

**Труды Военно-космической
академии имени А.Ф. Можайского**

Выпуск 657

2017 г.

Научное рецензируемое издание
Выходит с 1942 года

Издатель:

Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение
высшего образования «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского»
Министерства обороны Российской Федерации

Главный редактор:

доктор техн. наук, проф. Ю.В. Кулешов

Редколлегия:

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.*; **Д.Н. Бирюков**, *доктор техн. наук*;
И.Ю. Еремеев, *доктор техн. наук, проф.*; **М.А. Еремеев**, *доктор техн. наук, проф.*;
А.И. Замарин, *доктор техн. наук, проф.*; **В.Н. Калинин**, *доктор техн. наук, проф.*;
В.В. Клейменов, *доктор техн. наук, проф.*; **В.В. Козлов**, *доктор техн. наук, проф.*;
Н.С. Кужекин, *кандидат филос. наук, проф.*; **В.Н. Кузьмин**, *доктор воен. наук, проф.*;
Н.Б. Кунтурова, *доктор пед. наук, доц.*; **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.*;
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.*

Адрес:

197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13; тел.: 8 (812) 347-97-69; <http://trudvka.ru>

Издание зарегистрировано

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)

Ответственный за выпуск:

начальник РИО **С.В. Чернышев**

Техническая поддержка:

Н.А. Станкевич

Подписано к печ. 26.06.2017. Формат печатного листа 445×300/4. Уч.-печ. л. 53,00. Уч.-изд. л. 26,00

Тираж 50 экз. Заказ 3410/281. Отпечатано в типографии ВКА имени А.Ф. Можайского

ISSN 2218-5429

© Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

<i>Гончаренко В.А.</i> Декомпозиционный метод расчета сетевых моделей обслуживания с параметрической неопределенностью	5
<i>Котьяшов Е.В., Куваев О.Л., Кудинов М.Г., Чернявский В.А.</i> Информационно-расчетная модель планирования применения орбитальных группировок космических аппаратов	15
<i>Мальшев Д.В., Махров К.Б., Скороходов Я.А.</i> Имитационная модель функционирования космической системы контроля движения морских судов ...	23
<i>Стеганов Г.Б., Чудновский Ю.А.</i> Математическая модель аккумуляторной батареи для зарядного процесса ступенчатым током.....	34

СБОР И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

<i>Богдановский С.В., Овчаренко К.Л., Симонов А.Н.</i> Метод определения координат источников радиоизлучения на основе поляризационных измерений	41
--	----

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

<i>Кравченко И.Д., Степанюк О.М., Трофимова Н.А.</i> Обеспечение заданной криптостойкости блочного шифрования при аутентификации сообщений в условиях адаптации к изменению длины ключа.....	47
--	----

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

<i>Крупский К.А., Успенский К.К.</i> Методический подход к определению систематических составляющих погрешностей оценок параметров движения объекта наблюдения	53
--	----

РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

<i>Абсалямов Д.Р., Аитов Р.Н., Дружинин П.В.</i> Энергоресурсосбережение при эксплуатации автономных источников за счет оптимального регулирования частоты вращения дизель-электрической установки с асинхронизированным синхронным генератором	60
---	----

<i>Алёшкин А.П., Бородулин Р.Ю., Гусаков В.М.</i> Методика конструкционного синтеза электрически малых антенн	67
<i>Бондарев А.В., Кошечкин М.В.</i> Применение метода прогнозирования ресурса стенки стальных вертикальных резервуаров при малоцикловом нагружении	77
<i>Бондарев А.В., Семёнов П.А., Смирнов А.В.</i> Обзор состояния научно-технических разработок и перспективные направления исследований систем комплексной автоматизации угольных котельных с котлами кипящего слоя на объектах МО РФ.....	81
<i>Буянкин М.П., Ватутин М.А., Кузьмичев Ю.А., Трофимов И.А.</i> Имитационная модель интеллектуального акселерометра	87
<i>Власов В.А., Маленин Е.Н.</i> Автономный режим работы системы ориентации солнечной батареи	97
<i>Воронин А.Е., Пешехонов Н.Е.</i> Определение показателя надежности глубокого секционирования систