухсторонние маневры.

При обучении войск Петр требовал от офицеров профессионализма, творчества, инициативы, стремления постоянно и усердно получать «воинские знания». В артикулах, уставах и инструкциях, введенных Петром I, были юридически закреплены принципы: командир должен быть образцом нравственности и должен относиться к солдатам как отец к детям; в солдате требовалось развивать чувство воинской чести, товарищества, взаимной поддержки и вырочки, он должен хранить верность царю, слушаться командиров.

Требования к подготовке войск были изложены в разработанных Петром I документах: «Учреждении к бою по настоящему времени...» (1708), «Артикуле воинском» (1714) и «Воинском уставе» (1716). Принципиальными положениями этих документов являлись: единство обучения и воспитания; обучение в процессе повседневной воинской деятельности; преобладание нравственного элемента в военной службе, а также закрепление основного принципа боевой подготовки русских войск: учить так, «как в бою поступать» [4].

Система боевой подготовки, созданная Петром I, позволила качественно повысить уровень боеспособности войск, подготовить солдат, «понимающих свой маневр» и сумевших одержать победу в Северной войне над шведской армией, считавшейся одной из самых сильных в мире.

Четвертый этап. Прусская система, которую вводил Павел I и поступившие на службу в Россию иностранцы, вносила в подготовку войск много ненужного, лишнего, показного. Вся подготовка войск была направлена на то, чтобы добиться безукоризненной строевой выправки подчиненных [2, 5].

Пятый этап. В противоположность прусскому направлению русские полководцы и военачальники, основываясь на принципах, сформулированных Петром I, обучали войска творчески, целесообразно, с учетом национального сознания, умело используя опыт Семилетней войны 1756–1763 годов.

Много сделал для возрождения и дальнейшего развития прогрессивных методик обучения и воспитания русских войск талантливый военачальник П.А. Румянцев.

Румянцев П.А. проводил обучение войск, руководствуясь принципом «от простого к сложному». Разработанная им программа подготовки войск предусматривала на начальном этапе одиночное обучение, на завершающем – подготовку в составе воинских частей и даже соединений. Именно ему принадлежит идея прикрепления к молодым солдатам наставников из числа старослужащих опытных воинов для обучения и воспитания, а также вывода войск в летние лагеря. По предложению П.А. Румянцева в русской армии стали проводиться крупные учения и маневры с отработкой вопросов взаимодействия родов войск и приемов ведения боя, в том числе в перерывах между боевыми действиями [6].

Дальнейшее развитие система боевой подготовки русских войск получила при А.В. Суворове.

При разработке новой системы обучения и воспитания войск, в которой философский взгляд на военное дело был увязан с глубоким пониманием военной психологии и богатой боевой практикой, А.В. Суворов убедительно доказывал, что боеспособность войск находится в непосредственной зависимости от системы обучения и воспитания. Суворов, исходя из главной цели разработанных им стратегических и тактических основ военного искусства, весь процесс обучения войск подчинил основной идее – развитию у солдата наступательного порыва и непреклонного стремления к победе над противником. Главным принципом боевой подготовки А.В. Суворов считал требование, сформулированное Петром I: «Солдат надлежит тому обучать, как в бою поступать». Солдат «и в мирное время – на войне» – таков один из принципов боевой подготовки, сформулированный самим полководцем.

По требованию А.В. Суворова занятия и учения проводились в любую погоду, в любое время года, как днем, так и ночью, при этом на учения войска выводились, как правило, по тревоге. Учения проводились в обстановке, максимально приближенной к боевой.

Каждое учение он заканчивал простым, но обстоятельным разбором. Проводя разбор, Суворов обращался не только к генералам и офицерам, но и непосредственно к солдатам. Отмечал отличившихся, указывал на ошибки и недостатки и на конкретных примерах, иногда показывая практически, учил, как надо было действовать.

Суворовская система обучения войск в мирное время отличалась от всех других систем прежде всего тем, что боевые качества, приобретаемые на войне и выражаемые термином «обстрелянные войска», были присущи в значительной степени войскам Суворова еще до войны.

Обучение войск непосредственно перед боем или сражением Суворов считал важнейшим элементом подготовки войск.

Многолетняя работа А.В. Суворова завершилась написанием труда «Наука побеждать», в котором он обобщил свой тридцатилетний опыт военной службы, свел воедино теоретические выводы по основным вопросам военного дела. Военные специалисты обоснованно рассматривали «Науку побеждать» как классический пример того, как именно надо обучать войска [7].

Передовые идеи обучения и воспитания солдат нашли продолжение в деятельности ученика А.В. Суворова – фельдмаршала Кутузова М.И. К особенностям системы воинского обучения и воспитания, разработанной М.И. Кутузовым, относится сочетание профессионализма с общеобразовательной подготовкой.

В годы войны с Наполеоном М.И. Кутузов разработал и ввел в практику методику ускоренной подготовки ополченцев. При обучении солдат он требовал особое внимание уделять усвоению ими тактических приемов, умению маневрировать на поле боя, стрелять и действовать штыком [8].

Руководствуясь суворовскими принципами обучения, Кутузову удалось в кратчайшие сроки обучить и сформировать боеспособные воинские части, которые одержали в ходе Отечественной войны блестящие победы над «непобедимой» армией Наполеона.

Шестой этап. Значительный вклад в развитие боевой подготовки связан с именами выдающегося военного деятеля М.И. Драгомирова и военного реформатора Д.А. Милютин.

Генерал Драгомиров создал в России целостную школу обучения и воспитания личного состава, которая основывалась на последних достижениях военно-педагогической мысли и учитывала специфику русского национального характера.

Принципиальным положением школы обучения и воспитания М.И. Драгомирова является постулат о решающей роли человека в войне.

Обобщив опыт австро-итало-французской (1859) и австро-прусской (1866) войн, в ходе которых в качестве офицера нейтрального государства М.И. Драгомиров находился непосредственно на фронте, он пришел к важнейшему выводу: чем совершеннее становятся средства вооруженной борьбы, тем больше будет возрастать роль и значение военнослужащего, применяющего это оружие на поле боя.

Система подготовки войск М.И. Драгомирова основывается на разработанных им принципах обучения и воспитания, успешно применяющихся и в современных условиях.

На первое место Драгомиров ставил принцип целесообразности, он говорил: «Войска должно учить в мирное время только тому, что придется делать в военное время».

Важен и поучителен принцип системности и последовательности в обучении: «Учить войска следует от простого к сложному, от легкого к трудному, от известного к неизвестному».

Существенное место М.И. Драгомиров отводил принципу сознательного отношения к воинскому обучению со стороны как обучаемых, так и обучающихся. Драгомиров М.И. резко выступал против зубрежки и муштры. По его мнению, в обучении необходимо применять методику, которая развивает инициативу и самостоятельность обучаемых.

В тесной связи с принципом сознательности находится принцип наглядности обучения. Принцип означает, что учить нужно воочию, преимущественно примерами, показывая, что и как делать, прибегая к устным объяснениям только в случае действительной необходимости, когда нужно исправить ошибку обучаемого. Необходимо разграничивать, что вводить в сознание солдата рассказом, а что показом.

Еще один принцип, сформулированный М.И. Драгомировым, – принцип прочности усвоения, который требует учить немногому, но много и основательно. Важнейшее место в своей системе М.И. Драгомиров отводил воспитанию боевого духа, который должен быть основан на патриотизме, моральном превосходстве над противником и правоте идеи, во имя которой солдат воюет [9].

Совершенствовал систему боевой подготовки военный министр Д.А. Милютин.

Милютин Д.А. впервые разработал план распределения годовых занятий в войсках, который устанавливал общую для всей армии программу боевой подготовки.

Седьмой этап. С момента создания Красной армии вопросы укрепления обороноспособности советского государства, строительства Красной армии, обучения и воспитания личного состава решались на высшем государственном и партийном уровне.

Так, специальные решения по указанным вопросам принимались на VII и VIII съездах РКП (б), В.И. Ленин неоднократно обращался в своих выступлениях и статьях к вопросам обучения военному делу.

Советские военачальники М.В. Фрунзе, М.Н. Тухачевский, И.П. Уборевич, И.Э. Якир, военный теоретик А.А. Свечин приступили к разработке руководящих документов и научно-методических трудов по организации боевой подготовки войск.

Наиболее конкретно и творчески вопросами организации боевой подготовки занимался М.В. Фрунзе. Под его непосредственным руководством был введен единый план боевой подготовки Красной армии, рассчитанный на весь срок пребывания красноармейца как в строевых (кадровых), так и территориальных воинских частях. Именно Фрунзе ввел в практику сохранившуюся и в Вооруженных Силах современной России ежегодное подведение итогов и постановку задач по боевой подготовке в приказе руководителя военного ведомства.

В 20-х годах XX века в войска поступают организационные указания «О производстве летних занятий по окончании начального строевого обучения и усовершенствовании боевой подготовки войск», а также методические пособия, в которых вопросы обучения и воспитания излагались в систематизированном виде: «Что нужно знать красноармейцу для обучения новобранцев», «Методика обучения красноармейца военному делу», «Методика боевой подготовки бойца и части в пехоте» [10].

Система обучения и воспитания красноармейцев строилась так, чтобы обеспечить их всестороннее развитие, повысить общий культурный уровень, ликвидировать неграмотность, добиться сознательного усвоения военных и политических знаний, умений и навыков, обеспечить физическое развитие.

Восьмой этап. Организация, содержание и методика боевой подготовки в годы Великой Отечественной войны носили многообразный и динамичный характер.

Опыт боевых действий убедил командный состав, что обучение войск во фронтовой обстановке является обязательным условием успеха в бою. Для повышения уровня подготовленности личного состава использовалось любое свободное от боев время – нахождение во втором эшелоне, периоды подготовки к боям, паузы между боями.

В основу боевой подготовки были положены требования Боевого устава пехоты 1942 года, который приобрел значение общевоинского устава и распространялся на все другие рода войск, ряда уставов и наставлений родов войск (бронетанковых и механизированных войск, кавалерии, артиллерии, зенитной артиллерии), а также обобщенный боевой опыт войск, изложенный в новом Полевом уставе 1943 года [11].

Девятый этап. В послевоенный период развитие системы боевой подготовки осуществлялось на основе опыта, полученного Вооруженными Силами во время Великой Отечественной войны, в ходе крупных войсковых учений и маневров.

Опыт боевых действий в Афганистане, а также опыт, полученный в ходе проведения контртеррористических операций на Северном Кавказе, заставили серьезно задуматься над содержанием и методикой боевой подготовки, развитием учебно-материальной базы для ее проведения.

В современных условиях направленность боевой подготовки определяется исходя из положений Военной доктрины Российской Федерации и с учетом тенденций развития военного искусства. Она формируется на научной основе с использованием опыта войн, вооруженных конфликтов и учений, перспектив развития организационных форм и технического оснащения войск (сил), а также опыта подготовки армий иностранных государств.

Таким образом, изменение направленности процесса боевой подготовки в ходе развития российской школы подготовки войск обусловлено следующими факторами:

- 1) обобщением боевого опыта войск, закрепленного в уставах, наставлениях, руководствах, приказах, инструкциях, методических рекомендациях;
- 2) проводимыми в ходе военных реформ существенными преобразованиями военной системы государства с целью ее приведения в качественно новое состояние, соответствующее реалиям внутреннего и международного положения государства;
- 3) военно-теоретическими трудами полководцев и военных теоретиков.

Список используемых источников

1. Наставление по боевой подготовке в Вооруженных Силах Российской Федерации. – М.: Воениздат, 2014. – 220 с.
2. Во имя России: российское государство, армия и воинское воспитание. – М.: Русь РКБ, 1999. – 243 с.
3. История военного искусства: учебник для военных академий / Б.В. Панов, В.Н. Киселев, И.И. Картавцев и др. – М.: Воениздат, 1984. – 535 с.
4. Пауков А.Б., Инюшева Е.А. О некоторых вопросах развития системы боевой подготовки в Вооруженных Силах России // Материалы Межвузовской научно-практической конференции «Совершенствование управления повседневной деятельностью воинских частей и соединений». ВИ (ЖДВ и ВСО) Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева. – Петергоф, 2015. – С. 28–34.
5. Пауков А.Б. Зарождение и развитие форм и методов боевой подготовки вооруженных сил (IV в. до н.э. – начало XX в.) // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2015. – Вып. 648. – С. – 231–237.
6. Бескровный Л.Г. Русская армия и флот в XVIII в. – М., 1958. – 662 с.
7. Наука побеждать. – М., 1984. – 605 с.
8. Жилин П.А. Михаил Илларионович Кутузов: Жизнь и полководческая деятельность. – М., 1978. – 597 с.
9. Бескровный Л.Г. Русская армия и флот в XIX в. – М., 1973. – 622 с.
10. Пауков А.Б. Развитие форм и методов воинского обучения личного состава Рабоче-крестьянской Красной армии 1918–1945 гг. // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2015. – Вып. 649. – С. 235–238.
11. Великая Отечественная война 1941–1945. – М., 1985. – 832 с.

Н.А. Станкевич;
С.В. Федулов,
кандидат исторических наук, доцент

СОЗДАНИЕ И РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКОГО СОТРУДНИЧЕСТВА РОССИЙСКОЙ ИМПЕРИИ, СССР С ЗАПАДНЫМИ СТРАНАМИ В 1890–1950 ГОДЫ

Статья посвящена актуальной и малоизученной проблеме создания, становления и развития системы военно-технического сотрудничества нашей страны на разных этапах ее развития, а также формированию соответствующих структур. Данные структуры играли важную роль в оснащении армии и флота новыми видами вооружения и военной техники в мирное время и получении продукции военного и военно-морского назначения, материалов, оборудования в условиях военного времени, а также при решении проблемы импортозамещения.

Ключевые слова: военно-техническое сотрудничество, продукция военного и военно-морского назначения, Русский правительственный комитет в Лондоне, Комитет по заготовке в Америке предметов боевого и материального снабжения армии и флота, морские агенты, комиссия по распределению валюты на заграничные заказы, совещание по морским перевозкам, Межведомственный комитет по заграничному снабжению, Главное управление по заграничному снабжению.

Военно-техническое сотрудничество Российской империи с мировыми державами началось с Петровских времен. Однако только в конце XIX – начале XX века оно стало формироваться во внятную, четко сформулированную государственную политику, которая сводилась к следующему. Во-первых, зарубежные производственные достижения стали использоваться для развития отечественной промышленности. Во-вторых, был введен жесткий контроль за расходованием государственных средств, выплачиваемых за импортные товары, повышена ответственность руководителей министерств и ведомств в этом вопросе. В-третьих, был взят курс на приобретение у ведущих мировых держав только отдельных, современных видов продукции военного и военно-морского назначения для использования их в качестве образцов производства отечественных аналогов. Исключение для более массового приобретения морской продукции составляла лишь та ее часть, стоимость которой на российских предприятиях обходилась значительно дороже или не было освоено ее производство [1].

С конца XIX века до Первой мировой войны сотрудничество велось по нескольким направлениям:

- 1) поездки российских специалистов за рубеж, а также иностранных – в Россию для ознакомления с производственным процессом и научно-техническими достижениями;
- 2) приглашение иностранных специалистов на отечественные предприятия для проведения консультаций и оказания технической помощи;
- 3) закупка образцов военной и военно-морской техники и вооружения;
- 4) приобретение производственных технологий, лицензий, чертежей и секретов изготовления продукции военного и военно-морского назначения.

Кроме того, в интересах получения информации и образцов ВВТ использовался в определенных случаях и агентурный путь их добывания.

Таким образом, начала формироваться система, функционирующая в условиях мирного времени, главным недостатком которой было отсутствие специальных структурных подразделений Военного и Морского министерств, которые занимались бы исключительно вопросами военно-технического сотрудничества.

Начало Первой мировой войны показало несовершенство функционирования данной системы в условиях военного времени. На первый план вышли проблемы, связанные с обеспе-

чением армии и флота всем необходимым в условиях военного времени, требовал решения вопрос импортозамещения, т. е. система сотрудничества, сложившаяся в мирное время, нуждалась в реформировании. В годы Первой мировой войны обеспечение армии и флота осуществлялось благодаря мобилизации отечественной промышленности и приобретения военной и военно-морской техники, вооружения, боеприпасов, сырья, оборудования в массовом объеме у стран-союзниц за счет полученных от них кредитов. Проблема импортозамещения решалась путем освоения выпуска продукции военного и военно-морского назначения, ранее получаемой из-за рубежа, на отечественных предприятиях; наиболее рационального использования полученной импортной военной и военно-морской техники, вооружения; приобретения аналогичной ранее получаемой импортной продукции военного и военно-морского назначения у стран-союзниц [2].

Все вышеперечисленное осуществить без реформирования системы военно-технического сотрудничества не представлялось возможным. Именно в годы Первой мировой войны начали формироваться российские зарубежные и внутригосударственные структуры системы военно-технического сотрудничества, функционирующие в интересах армии и флота. К зарубежным структурам относились: Русский правительственный комитет в Лондоне [3], Комитет по заготовке в Америке предметов боевого и материального снабжения армии и флота [4], Морские агенты в странах пребывания [5]. В число внутригосударственных структур входили: Комиссия по распределению валюты на заграничные заказы [6] под председательством Военного министра и Совещание по морским перевозкам [7] под председательством Морского министра. Создавая вышеперечисленные структуры, правительство Российской империи, стремилось развивать и совершенствовать систему военно-технического сотрудничества в условиях военного времени. Вместе с тем имелся и существенный недостаток такой системы, формируемой для военного времени, – отсутствовала единая государственная структура, координирующая импортные заказы всех министерств и ведомств Российской империи, а также орган, выполняющий организационные, технические функции по размещению заказов, контролю за их реализацией и использованием импортной продукции военного и военно-морского назначения, организующий одновременно ее доставку.

Ликвидировать данный недостаток удалось лишь в апреле 1917 года Временному правительству, которое утвердило предложение Военного и морского министра А.И. Гучкова об образовании Межведомственного комитета по заграничному снабжению [8] из представителей ведомств и общественных организаций. Кроме того, было сформировано при Военном и морском министре новое Главное управление по заграничному снабжению (ГУЗС, Главзагран) [9], на которое возлагалось как делопроизводство по всем делам вышеупомянутого комитета, так и вся текущая работа по согласованию и осуществлению заграничного снабжения.

Со сменой государственного строя в октябре 1917 года старые институты власти были ликвидированы, в том числе и Межведомственный комитет по заграничному снабжению, но Главзагран новой властью был сохранен. Данная структура занималась вопросами учета выполненных зарубежными фирмами контрактов и инвентаризацией полученной импортной продукции, которые поступали и использовались крайне хаотично, а также готовила расчеты по кредитам со странами Антанты. Однако интервенция со стороны этих стран, их активная поддержка сил, стремящихся реставрировать свергнутый режим, вынудили Советское правительство отказаться от царских долгов. Гражданская война, интервенция нанесли колоссальный ущерб, страна находилась в состоянии разрухи, полной политической и экономической изоляции. Эти факторы повлияли и на военно-техническое сотрудничество, которое фактически было свернуто. Вместе с тем была сформирована и сохранена государственная структура, его осуществляющая.

Постепенно страна восстанавливалась, налаживались политические, дипломатические отношения СССР с западными странами, развивалось военное и военно-техническое сотрудничество, важную роль в котором сыграла сохраненная структура. Главзагран постоянно

видоизменялся, адаптировался к складывающимся условиям, менял название, в разное время он назывался Особым отделом заграничных военных заготовлений, Специальным отделом экстренных заказов, Отделом валютных расчетов, Отделом внешних заказов (ОВЗ) [10].

Находясь в составе Народного комиссариата по военным и морским делам (НКВМД), Наркомата обороны (НКО) он был и самостоятельным подразделением наркомата, и входил в структуры Управления снабжения (УС) РККА, Финансово-планового управления УС РККА, Финансово-планового управления РККА, Военно-хозяйственное управление РККА. Однако главной его задачей являлось решение вопросов военно-технического сотрудничества, а именно: обеспечение армии и флота продукцией военного и военно-морского назначения с учетом их запросов; инвентаризация получаемых товаров и контроль их использования. В процессе своей деятельности структура военно-технического сотрудничества самым тесным образом была взаимосвязана с Наркоматом внешней торговли (НКВТ) выполняющим все внешнеторговые и внешнеэкономические функции, а также Всесоюзными импортными объединениями, которые в соответствии с решением руководства страны могли заключать контракты с иностранными фирмами.

Государственная политика военно-технического сотрудничества СССР в интересах армии и флота в период становления Советской власти осуществлялась по следующим направлениям: приобретение новых образцов военной и военно-морской техники, вооружения для возможного производства их аналогов на отечественных предприятиях; направление за границу советских специалистов для приемки готовой продукции и ознакомления с передовыми технологиями, производственными процессами; приглашение иностранных инженеров и техников для оказания шеф-монтажной помощи на отечественных предприятиях. Также активно использовался апробированный ранее агентурный путь.

5 января 1939 года, согласно решению Комитета обороны при Совнаркоме СССР, ОВЗ был передан из Наркомата обороны в Наркомвнешторг под названием Спецотдел НКВТ. Наркомы К.Е. Ворошилов (обороны) и А.И. Микоян (внешней торговли) 17 января 1939 года подписали акт передачи отдела. В этом документе он впервые был назван Инженерным отделом (ИО), и такое название закрепилось за ним в последующем.

Укажем также, что двумя годами ранее, в 1937 году, в связи с образованием Народного комиссариата ВМФ (НКВМФ) флот был выделен в самостоятельное ведомство. Была изменена концепция и основы боевого применения Военно-морского флота. Флот должен был стать океанским. Поэтому в 1938 году был принят «Десятилетний план строительства кораблей ВМФ» (1938–1947). В его реализации немаловажная роль отводилась военно-техническому сотрудничеству. В сложившейся ситуации возникла необходимость создания самостоятельной структуры военно-морского технического сотрудничества в системе НКВМФ.

С 1938 года в НКВМФ импортными поставками по американским заказам занималось 3-е отделение 1-го отдела Управления кораблестроения (УК) НКВМФ, которое возглавлял военинженер 2 ранга В.И. Минаков, а по германским и всем остальным заказам – 9-е отделение Главного морского штаба (ГМШ) ВМФ, которым руководил военинженер 2 ранга Сериков А.П. [11].

По мнению авторов, такое распределение заказов по двум абсолютно разным структурным подразделениям, хотя и одного ведомства, без четкого определения круга обязанностей негативно влияло на организацию и качество военно-морского технического сотрудничества. Это вынудило Наркома ВМФ Н.Г. Кузнецова 23 мая 1939 года издать Приказ «О безответственном использовании импортных товаров» [12]. Срочно требовались серьезные организационные мероприятия, и они были проведены. Приказом Наркома ВМФ Н.Г. Кузнецова от 11 июня 1940 года было расформировано 9-е отделение ГМШ ВМФ и на его базе создан Отдел внешних заказов (ОВЗ) ВМФ [13] при заместителе Наркома ВМФ, в то время адмирале И.С. Исакове, он являлся самостоятельной структурой в составе НКВМФ. Начальником отдела был назначен военинженер 2 ранга Сериков А.П.

Необходимо отметить, что, совершенствуя систему военно-морского технического сотрудничества, руководство страны создало ряд зарубежных структур, как например: морские агенты и эксперты в западных странах; Контрольно-приемный аппарат и конструкторское бюро (КПА КБ) в Германии. При этом ОВЗ ВМФ выполнял координирующие и организационные функции. На него были возложены следующие задачи: контроль и наблюдение за состоянием, использованием по назначению, учету импортного оборудования; изучение импортных образцов вооружения; своевременное выполнение заказов; приемка оборудования; своевременная обработка технической документации; организация связи Центральных управлений ВМФ с НКВТ и КПА КБ в Германии; размещение заказов через объединения НКВТ; оформление документов для специалистов, командированных за границу; финансовый учет и отчетность, составление сметы на кредиты по импортным заказам и расчетам. В этот период Советский Союз наиболее активно сотрудничал с такими западными странами, как Германия – подводное и надводное судостроение, морская артиллерия, минное и минно-тральное вооружение, морская техника и двигатели; Италия – надводное судостроение, оптика и перископы, торпедное вооружение, морская зенитная артиллерия; Франция – судостроение, артиллерия; США – военно-морская техника и вооружение; Великобритания – заказы продукции военно-морского назначения.

С началом Великой Отечественной войны характер военно-технического сотрудничества СССР с западными странами вновь изменился. Опять, как и в годы Первой мировой войны, перед руководством нашей страны остро встали проблемы снабжения армии и флота; мобилизации экономики страны и перевода ее на функционирование в условиях военного времени; импортозамещение продукции военного и военно-морского назначения, получаемых из Германии. Все эти проблемы вызывали необходимость реформировать структуры военно-технического сотрудничества и адаптировать их к эффективной работе в условиях военного времени.

Вместе с тем мировые войны XX века носили коалиционный характер. Таким образом, была сформирована и антигитлеровская коалиция, в которой вся тяжесть борьбы с нацистской Германией легла на Советский Союз. С началом поставок из США по ленд-лизу продукции военного и военно-морского назначения, сырья и материалов у Советского правительства появилась возможность частично обеспечивать боевые действия армии и флота, снабжать оборонную промышленность. Импортные поставки, в частности в интересах ВМФ, получаемые в больших количествах, требовали эффективной деятельности структуры военно-морского технического сотрудничества. Однако с началом Великой Отечественной войны после ликвидации заказов в Германии, Голландии, Финляндии на реализации остались всего 11 заказов, размещенных в США. Ввиду неясности обстановки и перспектив дальнейшей деятельности ОВЗ, по решению заместителя Наркома ВМФ адмирала Галлера Л.М., в июне 1941 года штат отдела с девяти человек был сокращен до трех [14].

Вопросами военно-технического сотрудничества в интересах ВМФ занимались не подготовленные для решения данных задач Отдел внешних сношений (ОВС) НКВМФ и отдельные представители Центральных управлений (ЦУ) ВМФ. В результате этого поставки по ленд-лизу на первом этапе были провалены. Продукция военно-морского назначения из США и Великобритании поступала устаревшая и низкого качества, а новые образцы военно-морской техники, вооружения прибывали бесконтрольно, некомплектно, разными транспортом, поэтому осуществлять их боевое применение не представлялось возможным.

Ситуация кардинально изменилась в сентябре 1942 года, когда Нарком ВМФ Н.Г. Кузнецов утвердил «Положение об Отделе внешних заказов НКВМФ СССР» [15]. Данным Положением определялось следующее: «Отдел внешних заказов является органом НКВМФ СССР, обеспечивающим реализацию импортных заказов для ВМФ. Основной его функцией является техническое и оперативное руководство реализацией импортных заказов ВМФ СССР и контроль над использованием импортного имущества и иностранной техники до момента их сдачи ЦУ НКВМФ и соответствующим органам на флотах. Дальнейший кон-

троль над использованием и эксплуатацией импортного имущества, возлагается на соответствующие ЦУ НКВМФ» [16]. Вместе с тем ОВЗ получал полномочия ЦУ НКВМФ, на него возлагались контролирующие и координирующие функции, обусловленные масштабными поставками импортного имущества. Штат отдела был увеличен до 14 сотрудников. В этом же году в составе НКВМФ была сформирована еще одна структура военно-морского технического сотрудничества – Военные приемки импортных грузов (ВПИГ) при Военных Советах флотов (флотилий) [17]. Подчинялись они ОВЗ ВМФ и осуществляли контроль полноты, комплектности и качества получаемой в советских портах импортной военно-морской продукции и отправку ее по назначению.

Вместе с тем, учитывая опыт военно-технического сотрудничества с западными странами в годы Первой мировой, Советское правительство создало зарубежные государственные структуры импортных поставок продукции военного и военно-морского назначения, и в первую очередь Правительственную закупочную комиссию (ПЗК) СССР в США во главе с председателем генерал-майором Беляевым А.И. Заместителем председателя ПЗК занимающимся военно-морскими поставками был назначен контр-адмирал Акулин М.И. [18]. На данную комиссию было возложено ведение всех вопросов, связанных с поставкой различных видов вооружения и других товаров, как получаемых по ленд-лизу, так и за наличный расчет. Для осуществления мероприятий по реализации военно-морских заказов в составе ПЗК были сформированы: Отдел морских заказов (ОМЗ), возглавляемый инженер-капитаном 2 ранга Минаковым В.И. и Морская артиллерийская группа (МАГ) в Отделе артиллерии и боеприпасов (ОАБ), возглавляемая капитаном 1 ранга Кирилюком А.Н. [19].

При ОМЗ была создана Группа приемки судов [20], строящихся в США по заказу СССР, которая совмещала функции двух абсолютно разных структур, успешно действовавших в Советском Союзе. Военного представительства на предприятиях и заводах (которое занималось наблюдением за ходом создания и производства отдельных узлов и образцов военной техники) и Постоянной комиссии по испытаниям и приемке кораблей (которая имела задачу приема на вооружение законченного, построенного и готового для вступления в строй типового или серийного объекта в целом). Вместе с тем функции группы приемки ОМЗ были расширены (создание условий для проживания и обучения советских экипажей для строящихся кораблей). А также она была адаптирована к условиям зарубежной деятельности. «Детали, агрегаты и изделия, принятые представителями американского Адмиралтейства и имеющие соответствующие клейма и документы, в случае невозможности производства приемки, принимаются Группой приемки без испытания и контроля» [21].

Помимо зарубежных структур военно-технического сотрудничества СССР с США в Великобритании активно и плодотворно функционировала советская военная миссия во главе с контр-адмиралом Харламовым Н.М. Аналогичные миссии стран-союзниц по антигитлеровской коалиции были направлены в Советский Союз, а именно: военная миссия Великобритании в СССР под руководством контр-адмирала Д. Фишера и военная миссия США в СССР, возглавляемая генералом Джоном Р. Дином.

Таким образом, в годы Великой Отечественной войны Советское правительство, руководство ВМФ сформировали четкую, эффективную и продуманную структурную систему военно-технического сотрудничества. При этом важная координирующая роль отводилась ОВЗ НКВМФ. Данное структурное подразделение обобщало запросы в импортной продукции флотов, флотилий, центральных управлений ВМФ и Наркомата судостроительной промышленности (НКСП); согласовывало возможность закупки запрашиваемой импортной продукции с НКВТ и созданными для этой цели зарубежными структурами военно-технического сотрудничества, готовило предложения Наркома ВМФ руководству страны по размещению импортных заказов в интересах Военно-морского флота, контролировало через ВПИГ своевременность, полноту и качество получаемой продукции военно-морского назначения, а также доставку ее заказчику. Круг задач ОВЗ и его штат увеличился. Отдел по праву стал одним из центральных управлений НКВМФ.

Благодаря созданию данной системы поставки по ленд-лизу коренным образом улучшились. В конце Великой Отечественной войны и в первые послевоенные годы объем задач, стоящих перед ОВЗ НКВМФ, значительно увеличился. 8 августа 1945 года на ОВЗ была возложена реализация решений Правительства СССР по передаче ВМФ импортного оборудования и материалов в счет репарационных поступлений и их учет. Вместе с тем Трофейному отделу НКВМФ предписывалось в трехдневный срок передать ОВЗ всю документацию, связанную с вопросами импортных поступлений в счет репарационных платежей [22].

После окончания Второй мировой войны прекратились поставки по ленд-лизу, зарубежные структуры военно-технического сотрудничества были расформированы. ОВЗ занимался ликвидацией импортных заказов, расчетами по ним, учетом полученной и подлежащей возвращению поставщикам продукции военно-морского назначения. Одновременно с этим в ходе взыскания репараций от Германии и стран ее союзниц значительно возрос объем задач, решаемых ОВЗ ВМФ, в его обязанности входили: учет полученных и распределенных трофейных кораблей, военно-морской техники, вооружения, оборудования, в том числе и для НКСП; размещение на предприятиях зарубежных фирм заказов в счет репараций и расчет за них. Для решения этих задач в Германии была создана зарубежная структура – Военно-морской отдел (ВМО) Советской военной администрации (СВА). С окончанием репараций данная структура была расформирована.

Вместе с тем в ходе серьезных организационно-штатных изменений военное и военно-морское ведомства были объединены в одно – Министерство обороны СССР. При этом военно-морское техническое сотрудничество вновь стало составной частью военно-технического сотрудничества, которым занимался инженерный отдел (управление) Министерства внешней торговли. В 1948 году ОВЗ ВМФ был расформирован, личный состав отдела, все дела, документы, наработки были переданы в учетно-плановый отдел ВМФ. С этого времени вопросами военно-технического сотрудничества занималось Инженерное управление (ИУ) Министерства внешней торговли (МВТ), 10-е Управление Генерального штаба и 10-й отдел Морского генерального штаба (МГШ) (позднее Главного штаба ВМС).

Таким образом, в процессе развития система военно-технического сотрудничества прошла большой и сложный путь своего развития. Она формировалась, развивалась, совершенствовалась и реформировалась в соответствии с потребностями армии и флота, государственной политикой руководства страны. Структуры военно-технического сотрудничества внесли значительный вклад в укрепление безопасности нашей Родины. Благодаря этому в послевоенный период Советский Союз вышел на мировой рынок экспорта вооружения, в том числе и военно-морского. Это было обусловлено следующими факторами:

- 1) высоким международным военным и политическим авторитетом страны-победительницы, вынесшей на себе всю тяжесть войны;
- 2) научно-производственными возможностями советского оборонно-промышленного комплекса, которые позволяли выпускать самую передовую продукцию военного и военно-морского назначения;
- 3) созданием военной и военно-морской техники и вооружения, которое велось в соответствии с требованиями и спецификациями, разработанными на основе военно-научных требований военной и военно-морской тактики, военного и военно-морского оперативно-тактического искусства разработанными в ходе Великой Отечественной войны;
- 4) необходимостью оказания помощи дружественным странам народной демократии в создании ими собственных военных и военно-морских сил.

Список используемых источников

1. Российский государственный архив Военно-морского флота (далее РГА ВМФ). – Ф-401. – Оп. 6. – Д. 94. – Л. 9.
2. Российский государственный исторический архив (далее РГИА). – Ф.1263. – Оп. 4. – Д. 185. – Л. 1–48.
3. РГА ВМФ. – Ф. 401. – Оп. 6. – Д. 1160. – Л. 175–176.
4. РГИА. – Ф. 1525. – Оп. 1. – Д. 474. – Л. 36.
5. РГИА. – Ф. 1525. – Оп. 1. – Д. 474. – Л. 41.
6. РГА ВМФ. – Ф. 401. – Оп. 6. – Д. 1160. – Л. 18–19.
7. РГИА. – Ф. 1525. – Оп. 1. – Д. 2. – Л. 77
8. РГИА. – Ф. 1525. – Оп. 1. – Д. 2. – Л. 5–6
9. РГИА. – Ф. 1525. – Оп. 1. – Д. 474. – Л. 22.
10. РОСОБОРОНЭКСПОРТ. – URL: /http:// www.roe/ru._ 60_ vts. html (дата обращения: 15.10.2013).
11. РГА ВМФ. – Ф.Р-1876. – Оп.1. – Д.3. – Л. 97.
12. РГА ВМФ. – Ф.Р-1876. – Оп.1. – Д.1. – Л.32–38.
13. РГА ВМФ. – Ф.Р-1876. – Оп.1. – Д.1. – Л. 56–61.
14. Центральный военно-морской архив (далее – ЦВМА). – Ф. 928. – Оп. 3. – Д. 321. – Л. 2.
15. ЦВМА. – Ф. 928. – Оп. 3. – Д. 41. – Л. 147–150.
16. Там же. – Л. 147.
17. Там же. – Л. 95-97.
18. ЦВМА. – Ф. 928. – Оп. 3. – Д. 330. – Л. 7.
19. Там же. – Л. 7-8.
20. ЦВМА. – Ф. 928. – Оп. 3. – Д. 57. – Л. 51–54.
21. Там же. – Л. 52.
22. ЦВМА. – Ф. 14. – Оп. 47. – Д.281. – Л. 772.

Д.Р. Худайназарова,

кандидат педагогических наук

Военная академия связи имени С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург;

В.П. Чернолес,

доктор педагогических наук, профессор

Военная академия связи имени С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург

ИННОВАЦИОННЫЕ ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ СТАНОВЛЕНИЯ СОЦИАЛЬНОЙ ИДЕНТИЧНОСТИ ВОЕННОСЛУЖАЩИХ ЖЕНСКОГО ПОЛА В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ ВОЕННОГО ВУЗА

Рассмотрено содержание понятия «педагогические технологии» в контексте становления социальной идентичности военнослужащих женского пола (ВСЖП). Обоснована операционная модель оценки достигнутого уровня социальной идентичности ВСЖП на основе многоуровневого представления концептуального, формальных и измеряемых критериев. Приведена система инновационных педагогических технологий и средств становления социальной идентичности ВСЖП.

Ключевые слова: социальная идентичность, педагогические инновации, инновационные педагогические технологии, военнослужащие женского пола, военный вуз, операционная модель.

ВВЕДЕНИЕ

Наблюдающаяся феминизация Вооруженных Сил (ВС) Российской Федерации (РФ) вызвала научную потребность в переоценке прежних представлений о роли женщины в современной армии. Исследование факторов и обстоятельств, способствующих и препятствующих доведению уровня подготовки военнослужащих женского пола (ВСЖП) в ВС РФ до требований, соответствующих принятым стандартам, представляет не только актуальную научную, но и практически важную задачу.

Независимо от половой принадлежности военному специалисту в современных условиях необходимо обладать способностью к определению, анализу и оценке нестандартных ситуаций, компетентностью и гибкостью мышления, инновационной активностью и восприимчивостью к новому, уметь легко адаптироваться в воинском коллективе, быть готовым к непрерывному обучению и обновлению профессиональных знаний. Во многом образовательная деятельность военной школы опирается на фундаментально разработанные теоретические положения, использует прошедшие апробацию методики и накопленный опыт. Однако проблема обучения и развития творческих способностей ВСЖП остается актуальной и требует дальнейшего изучения. Кроме того, выбор воинской профессии и дальнейшая профессиональная деятельность оказывают существенное влияние на идентификационные роли и социальные модели поведения ВСЖП в армейской среде. Следовательно, возникает необходимость обоснования системы инновационных педагогических технологий становления социальной идентичности ВСЖП в образовательном процессе военного вуза.

Объектом исследования в данной работе являются инновационные педагогические технологии, направленные на создание условий для становления социальной идентичности ВСЖП в процессе их обучения в военном вузе; *предметом* – совокупность методов и средств, реализующих инновационные педагогические технологии обучения ВСЖП в образовательном процессе военного вуза.

Цель работы – разработка и обоснование инновационных методов и средств управления педагогической деятельностью, актуальных для достижения необходимого статуса социальной идентичности ВСЖП в период их обучения в военном вузе.

«ПЕДАГОГИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ»: СОДЕРЖАНИЕ ПОНЯТИЯ

Несмотря на обилие опубликованных в последние десятилетия специальных работ, посвященных педагогическим технологиям, истоки этой категории берут свое начало в работах Я.А. Каменского [1]. На протяжении столетий, не прекращаясь, продолжаются дискуссии о том, «существует ли в природе педагогическая технология, как определенный инструмент воспитания и обучения ... которым можно овладеть так же, как дубинкой или стамеской, или же таких средств воспитания и обучения не существует» [2]. Анализ работ по данной проблематике показывает, что основные направления исследований сосредоточены на фундаментальных исследованиях проблем технологизации обучения педагогических кадров; разработке конкретных технологий обучения; создании авторских моделей технологий обучения отдельным дисциплинам.

Понятие «технология» (от гр. *techne* – мастерство, искусство и *logos* – понятие, учение) определяют как способ поэтапной реализации идеи или замысла с целью изменения состояния, свойств, формы объекта или процесса.

Объектом педагогической технологии является педагогическая деятельность, что дает основание для следующей дефиниции. Педагогическая технология – это совокупность методов и средств воплощения в образовательный процесс идеи или замысла, направленных на обеспечение управления и повышение результативности педагогической деятельности.

Цель педагогической технологии – инструментализация инновационных методов и средств управления и достижение требуемого качества обучения и воспитания обучающихся в условиях изменяющейся социальной среды.

В педагогической литературе понятие «педагогическая технология» все чаще используется как синоним понятия «инновационная технология» или «инновационный метод». Хотя эти понятия взаимосвязаны и могут быть близки по смыслу, однако инновационная технология указывает на привнесение в педагогическую практику новых, ранее неизвестных подходов, устраняющих возникшие противоречия. Педагогическая инновация – это комплексный процесс создания, распространения и использования нового практического средства с целью формирования условий для саморазвития обучающегося, которое проявляется в повышении уровня его идееспособности, инновационной культуры и инновационного интеллекта. Содержание последних двух понятий подробно исследовано в работе [3]. Педагогическая технология может быть новой, но она не обязательно направлена на реализацию целеустановки педагогической инновации.

В сфере педагогической деятельности, так же как и в любой другой, используют свою профессиональную лексику, закрепляющую смыслы используемых концептов, определяющих содержание понятия.

Проблема заключается в выборе критериев. Нельзя приступать к оценке успешности достижения чего-либо, не имея достаточно четких представлений о том, что же предстоит измерять. Для минимизации ошибки выводов предварительно должен быть определен концептуальный критерий – теоретический конструкт, абстрактная идея, которую нельзя измерить фактически. Другими словами, это идеальная совокупность факторов, характеризующих в контексте данного исследования достигнутый статус социальной идентичности ВСЖП, обучающихся в военном вузе. Таким образом, возникает задача перехода от абстрактного критерия к совокупности фактически измеряемых. Такой переход получил название операционализация понятий [4].

ОПЕРАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ДОСТИГНУТОГО СТАТУСА СОЦИАЛЬНОЙ ИДЕНТИЧНОСТИ ВСЖП В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ В ВОЕННОМ ВУЗЕ

Операционная модель представляет собой иерархическую структуру промежуточных конструкций и связей между абстрактными (неизмеряемыми) и фактическими (измеряемыми) критериями (рис. 1).

В качестве концептуального критерия I уровня выбран «статус достигнутой социальной идентичности ВСЖП» как результата самоидентификации человека с различными социальными категориями, который наряду с другими видами идентичности является регулятором социального поведения ВСЖП в процессе их обучения в военном вузе.

В свою очередь, идентичность – это сложное личностное образование, имеющее многоуровневую структуру, что связано с совокупностью взаимосвязанных и взаимообусловленных частных идентичностей. Результаты авторских исследований [5, 6] показали, что с приемлемой достоверностью оценка статуса социальной идентичности ВСЖП может быть выполнена, если в качестве формальных критериев II уровня принять личностную (ЛИ), профессиональную (ПИ) и гендерную (ГИ) идентичности.

Формальные критерии II уровня: ЛИ, ПИ, ГИ могут быть оценены с использованием апробированных тестологических технологий [7]. Если педагогическая деятельность коллектива вуза остается в рамках неизменной, устоявшейся парадигмы, то обучающийся подвержен пассивному влиянию, как внешней среды, так и влиянию его внутренних генетических предпосылок. Это означает, что становление ЛИ, ПИ и ГИ происходит без регулируемого воздействия педагогического коллектива на соответствующие виды идентичности обучающихся. Как правило, в таких условиях обучающиеся ВСЖП не достигают необходимого уровня, как социальной идентичности, так и ее составляющих ЛИ, ПИ, ГИ. На этом этапе необходимо установление связи концептуального критерия I уровня и формальных критериев II уровня с методическим инструментарием, основанным на разработанных инновационных педагогических методах и средствах. Операционализация концептов I и II уровней, в свою очередь, требует разработки и обоснования совокупности фактических (измеряемых) критериев III уровня: $\Pi_1^{ЛИ}$, $\Pi_2^{ЛИ}$, ..., $\Pi_p^{ЛИ}$, относящихся к показателям личностной идентичности; $\Pi_1^{ПИ}$, $\Pi_2^{ПИ}$, ..., $\Pi_p^{ПИ}$, относящихся к показателям профессиональной идентичности; $\Pi_1^{ГИ}$, $\Pi_2^{ГИ}$, ..., $\Pi_p^{ГИ}$, относящихся к показателям гендерной идентичности ВСЖП. При разработке и реализации управленческих решений принципиально важное значение имеет выбор измеряемых критериев, отражающих состояние и динамику изменения процесса социализации обучающихся. Определяющим условием при решении этого вопроса является измерение и оценка ценностных показателей статуса соответствующего вида идентичности.

В то же время авторы ряда работ [8] прямо указывают, что для оценки значения концептуального критерия, его уровня требуется развитие и совершенствование уже созданных методов измерения, расширения состава применяемых показателей информации, технологии, выработки и принятия решений. «Исследование этих вопросов пока еще находится в эмбриональном состоянии». Поэтому прежде чем приступить к оценке статуса социальной идентичности обучающихся ВСЖП, необходимо иметь четкие представления о том, что предстоит измерять.

На заключительных этапах структурирования операционной модели, показанной на рис. 1, обосновывают выбор функций свертки измеренных показателей II и III уровней. Для определения численных значений интегральных показателей личностной $\Pi_{ЛИ}^И$, профессиональной $\Pi_{ПИ}^И$ и гендерной $\Pi_{ГИ}^И$ идентичности в рассматриваемой модели в качестве функций свертки выбрана функция суммирования:

$$\Pi_{ЛИ}^И = \sum_{i=1}^p \xi_i \Pi_i^{ЛИ}; \quad \Pi_{ПИ}^И = \sum_{i=1}^p \xi_i \Pi_i^{ПИ}; \quad \Pi_{ГИ}^И = \sum_{i=1}^p \xi_i \Pi_i^{ГИ}.$$

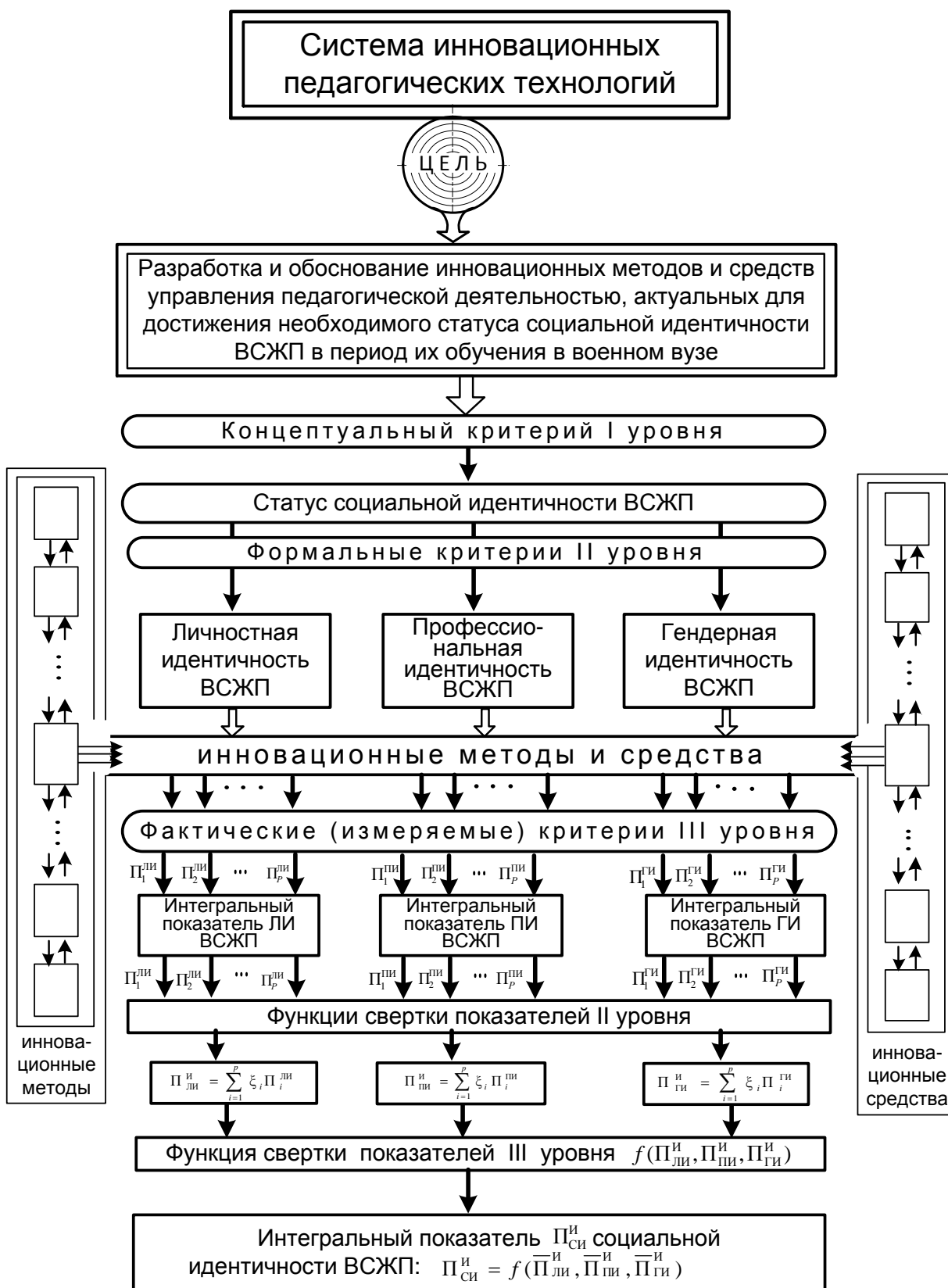


Рис. 1. Операционная модель оценки достигнутого статуса социальной идентичности ВСЖП в процессе обучения в военном вузе

В приведенных выражениях Π_i , ξ_i – соответственно i -й измеренный показатель и соответствующий ему i -й весовой коэффициент, $i = 1, 2, \dots$; p – текущий номер показателя.

Для функции свертки интегральных показателей ЛИ, ПИ и ГИ – $f(\Pi_{\text{ЛИ}}^i, \Pi_{\text{ПИ}}^i, \Pi_{\text{ГИ}}^i)$ может быть принята методика с использованием индикационного поля в виде дискограммы единичной окружности [8]. Методика основана на вычислении площадей секторов индикационного поля, определяемых нормированными значениями соответствующих показателей $\bar{\Pi}_{\text{ЛИ}}^i, \bar{\Pi}_{\text{ПИ}}^i, \bar{\Pi}_{\text{ГИ}}^i$. Следовательно, интегральный показатель достигнутого статуса социальной идентичности может быть определен из выражения $\Pi_{\text{СИ}}^i = f(\bar{\Pi}_{\text{ЛИ}}^i, \bar{\Pi}_{\text{ПИ}}^i, \bar{\Pi}_{\text{ГИ}}^i)$.

Измеренные через определенные временные интервалы (например, один раз в семестр) значения $\Pi_{\text{СИ}}^i$ будут характеризовать динамику изменения статуса социальной идентичности ВСЖП, характеризовать эффективность разработанных инновационных педагогических технологий (методов и средств), а также будут являться основанием для корректировки (при необходимости) управленческого воздействия на педагогическую деятельность вуза.

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА СТАНОВЛЕНИЯ СОЦИАЛЬНОЙ ИДЕНТИЧНОСТИ ВСЖП В ПРОЦЕССЕ ИХ ОБУЧЕНИЯ В ВОЕННОМ ВУЗЕ

Анализ результатов исследований отечественных и зарубежных авторов по проблемам педагогических технологий позволил выделить основные признаки, характеризующие именно педагогические технологии [9]: экономичность, результативность, алгоритмируемость, целостность, корректируемость, инвариантность, вариативно-личностную организацию, учитывающую личностные особенности обучающихся. Принимая во внимание перечисленные признаки педагогических технологий, разработка инновационных методов и средств, направленных на достижение необходимого уровня социальной идентичности ВСЖП, предполагает формирование у обучающихся таких качеств, как *аутомотивация личности*, проявляющаяся даже в случае отсутствия внешних источников мотивации; *контроль импульсных реакций*, так как привычка поддаваться порывам препятствует достижению оптимальной работоспособности, не дает возможности полностью раскрыть свои способности; *разумная настойчивость* в достижении цели, не переходящая в тривиальное упрямство; *понимание своих потенциальных возможностей*, осознание своих сильных качеств, желание развивать и использовать их для достижения успеха; *практичность*, люди, погруженные в раздумья («затерянные в мыслях»), часто не способны воплотить свои идеи в практику; *способность к полному завершению начатого дела*; *отсутствие синдрома неудачи*, способность приобрести опыт из своих ошибок; *оптимальность объема задач*, принятых на себя; *способность видеть макроструктуру проекта*, т. е. способность видеть главное, выделить его в хаосе мелочей и др.

Указанные качества ВСЖП могут быть достигнуты при внедрении в педагогическую практику военного вуза следующих инновационных методов и средств, образующих целостную систему педагогических технологий:

1. Обоснование критериев оценки готовности обучающихся к инновационной деятельности и разработка методов их измерения. В основу такого метода положено представление инновационного интеллекта личности в виде трехвекторной модели, ортогональными компонентами которой являются аналитический, творческий и практический интеллекты личности [10, 11].

2. Методы структурирования творческих коллективов, в основу которых положены вычисления показателей аналитического, творческого и практического интеллектов [12] и их рейтинговой оценки [13].

3. Метод [14] ролевого структурирования творческого коллектива, основанный на использовании результатов формирования психологического портрета личности [15] и измерении

показателей, определяющих ролевую функцию (аналитик, генератор, реализатор) участника творческого коллектива обучающихся [16].

4. Метод построения творческих команд смешанного (гетерогенного) типа [16], состоящих из лиц женского и мужского пола, на основе установления их оптимального соотношения в творческой команде [17], при котором реализуется наибольшая эффективность творческой работы ВСЖП.

Перечисленные инновационные методы и средства являются эффективным инструментарием повышения статуса социальной идентичности ВСЖП, при их активном участии в научно-техническом творчестве служат снятию существующих негативных стереотипов.

Любые события, происходящие в творческой группе, воздействуют на личность не прямо, а преломляются через ее внутренний мир, мировоззрение и профессиональные взгляды, получая при этом личностное осмысление в окружающей среде военного вуза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренное содержание педагогических технологий указывает на необходимость разработки инновационных методов и средств, актуальных для достижения необходимого статуса социальной идентичности ВСЖП в период их обучения в военном вузе.

Необходимым условием успешного становления социальной идентичности ВСЖП является их активное взаимодействие с членами творческих коллективов. Самоидентификация обучающихся в военном вузе происходит благодаря обмену информацией, использованию общих интеллектуальных ресурсов, взаимной координации усилий и реагированию друг на друга.

Инновационная деятельность ВСЖП в составе гетерогенных творческих групп обуславливает способность выработки новых решений, восприимчивость к новым идеям, терпимость к «странностям» отдельных участников группы, возможность свободы выбора проблемы и изменения направления исследований, наличие стимулов для творчества. Перечисленные условия являются эффективным педагогическим средством, направленным на социализацию ВСЖП в образовательном процессе военного вуза.

Список используемых источников

1. Основы разработки педагогических технологий и новаций: монография / под ред. проф. В. А. Пятина. – Астрахань, 1998. – 268 с.
2. Казакова А.Г. Педагогика профессионального образования: монография. – М.: Экон-Информ. 2007. – 551 с.
3. Чернолес В.П. Образовательные инновации: цели и сущность // Научный альманах. Педагогические науки. – 2016. – № 1/2(15). – С. 329–332.
4. Воронов М.В., Ёлкина Л.В. Операционная модель оценки учебного процесса // Инновации в образовании. – 2015. – № 11. – С. 4–20.
5. Берлинде А.А., Худайназарова Д.Р. Профессиональная идентичность военнослужащих женского пола, обучающихся в военных вузах: проблемы становления / под общ. ред. д-ра пед. наук, проф. В. П. Чернолеса. – СПб.: ВАС, 2015. – 258 с.
6. Холодкова Л.А., Худайназарова Д.Р. Женщины-военнослужащие в образовательном процессе военного вуза: гендерный аспект. – СПб.: ВАС, 2010. – 216 с.
7. Шнейдер Л.Б. Личностная, гендерная и профессиональная идентичность: теория и методы диагностики. – М.: МПСИ, 2007. – 218 с.
8. Самохин В.Ф., Чернолес В.П. Интеллектуальные ресурсы военного вуза: структура, методика оценки и принципы управления: монография. – СПб.: ВАС, 2013. – 182 с.

9. Левина М.М. Основы технологии профессионального педагогического образования. – Минск, 1992. – 290 с.
10. Закономерная связь между продуктивностью инновационной деятельности человека и его инновационным интеллектом личности / Л.А. Холодкова, В.П. Чернолес и др. // Научное открытие в области теории интеллекта личности. – М.-СПб.: ВАС – МААНОИ, 2006. – 28 с.
11. Пат. RU № 2522992. Тестер инновационного интеллекта / Д.Р. Худайназарова, В.П. Чернолес и др. – 2014.
12. Пат. РФ № 2197888. Способ формирования коллектива для решения творческих задач / Л.Е. Елизарова, В.П. Чернолес и др. – 2003.
13. Пат. РФ № 2230490. Способ рейтинговой оценки уровня подготовки личности к инновационной деятельности / Л.Е. Елизарова, В.П. Чернолес и др. – 2004.
14. Пат. РФ № 2541431. Способ формирования психологического портрета личности / В.Ф. Самохин, В.П. Чернолес и др. – 2014.
15. Пат. RU № 2541431. Устройство определения ролевой функции участника творческого коллектива / Д.Р. Худайназарова, И.И. Михаил, В.П. Чернолес и др. – 2014.
16. Пат. РФ № 2421124. Худайназарова Д.Р., Чернолес В.П. и др. Способ формирования коллектива для решения творческих задач. – 2009.
17. Закономерная связь между эффективностью творческой деятельности коллектива идентичных личностей и соотношения в нем лиц женского и мужского пола / Н.В. Давыдова, Д.Р. Худайназарова, В.П. Чернолес и др. // Материалы научного открытия в области общественных и гуманитарных дисциплин: гендерной психологии и теории инноватики. – СПб.: ВАС-РАЕН-МААНОИ, 2013 – 28 с.

Д.Р. Худайназарова,

кандидат педагогических наук

Военная академия связи имени С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург;

В.П. Чернолес,

доктор педагогических наук, профессор

Военная академия связи имени С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург

ПЕДАГОГИЧЕСКАЯ КОНЦЕПЦИЯ СОЦИАЛИЗАЦИИ ВОЕННОСЛУЖАЩИХ ЖЕНСКОГО ПОЛА, ОБУЧАЮЩИХСЯ В ВОЕННЫХ ВУЗАХ

Рассмотрена теоретическая и реализационная структуры педагогической концепции социализации военнослужащих женского пола в военном вузе. Отражены базовые положения теоретической модели концепции и обоснована ее структурная схема. Показано, что успешная реализация концепции возможна при рассмотрении взаимодействия частных видов идентичности в континууме «личностный – социальный».

Ключевые слова: идентичность, личностная идентичность, социальная идентичность, гендерная идентичность, профессиональная идентичность, педагогическая концепция, военнослужащие женского пола, военный вуз.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема становления социальной идентичности возникла в начале XXI века и явилась следствием происходящих в мире радикальных социальных перемен, в которых человек идентифицирует себя в изменяющемся социальном окружении. Идентичность как междисциплинарный многомерный феномен оказалась широко востребована в различных гуманитарных науках: философии, социологии, психологии, педагогике и др. По своей значимости сегодня потребность человека в идентичности выходит на одно из первых мест [1].

Анализ литературы также показал, что в педагогическом аспекте проблема становления социальной идентичности военнослужащих женского пола в образовательном процессе военного вуза до сих пор фактически не исследована, не обоснованы педагогические возможности и необходимые организационные условия ее формирования. Процесс становления социальной идентичности имеет сложную структуру, основными подсистемами которой являются теоретико-методологическая, научная, организационная, управленческая, правовая, педагогическая, технологическая, материально-техническая [2]. Однако в педагогическом аспекте системные исследования проблемы становления социальной идентичности военнослужащих женского пола в процессе их обучения в военном вузе практически не проводились.

Целью данной работы является обоснование педагогической концепции (лат. *contemptio* – восприятие) как системы взглядов на феномен «социальная идентичность», как основополагающей идеи, как совокупности методов и инновационных педагогических технологий, направленных на достижение требуемого статуса социальной идентичности военнослужащих женского пола в образовательном процессе военного вуза.

Объектом исследования в данной работе является педагогическая концепция социальной идентичности военнослужащих женского пола в образовательном процессе военного вуза; предметом – совокупность гипотез и допущений о природе феномена «социальная идентичность», основанная на теоретических выводах и зависимостях между отдельными компонентами исследуемой области.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ БАЗА КОНЦЕПЦИИ

В общем виде педагогическая концепция выполняет следующие функции:

- вводит онтологические представления (принципы, основы, строение и закономерности бытия) в накопленный массив эмпирических данных;
- определяет первичную теоретическую форму, обеспечивающую организацию материала исследуемой проблемы;
- структурирует схему связи понятий, отображающих возможные тенденции изменения референтного поля объектов исследования (в рассматриваемом аспекте – социальных изменений в армейской среде), позволяющую формулировать гипотезы об их природе и характере взаимосвязей;
- обосновывает методы организации творческой (мыслительной) работы обучающихся для движения от имеющегося первоначального материала и первичных теоретических концептов (смыслового содержания понятий) ко всё более абстрактным конструктам, отображающим в предельном случае допущения, положенные в основание построения картины видения исследуемого сегмента реальности – становление социальной идентичности военнослужащих женского пола в образовательном процессе военного вуза.

В первых трех случаях можно говорить о первичном концептуальном объяснении, вводящем в работу с имеющимися данными новый фактор, отсутствующий в первичном концепте (например, «гендерные роли», «стереотип», «социальная категоризация», «социальная установка» и т. д.), уточняющий ранее устоявшееся понимание концепта. Отмеченное указывает на необходимость выработки концептуальной схемы (модели, знаковой системы) изучаемой области, отражающей лишь самые существенные ее стороны, минимально-необходимый набор исходных конструктов, позволяющий более полно раскрыть картину научной реальности в изучаемой сфере.

Концептуальная схема задает уровни анализа проблемы социализации (рис. 1):

- философско-культурологический аспект к исследованию проблем и закономерностей личностного становления обучающихся;
- социально-психологический аспект социализации личности;
- педагогический аспект социализации, т. е. изучение условий достижения требуемого статуса социальной идентичности на различных этапах развития обучающегося, выявление способов и условий оптимизации воспитательного процесса в контексте социализации личности.

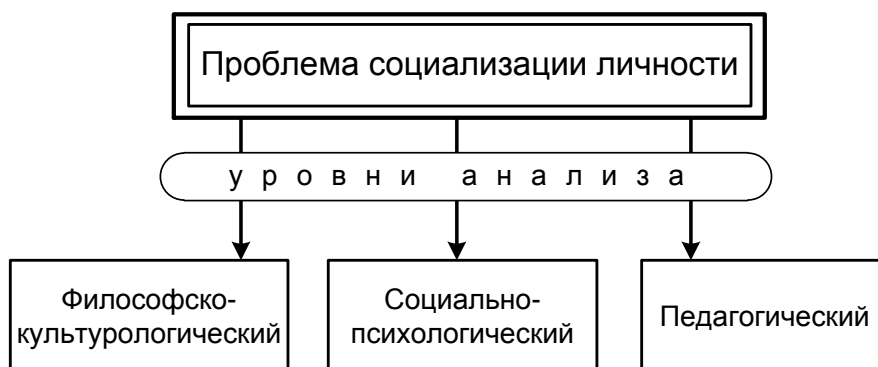


Рис. 1. Уровни анализа проблемы социализации

Концепция дает основание для движения от абстрактного к конкретному; встраивания одного знания в другие, более общие; задания теоретического понимания целостности объекта;

поддержки системных представлений о нем в исследовательских процедурах; удержания смыслового единства внутри научно-исследовательского сообщества.

В концептуальных допущениях выявляют неясности и противоречия, требующие построения нового предмета и структурирования новой концептуальной схемы.

На рис. 2 показана совокупность концептов (минимальный набор видов идентичности: личностная, социальная, профессиональная, гражданская, гендерная, культурная), отражающая более полную картину становления социальной идентичности в континууме «социальный – личностный» и, следовательно, необходимость принципиального изменения концептуальной схемы.

Цель концепции – обозначить универсум возможных на данный момент способов работы на теоретическом уровне, в том числе обеспечить внутреннюю связность используемых концептов и конструктов, задать представление об уровне организации знания.



Рис. 2. Место различных видов частных идентичностей в континууме «социальный – личностный» при формировании «Я-идентичности»

Сама концептуальная схема имеет, как правило, многоуровневую структуру, внутри которой складывается сложная сеть взаимоотношений концептов, не обязательно связанных между собой. Следовательно, концептуальную схему можно трактовать как определенную совокупность гипотез и предложений о природе исследуемых объектов, основанную на имеющихся выводах и заключениях, объединяющих тенденции и взаимозависимости между отдельными компонентами исследуемой научной сферы и позволяющих выходить на уровень эмпирической работы с заданными объектами.

Можно утверждать, что большинство научных теоретических проблем формируют и решают преимущественно на уровне концептуальных схем. Оптимальная теоретическая концепция должна иметь минимум исходных концептов и утверждений и генерировать максимально возможное число следствий, формировать наиболее полную картину исследуемой научной сферы. Именно концепция социальной идентичности дает основание для понимания, осмысления и прогнозирования многих процессов, происходящих в социуме военного вуза.

СТРУКТУРА ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ КОНЦЕПЦИИ СОЦИАЛИЗАЦИИ ВОЕННОСЛУЖАЩИХ ЖЕНСКОГО ПОЛА В ВОЕННЫХ ВУЗАХ

Авторская концепция проведения исследования в данной научной сфере требует особого рассмотрения. Исходя из приведенного выше определения понятия «концепции» как системы взглядов на решение проблемы, как совокупности педагогических методик и технологий, направленных на создание «дружественной» среды, необходимой для достижения требуемого статуса социальной идентичности обучающихся военнослужащих женского пола, данная проблема должна включать (рис. 3) следующее:

- анализ социальной среды военного вуза;
- анализ межгрупповых отношений в военном вузе, на основе которых в педагогическом коллективе должна быть определена стратегия преодоления негативной социальной идентификации как на индивидуальном уровне, так и на межгрупповом [3].

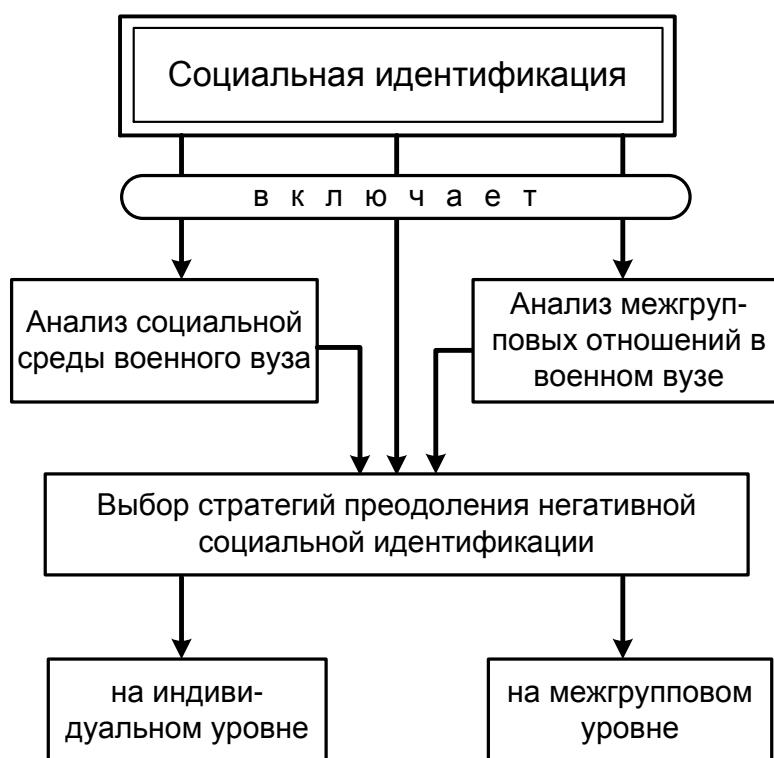


Рис. 3. Модель социальной идентификации военнослужащих женского пола, обучающихся в военном вузе

Другим основанием педагогической концепции должен быть учет социального контекста идентичности. Это предполагает, что становление идентичности зависит от совокупного влияния ее различных видов, определяющих понимание обучающимися своего участия в социальном взаимодействии. Человек вступает в многочисленные социальные связи и исполняет множество социальных ролей, которые отражаются в поведении, проявлении эмоций и по-разному влияют на социальное взаимодействие.

Следовательно, в представлении педагогической концепции об идентичности должна четко прослеживаться идея о наличии в ней двух аспектов: личностного, связанного с уникальностью проявлений человека, и социального, вектором которого является внешнее окружение [4]. В реальном взаимодействии обучающийся всегда стремится к поиску компромисса между этими двумя сторонами процесса становления идентичности. При этом

«Я-идентичность» формируется в континууме «социальный – личностный» через совокупность различных видов (частных) идентичностей (см. рис. 2).

В рассматриваемой концепции в континууме «социальный – личностный» целесообразно ограничиться двумя видами частных идентичностей: профессиональной и гендерной. Это согласуется с требованием оптимальности теоретической концепции, основанной на минимизации числа исходных концептов и утверждений. Действительно, для обоснования педагогических методик и технологий, относящихся к формированию статуса социальной идентичности военнослужащих женского пола, на данном этапе исследования достаточно ограничиться частными видами идентичности: личностной, социальной, профессиональной и гендерной. При их совокупном рассмотрении во взаимодействии и взаимовлиянии друг на друга общая картина социальной идентичности женщин в армейской среде будет более полной и объективной в сравнении с результатами исследований, ограниченных рассмотрением отдельных видов без учета их взаимодействия [5–9].

Общая структура педагогической концепции показана на рис. 4 [2].

Название концепции – «педагогическая концепция социализации военнослужащих женского пола, обучающихся в военном вузе».

Понятийная сущность концепции, определяет следующее:

– *научный аспект* как опору на выбранную для исследования научную теорию, включающую философское, нормативно-правовое, педагогическое, психологическое, социальное, культурологическое обоснование целей и задач, содержание, формы и методы для достижения приемлемого уровня социальной идентичности военнослужащих женского пола;

– *процессуально-описательный аспект*, включающий описание процесса, цель, задачи, содержание, форму, методы достижения планируемых результатов;

– *процессуально-действенный аспект*, раскрывающий порядок реализации технологического процесса, функционирования всех личностных, организационных, социальных и психолого-педагогических средств и технологий.

Мотивационная сущность обуславливает причину появления и необходимость повышения качества подготовки военнослужащих женского пола.

Показатели концепции – актуальность; целенаправленность; новизна; системность; управляемость; эффективность; результативность; воспроизводимость, коэффициент инновационного интеллекта; показатели уровней профессиональной, личностной, гендерной и социальной идентичности.

Источники и составные части концепции предусматривают, что концепция синтезирует имеющиеся достижения науки и практики, сочетает в себе традиции прошлого опыта, новые достижения, рожденные социокультурным развитием общества, гуманизацию и демократизацию образовательного процесса.

Содержательная сущность концепции обозначает универсум возможных на данный момент способов и технологий как на теоретическом, так и реализационном уровнях.

Инновационная технологичность указывает на возможные образовательные инновации в рамках решения исследуемой проблемы, под которыми понимается комплексный процесс создания, распространения и использования нового практического средства с целью формирования условий для саморазвития обучающихся, которое проявляется в повышении уровня его идееспособности, инновационной культуры, инновационного интеллекта и повышении статуса социальной идентичности [10].

Условия оптимальной реализации концепции предусматривают структурирование организационных, управленческих подсистем и формирование инновационной среды военного вуза.

Модульное структурирование авторской концепции определяется последовательностью структурных блоков содержания отчетного документа о результатах исследования.



Рис. 4. Структурная схема педагогической концепции

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Научная проблема формирования социальной идентичности военнослужащих женского пола в процессе их обучения в военном вузе требует тщательного обоснования педагогической концепции ее исследования. Цели и структура рассмотренной педагогической концепции дают основание для следующих выводов:

– в каждом конкретном случае при обосновании концепции научного исследования необходимы учет и корректировка ее содержательной сущности, по этой причине каких-либо жестких требований к обоснованию концепции не должно предъявляться;

– цель разработки концепции заключается в обозначении общей картины (универсума) на данный момент времени в исследуемой области и задания представления об организации знания;

– концепция задает определенную совокупность гипотез, учитывающих тенденции развития данной научной сферы.

Задача разработки авторской концепции нелегкая, требует предварительного изучения проблемы, путей ее решения в работах других исследователей, выявления еще не изученных вопросов и формулирования своих путей их решения. Без такого подхода, без четко сформулированной концепции успешное решение научной проблемы затруднено, а в ряде случаев будет невозможно.

Список используемых источников

1. *Эриксон Э.* Идентичность: юность и кризис / пер. с англ., общ. ред. и предисл. А.В. Толстых. – М.: Издательская группа «Прогресс». 1996. – 344 с.
2. *Казакова А.Г.* Педагогика профессионального образования: монография. – М.: Экон-Информ. 2007. – 551 с.
3. Идентичность: хрестоматия / сост. Л.Б. Шнейдер. – М.: Изд-во МПСИ; Воронеж: Изд-во НПО «МОДЭК», 2008. – 272 с.
4. *Партыбаева К.В.* Идентичность: социально-психологические и социально-философские аспекты: коллективная монография / Пермский гос. нац. иссл. ун-т. – Пермь, 2012. – 250 с.
5. *Рыков С.Л.* Совершенствование профессионального воспитания военнослужащих-женщин Вооруженных Сил Российской Федерации: дисс. доктора педагогических наук. – МО РФ, 2003. – 438 с.
6. *Заковоротная М.В.* Идентичность человека. Социально-философские аспекты. – Ростов-на-Дону: Изд-во Северокавказского научного центра высшей школы, 1999. – 133 с.
7. *Шнейдер Л.Б.* Профессиональная идентичность: монография. – М.: МОСУ, 2001. – 272 с.
8. *Захарова О.В.* Социальная идентификация и социальная идентичность в изменяющемся обществе: учебно-методическое пособие. – Иркутск: Изд-во ИГУ, 2010. – 95 с.
9. *Иванова Н.Л., Конева Е.В.* Социальная идентичность и профессиональный опыт личности. – Ярославль: Изд-во ЯГПУ им. К.Д. Ушинского. – 132 с.
10. *Берлинде А.А., Худайназарова Д.Р.* Профессиональная идентичность военнослужащих женского пола, обучающихся в военных вузах: проблемы становления: монография. – СПб.: ВАС, 2015. – 258 с.

Optimization of operational parameters heating systems and thermal protection of buildings and structures based on the thermo economic method / D.A. Avsyukevich, S.N. Buyakov, A.V. Litvinyuk, A.N. Mirgorodskiy // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 651. – P. 7–13.

The article deals with improving the energy efficiency of buildings and structures during their operation and reconstruction by optimizing the parameters of thermal insulation and heating systems considered as a thermodynamic system with account of economic factors. Is the rationale for selecting the method of thermoeconomic for an integrated approach to solving the problem of reducing energy consumption while minimizing the cost of energy saving measures. *Key words: heating, thermal protection, energy saving, reduced costs, thermoeconomic.*

Bugaichenko P.Y., Nikitin A.A., Privalov A.E. Rational for recommendations to improve the effectiveness of the use of space systems for remote sensing of Earth // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 651. – P. 14–20.

The article presents the results of estimating the temporal characteristics of the application of space systems for remote sensing of the Earth, based on simulation. Based on the empirical results justified recommendations to improve the efficiency of these space systems.

Key words: space system, remote sensing, receiving information centers.

Golovanskikh I.G., Kaminskiy O.E., Petukhov A.M. Evaluation observing capabilities of dynamic emergencies by space system of remote sensing // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 651. – P. 21–27.

Expressions for the probability distribution function of the observation emergency epicenters by spacecrafts remote sensing. The results of studies with their use are presented.

Key words: space systems, remote sensing of the Earth, evaluation capabilities.

Kozyrev G.I., Loskutov A.I., Khamatov A.A. Development finite-state model of the functioning of onboard equipment autonomous spacecraft for technical state inspection using fuzzy logic // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 651. – P. 28–38.

As part of the current requirements for autonomous spacecraft necessity of improving the system of technical state inspection of the equipment onboard the spacecraft through the use of finite-state models and fuzzy logic. The mathematical formulation of the problem of synthesis of finite-state model spacecraft on-board equipment for the subsequent application of the technical state of the inspection algorithms based on fuzzy logic. Synthesized finite-state model of the transmitter-board telemetry system information BR-91TS for technical state inspection on the basis of fuzzy logic.

Key words: finite state automaton, technical state inspection, fuzzy logic, the accuracy of control.

Kozyrev G.I., Khamatov A.A. Algorithm synthesis and optimization of test programs abbreviated automatic technical diagnosis of the onboard equipment of spacecraft on fuzzy logic // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 651. – P. 39–49.

As part of the current requirements for autonomous spacecraft necessity of improving the processes of technical diagnostics onboard equipment through the use of finite-state models and fuzzy logic. Presents a mathematical formulation of the problem of synthesis and optimization of the test program the automatic technical diagnosis on-board equipment of the spacecraft. An algorithm for the synthesis and optimization of the test program the automatic technical diagnosis. Synthesized test program automatic technical diagnosis onboard transponder.

Key words: finite state automaton, technical diagnosis, fuzzy logic, the accuracy of the diagnosis.

Oleynik B.M., Popov D.M. Method of forming an alternatives set in control systems structural synthesis problems // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 651. – P. 50–53.

In article review the method of solving the problem of forming an alternatives set in control systems structural synthesis problems with graph theory using.

Key words: control system structure, alternatives set, graph theory.

Andreev A.M. Development Analysis of the Satellite Automatic Identification System for Vessel Traffic Monitoring. Part 1. History of Development // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 651. – P. 54–61.

The first part of article provides an overview of the history of the development of satellite automatic identification system (AIS). The above development trend analysis of satellite AIS reflects the emergence of multisatellite constellations that integrate new space technology in addition to the existing as well as constellations on the basis of micro- and nanosatellites only receiving AIS signals.

Key words: automatic identification system, AIS, space system, vessel traffic monitoring.

Egin A.V., Levin D.V., Parshutkin A.V. The generalized mathematical model of impact jamming on technical means by interception of side electromagnetic radiation from raster display systems // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 651. – P. 62–70.

This article discusses of process impacted structural and noise interference on technical means by interception of side electromagnetic radiation from raster display systems automated workplaces. The authors propose a generalized mathematical model of impact jamming on technical means by interception of side electromagnetic radiation and procedure for assessing effectiveness of their application in the conditions on uncertainty algorithms of functioning technical means by interception of side electromagnetic radiation.

Key words: jamming, structural interference, side electromagnetic radiation, raster display systems.

Manuylov J.S, Rakhimov R.R. Synthesis of regulators of invariant control of the linear dynamic objects on the basis of the principle of adaptation of perturbations // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 651. – P. 71–77.

In article the approach to Regulators, adapting to perturbations, provide high quality of system management in a broad range of both transition, and continuous perturbations which influence controlled system. By means of the modern methods of optimum control it is possible to design the closed regulator which realizes stabilizing, regulation or tracking, thus at the same time minimizing some criterion of quality, such as integrated square error, power consumption, high-speed performance and other indices of operation. In article the problem of design of the regulators adapting to perturbations is formulated and solved.

Research of opportunities of the regulators adapting to perturbations allows to build multivariate closed management systems, very effective in any counteraction temporal and to permanently operating perturbations which accompany real systems.

Key words: method of creation of regulators for system of stabilizing, the regulators adapting to perturbations, the diagram of correction in a direct circuit, combined composer of a status.

Maslakov P.A., Parshutkin F.V., 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 651. – P. 78–83.

The article discusses model of influence of non-stationary interference on the satellite communications channel. The developed simulation model of a satellite communications channel is presented with the non-linearity of the amplifier repeater. By the example of the impact of non-stationary interference on the communication channel without error-correction coding evaluated the effectiveness of impact of non-stationary interference by the indicator - bit error rate.

Key words: modeling, non-stationary interference, the satellite communications channel, DVB-S2.

Pochivalov S.G., Ryabiik S.A., Topchy P.N. Mathematical models of random noise interferences for command-measuring systems with digital processing of signals // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 651. – P. 84–90.

Currently command-measuring systems are the main method of spacecraft control. The development of computational tools has led to the widespread use of digital signal processing for filtering and processing the received information. In signal analysis it is necessary to take into consideration that different types of interferences can affect on receiving system. Interferences can be as a natural and artificial origin. The article is devoted to the creation of deliberate noise interferences.

Key words: digital signal processing, deliberate interference.

Study of phase state vnutrimassovoy and frontal stratiform clouds over the central regions of Russia with regard to the problem of modification / O.I. Didyk, A.P. Doronin, N.A. Kozlova, V.M. Petrochenko, S.A. Shmalko // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 651. – P. 91–97.

On the basis of material handling aircraft soundings of the atmosphere over Moscow are given information of the phase state vnutrimassovoy and frontal stratiform clouds over the central regions of Russia in order to address applications. Received data about distribution of the phase state in vnutrimassovoy and frontal stratiform clouds over the central regions of Russia during of the year can be used for the selection of the reagents and the height of cloud seeding with the purpose to regulate the precipitation and dispersion of cloud cover.

Key words: vnutrimassovye stratiform clouds, frontal stratiform clouds, modification, airborne sensing of the atmosphere, the phase state of stratiform clouds.

Eremeev I.Y., Ovcharenko K.L. Efficient method of computing the ambiguity function for estimation of time delay of arrival when signal spreads // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 651. – P. 98–105.

In this article efficient method of computing the ambiguity function when estimating of time delay of arrival of signals for locate satellite terminal in time delay of arrival systems are considered.

Key words: satellite communication system, satellite terminal, time delay of arrival, ambiguity function.

Melnikov D.B., Oktiabrskiy V.V. Thermal infrared channels of multispectral and hyperspectral remote sensing equipment // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 651. – P. 106–112.

This article reviews the current state and prospects of development of space and aviation remote sensing in the thermal infrared range.

Key words: remote sensing, thermal infrared channels, spectral resolution, spatial resolution.

Vlasov S.A., Zhitnikov T.A., Kulvits A.V. Image forming ballistic constraint group of spacecraft // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 651. – P. 113–118.

A variant of the construction of the orbital ballistic constraint group of spacecraft is suggested. Conducted the calculation and analysis of some of the characteristics of ballistic constraint group of spacecraft under the influence of disturbing factors.

Key words: spacecraft, orbital constellation, ballistic constraint group, periodic review of the Earth surface.

Markovsky A.S., Samonov A.V., Svekolkin N.I. Denis. The place and role of processes of quality control in software life cycle weapon systems (outdoor games and relays) // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 651. – P. 119–129.

The article presents the results of the analysis of the state and perspectives in the development of software tools of weapons system (STWS) developed in the interests of the Department of Defense the Russian Federation. It is established that the main directions in solving the field problems are the improvement of normative-methodical base, introduction of modern technologies for the development and implementation of end-to-end control quality STWS at all stages of their life cycle (LC). It is offered the improved model of LC STWS complying with the modern technology of software development life cycle, in which precisely defined the place and role processes of quality control. We describe the classification of quality characteristics STWS. The method and implementation technology for automated end-to-end quality control at all stages of the life cycle STWS are represented.

Key words: quality control, quality software tools, software tools of weapons system, software development life cycle, model of software development life cycle, verification.

Remenson V.A., Timofeev V.I., Shabalin P.V. Synoptic analysis of the characteristics of atmospheric processes and the impact of climatic conditions on the activities of the State in the Arctic zone // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 651. – P. 130–138.

We consider the problematic issues of diagnosis and prediction of an extremely complex and dynamic climatic conditions observed in the Arctic zone of Russia, in the context of solving complex problems of special meteorological support operations troops in the region.

Key words: Arctic zone of Russia, particularly the development of atmospheric processes, extreme weather and climatic conditions, objects synoptic analysis, the circumpolar vortex, thermobaric regime of the troposphere and the stratosphere.

Basyrov A.G., Zakharov I.V. Ensuring survivability of spacecraft on-board calculating systems // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 651. – P. 139–148.

Deals with ensuring survivability of spacecraft on-board computers. Proved analysis of calculating systems survivability and existing approaches to research it. Formulated limitations of existing theory of the analysis spacecraft on-board calculating systems survivability. Advanced approach of ensuring survivability based on the element hardness, structural, functional and parametric degradation of system in terms of harmful impacts.

Key words: on-board calculating system, spacecraft, survivability.

The methodology for the values indicator of invulnerability models of weapons and military equipment / E.Y. Brezhnev, Y.A. Gravchenko, D.O. Mogan, S.V. Chirva // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 651. – P. 149–152.

The methodology for determining the values of some indicators of invulnerability a single and integrated models of weapons and military equipment in case of use on them high-precision weapons with conventional warheads.

Key words: weapons, survivability, recoverability, high-precision means of destruction, damage.

Golovina V.V., Kotckovich A.V., Rymkevich P.P. Assessment of average time of heat passing through the spacecraft covering // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 651. – P. 153–158.

The new method of the solution of problems of non-stationary heat conductivity based on probabilistic methods of the general theory of transfer is offered.

The heat transfer through a multipurpose flat design is considered. The average time of passing of thermal energy through a layer of a homogeneous environment is determined.

Key words: transmission factor, reflectivity, non-stationary heat conductivity, average time of heat passing, heat flux.

Rationale for the research unit flow sensor and man-made meteoritic particles in outer space / P.S. Goncharov, A.M. Denisov, V.A. Kukhtin, V.V. Martynov, E.G. Sinelnikov // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 651. – P. 159–165.

Shows the relevance of the research streams meteoroid and technogenic particles. A brief analysis of the principles of operation used for registration of sensors. Grounded the sensor to determine the parameters of meteoroid and man-made particles with high information content. Given the structural-functional diagram of the hardware unit to ensure its working.

Key words: meteoroid and technogenic particles, detector, sensing elements, polyimide film, space polarized PVDF film, the controller, the parameters of the particles, the information content.

Grushkovskiy P.A., Senchenkov V.I. The diagnostic models of the complex technical systems on the teaching methods basis // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 651. – P. 166–173.

The article considers the questions of the systems modeling as the diagnosis objects through the application of the teaching methods. The new procedure of grouping the training images and the ranking groups which permits to accelerate the convergence of the learning process was proposed. The paper discusses the features and the advantages of the learning with the use of the orthonormal trigonometric basis.

Key words: the diagnostic model, the controlled feature, the teaching set, the orthonormal basis, the technical condition.

Dyakov A.N. Modeling of the system operation of equipment without routine maintenance // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 651. – P. 174–179.

Traditionally, the planning of operational activities of technology of equipment of rocket and space complexes was determined according to the operating time and the timing of exploitation (scheduling). Application calendar strategy is associated with significant operating costs. Reduce maintenance costs and allows the use of maintenance strategies according to the actual state and the actual level of reliability and flexible strategy which combines all the above mentioned. To study operational processes during calendar maintenance strategies there are quite a variety of models, which cannot be said about operating systems use different maintenance strategies. The article offers graphic-analytical model that can be used to study the system of operation of process equipment having a strategy without planned maintenance ("to failure").

Key words: operating system service strategy process equipment, system maintenance and repair, operating costs.

Calculation parameter stationary electric and heat mode of the limiter of the overvoltages with provision for unevenness of the separation of the heat on height of the row varistors / G.A. Korschunov, Y.M. Lyubchenko, G.B. Steganov, Y.A. Chudnovskij // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 651. – P. 180–182.

In the present article is offered decision of the problem interconnected electric and heat functioning the limiters of the overvoltages under pulsed influence. Results are received for shaping the initial conditions, which are a central to two-dimensional the heat problem valuation stationary electric and heat characteristic OPN at influence series pulse with given parameter.

Key words: limiter of the overvoltage, laminated structure, heat mode, seexact model, intolerance.

Lebedev A.S., Lebedev E.L., Ukhanov I.G. A statistical approach to the processing parameters of acoustic emission signals at laser industrial processing facilities // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 651. – P. 183–188.

The approach to the processing parameters of acoustic emission signals, based on the definition of entropy, a statistical measure of uncertainty. The example set of the experimental dependence of entropy distribution parameters of acoustic emission signals from different modes of operation of laser equipment proved the possibility of application of the proposed approach for identification of defects occurring.

Key words: acoustic emission method non-destructive testing, signal parameters, entropy, damage to the paintwork, signals.

Vasileva N.V. Kunturova N.B., Use of electronic resources in educational formation of mathematical competence of future military experts // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 651. – P. 189–193.

In the article the mathematical model of competence and the use of electronic educational resources in the formation of mathematical competence of future military specialists.

Key words: mathematical competence and electronic educational resources, virtual textbook, mathematical competence, military specialists.

Kasavtsev M.Y., Mikhailova E.A., Selichina N.V. Accounting age and psychological characteristics personality of the individual cadets in military training and education of military school // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 651. – P. 194–198.

The article discusses the development of diagnostic features of personality cadets of the higher military educational institutions, which can be used in the professional activities of military trainers, to improve the system of training and education in a military university.

Key words: military-pedagogical process, pedagogical diagnosis, age and psychological characteristics of personality development of the cadet.

Pletenchuk I.V., Privalov A.E., Tyurin R.M. Business game «Management of the operation of weapons, military and special equipment» // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 651. – P. 199–206.

The article describes the structure and procedure of the business game «Management the operation of weapons, military and special equipment». Revenants the role and place of business of

the game in the formation of administrative competence of the graduate. Proposed appearance of the simulation model management process.

Key words: business game, administrative competence, operation of weapons, military and special equipment.

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 651. – P. 207–210.

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.

Gytorovich O.V. The philosophy of technique and its range of problems Education // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 651. – P. 211–217.

The article is devoted to the forming section of philosophy, which is the philosophy of technique, the problems of which go through the period of its formation. The author pay much attention to the fact that the study of the phenomenon of technique proposes to solve methodological issues related to the characteristics, features and evolution of technical knowledge and study of humanistic and value aspects of technique, social problems concerned with its development. The task of the author is to show the multidimensional nature and the ambiguity of the phenomenon of the technique.

Key words: philosophy of technique, technological determinism, technological alarmism, technological eudemonism, lack of spirituality.

Kurbatov O.A., Latanov V.M Some aspects of the historical experience of state-political leadership in the training of officers for the decision of problems of strengthening of technological and military discipline in the outer parts of the Armed Forces of the USSR (1982–1991) // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 651. – P. 218–227.

The article is devoted to certain aspects of the historical experience of state-political leadership training of officers for the decision of problems of strengthening of technological and military discipline during the formation of the outer parts as new independent component parts of the Armed Forces of the USSR. The article notes the value of state-political leadership in this sphere of activity in outer parts, revealed the main contents. Examples of operational experience of the commanders, of educational structures and public organizations, made a specific analysis of the efficiency of state-political leadership in the training of officers of the space parts in the solution of problems of technological and military discipline.

Key words: public and political leadership, officer corps, technological and military discipline, experienced testing job (FID), crew, duty, combat duty, space vehicles (KA), Scientific-research test range of the USSR Defense Ministry (NIIP MO USSR), a separate research and testing, paragraph (ONIP), the violation of technological discipline (NTD),

Paukov A.B. About the main stages of the russian school combat training troops development // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 651. – P. 228–232.

The article deals with the main stages of the combat training system development in the Russian State Armed Forces. Based on the historical sources study, the stages of the training rules troops

transformation into the purposeful, organized process of the military training and education, military units coordination for combat missions completion have been analyzed.

Key words: combat training system, soldiers' training and education.

Stankevich N.A., Fedulov S.V. The creation and development of the system of military-technical cooperation of the Russian Empire, the Soviet Union and Western countries in 1890 – 1950s // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 651. – P. 233–239.

The paper deals with the insufficiently studied problem of creation, formation and development of military-technical cooperation of our countries at different stages of its development, as well as the formation of the corresponding structures. These structures played an important role in equipping the army and Navy with new types of the armaments and military equipment in peacetime and receiving of products for military and naval purposes, materials, and equipment in wartime, as well as in solving problems of import substitution.

Key words: military-technical cooperation, military and naval purposes, Russian government Committee in London, the Committee on the workpiece in America items and military equipment of the army and Navy, ship agents, Commission on the distribution of currency in foreign orders, a meeting on Maritime transport, the Interdepartmental Commission on questions of foreign supplies, the Main office of foreign procurement.

Khudaynazarova D. R., Chernoles V. P. Innovative pedagogical technologies for the development of social identity of servicewomen in the educational process of a military university // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 651. – P. 240–246.

The paper discusses the concept of "pedagogical technology" in the context of the development of social identity of servicewomen. An operating model to evaluate the level of servicewomen's social identity is substantiated based on a multi-level representation of conceptual, formal, and measurable criteria. A system of innovative pedagogical technologies and tools for the development of servicewomen's social identity is presented.

Key words: social identity, pedagogical innovations, innovative pedagogic technique, servicewomen, military university, operating model.

Khudaynazarova D. R., Chernoles V. P. Pedagogical concept of the socialization of servicewomen studying at military universities // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2016. – Release 651. – P. 247–253.

The paper discusses theoretical and implementation structures of the pedagogical concept of socialization of servicewomen studying at military universities. Basic provisions of the theoretical model of the concept are presented and its structural diagram is substantiated. It is shown that the concept can be successfully implemented subject to considering the interaction of particular types of identity in a "personal-social" continuum.

Key words: identity, personal identity, social identity, gender identity, professional identity, pedagogical concept, servicewomen, military university.

Авсюкевич Дмитрий Алексеевич, профессор 44-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук; тел.: 8 (812) 347-96-43, e-mail: avsdim@mail.ru

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

Басыров Александр Геннадьевич, начальник 24-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-24, e-mail: alexanderbas@mail.ru

Брежнев Евгений Юрьевич, докторант Военной академии ВКО имени Маршала Советского Союза Г.К. Жукова (170000, Россия, Тверь, ул. Жигарева, 50); кандидат технических наук; тел.: 8 (920) 172-19-45, e-mail: evgen709@mail.ru

Бугайченко Павел Юрьевич, адъюнкт 23-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (921) 408-40-06, e-mail: pavel_bugaichenko@rambler.ru

Буяков Сергей Николаевич, преподаватель 43-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-96-43, e-mail: buysergej@ya.ru

Васильева Наталья Викторовна, доцент 111-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8(812) 347-96-31, e-mail: nww13@mail.ru

Власов Сергей Александрович, доцент 16-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-96-16.

Гравченко Юрий Анатольевич, заместитель начальника 14-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-14, e-mail: yuraGR2025@yandex.ru

Голованских Игорь Геннадьевич, доцент 101-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук; тел.: 8 (812) 347-96-42.

Головина Виктория Владимировна, старший преподаватель 112-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-96-72.

Гончаров Павел Сергеевич, начальник 12-го отдела (научно-исследовательского) Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени

А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 35); кандидат технических наук; тел.: 8 (911) 175-45-53.

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

Гуторович Ольга Викторовна, доцент 107-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат философских наук; тел.: 8(911) 841-69-19, e-mail: olwikgut@yandex.ru

Денисов Андрей Михайлович, начальник 11-го отдела (научно-исследовательского) – заместитель начальника управления Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 35); кандидат технических наук; тел.: 8 (911) 212-13-89.

Дидык Олег Игоревич, преподаватель 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: o.didik@mail.ru

Доронин Александр Павлович, профессор 52-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 297-75-95, e-mail: doronin52@mail.ru

Дьяков Алексей Николаевич, адъюнкт 103-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-97-32.

Егин Александр Валентинович, соискатель 37-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-95-35.

Еремеев Игорь Юрьевич, начальник 53-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-57.

Житников Тимофей Андреевич, адъюнкт 16-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-96-16, e-mail: 0606848@rambler.ru

Захаров Иван Вячеславович, докторант 24-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (921) 776-29-58, e-mail: x.vano-z80@yandex.ru

Каминский Олег Эдуардович, доцент 101-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-96-42.

Касавцев Михаил Юрьевич, преподаватель 102-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-96-29, e-mail: mk-spb@rambler.ru

Козлова Наталья Александровна, научный сотрудник 321-й лаборатории Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-97-74, e-mail: cozlowa.nat2012@yandex.ru

Козырев Геннадий Иванович, профессор 34-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (911) 917-33-99, e-mail: gen-kozyrev@yandex.ru

Коршунов Георгий Анатольевич, заместитель генерального директора ООО «НПО "Дельта"» (196128, Россия, Санкт-Петербург, ул. Варшавская, 5А «Л»); тел.: 8 (812) 347-95-22, e-mail: sgb022.steganov@yandex.ru

Коцкович Алла Владимировна, старший преподаватель 112-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-96-72.

Кульвиц Алексей Владимирович, старший преподаватель 16-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-96-16.

Кунтурова Надежда Борисовна, профессор 111-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор педагогических наук; тел.: 8 (812) 347-96-31, e-mail: giz26@rambler.ru

Курбатов Олег Анатольевич, доцент 107-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат исторических наук; тел.: 8 (911) 268-17-27, e-mail: kurbatvolog@rambler.ru

Кухтин Андрей Валентинович, начальник 112-й лаборатории (научно-исследовательской) – старший научный сотрудник Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 35); тел.: 8 (911) 129-73-39.

Латанов Владимир Михайлович, профессор 107-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат исторических наук, доцент; тел.: 8(921) 924-78-56, e-mail: Latanov52@mail.ru

Лебедев Алексей Сергеевич, адъюнкт 11-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-99-11.

Лебедев Евгений Леонидович, начальник 11-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-99-11.

Левин Дмитрий Викторович, преподаватель 37-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-95-35, e-mail: dm.sovetnik@yandex.ru

Литвинюк Андрей Викторович, преподаватель 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: lav73@rambler.ru

Лоскутов Андрей Иванович, начальник 34-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8 (904) 551-24-91, e-mail: rujenx@mail.ru

Любченко Юрий Михайлович, ведущий сотрудник ООО «НПО "Дельта"» (196128, Россия, Санкт-Петербург, ул. Варшавская, 5А «Л»); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-22, e-mail: sgb022.steganov@yandex.ru

Мануйлов Юрий Сергеевич, профессор 94-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук; тел.: 347-95-65, e-mail: kotmanof@rambler.ru

Марковский Алексей Сергеевич, начальник 331-й лаборатории – старший научный сотрудник Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-97-59, e-mail: lexh26@list.ru

Мартынов Виктор Васильевич, старший научный сотрудник 121-й лаборатории (научно-исследовательской) Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 35); тел.: 8 (911) 725-17-35.

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, e-mail: maslakov345@yandex.ru

Мельников Дмитрий Борисович, доцент 51-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-95-51.

Миргородский Александр Николаевич, начальник 432-й учебной лаборатории 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: mirgorodsky@nm.ru

Михайлова Екатерина Алексеевна, инструктор учебно-методического отдела Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-97-70.

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

Никитин Алексей Алексеевич, старшина 23-го курса Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (999) 203-07-38, e-mail: anekrsv@gmail.com

Овчаренко Константин Леонидович, адъюнкт 53-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-95-57, e-mail: kostao@ya.ru

Октябрьский Владимир Валентинович, адъюнкт 51-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-95-51, e-mail: valentoss@gmail.com

Олейник Борис Михайлович, доцент 101-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 325-14-15.

Паршуткин Андрей Викторович, профессор 37-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-35, e-mail: andydc2010@mail.ru

Пауков Александр Борисович, начальник 102-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-96-29.

Петроченко Вячеслав Михайлович, доцент 52-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 297-75-95, e-mail: vmpetrochenko@mail.ru

Петухов Анатолий Михайлович, слушатель офицерских курсов Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-96-42.

Плетенчук Игорь Валерьевич, преподаватель 23-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-97-20, e-mail: raketa_74@mail.ru

Попов Дмитрий Митрофанович, адъюнкт 101-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 325-14-15, e-mail: spbdemoss@gmail.com

Почивалов Сергей Георгиевич, доцент 32-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8(812) 347-86-32, mail:psg50@rambler.ru

Привалов Александр Евгеньевич, старший преподаватель 23-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-97-20, e-mail: cerebrum203@mail.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

Рахимов Рустам Рахмоналиевич, начальник курса 9-го факультета Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 347-98-48, e-mail: rus_ka86@mail.ru

Ременсон Виталий Александрович, профессор 52-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат физико-математических наук, доцент; тел.: 8 (812) 376-97-24.

Рымкевич Павел Павлович, профессор 112-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат физико-математических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-96-72.

Рябиик Степан Анатольевич, адъюнкт 32-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-86-32, e-mail: for_stepa@bk.ru

Самонов Александр Валерьянович, ведущий научный сотрудник 36-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) 347-97-59, e-mail: a.samonov@mail.ru

Свеколкин Николай Иванович, начальник 352-й лаборатории – старший научный сотрудник Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-97-59.

Селихина Наталья Викторовна, преподаватель 102-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук; тел.: 8 (812) 347-96-29, e-mail: zausechka@mail.ru

Сеньченков Валентин Иванович, профессор 43-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук; тел.: 8 (812) 347-96-43, e-mail: svi9@rambler.ru

Синельников Эдуард Геннадьевич, старший научный сотрудник 122-й лаборатории (научно-исследовательской) Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 35); тел.: 8 (921) 870-24-54.

Станкевич Наталия Александровна, старший помощник начальника отдела (ОНР и ПНПК) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8-911-240-06-33, e-mail: nat24ru@nm.ru

Стеганов Геннадий Борисович, доцент 22-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-22, e-mail: sgb022.steganolv@yandex.ru

Тимофеев Вадим Иванович, доцент 52-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 307-23-79, e-mail: timofeev-vi@yandex.ru

Топчий Павел Николаевич, старший преподаватель 32-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-86-32, mail:pawel-topchy@yandex.ru

Тюрин Роман Михайлович, преподаватель 23-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-97-20, e-mail: rom_t77@mail.ru

Уханов Игорь Геннадьевич, заместитель начальника 1-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) 347-97-13.

Федулов Сергей Валентинович, доцент 108-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат исторических наук, доцент; тел.: 8-981-170-19-90, e-mail: serg.val.fed.661000@yandex.ru

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.

Хаматов Андрей Анатольевич, соискатель 34-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 256-89-82, e-mail: hamatoff2010@yandex.ru

Худайназарова Динара Равшановна, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории Военной академии связи имени С.М. Буденного (194064, Россия, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., 3); кандидат педагогических наук; тел.: 8-951-661-61-13, e-mail: innovas@bk.ru

Чернолес Владимир Петрович, начальник научно-исследовательской лаборатории Военной академии связи имени С.М. Буденного (194064, Россия, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., 3); доктор педагогических наук, профессор; тел.: 8-921-907-55-84, e-mail: innovas@bk.ru

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

Чудновский Юрий Анатольевич, доцент 22-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-95-22, e-mail: sgb022.steganolv@yandex.ru

Шабалин Павел Вадимович, старший инженер 53-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-99-52, e-mail: ps-501@mail.ru

Шмалько Светлана Анатольевна, преподаватель 62-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 297-75-95, e-mail: taraton_23@mail.ru

Яснова Нина Семёновна, заведующая 113-й кафедрой Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат педагогических наук; тел.: 8 (812) 663-97-21.

Аверкиев Николай Фёдорович, профессор 16-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-96-16, e-mail: averkiev@mail.ru

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.

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.

Башкирцев Виктор Павлович, профессор 109-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат педагогических наук, доцент; тел.: 8 (911) 218-23-57.

Войцеховский Станислав Витальевич, начальник 27-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-99-25.

Волков Валерий Фёдорович, профессор 91-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор военных наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-64.

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.

Захарчук Илларион Иванович, профессор 22-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-22.

Карагодин Владимир Викторович, профессор 44-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-44.

Каргу Дмитрий Леонидович, начальник 22-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (911) 964-08-60, e-mail: dmitrii_kargu@mail.ru

Козлов Владимир Владимирович, 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, e-mail: prof.kozlov@yandex.ru

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.

Косырев Сергей Викторович, профессор 104-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор военных наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-96-93.

Кужекин Николай Сергеевич, профессор 109-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат философских наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-96.

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.

Летучий Юрий Александрович, старший научный сотрудник 32-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) 347-94-90.

Лосик Александр Витальевич, старший научный сотрудник 61-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор исторических наук, профессор; тел.: 8 (812) 431-06-95.

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.

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

Миронов Александр Николаевич, профессор 13-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-96-13, e-mail: mironov-anik@yandex.ru

Москвин Борис Владимирович, доцент 94-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-58.

Новиков Евгений Александрович, доцент 35-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-96-63.

Огородников Владимир Петрович, профессор 107-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор философских наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-96-94.

Павлов Александр Николаевич, доцент 94-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-62.

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.

Садин Дмитрий Викторович, профессор 11-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-11, e-mail: sadin@yandex.ru

Сазонов Константин Викторович, начальник 62-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-54.

Сурин Дмитрий Васильевич, профессор 41-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); заслуженный деятель науки РФ, действующий член Академии военных наук, доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-41.

Щерба Александр Николаевич, профессор 107-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор исторических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-92-48, e-mail: a.n.sherba@mail.ru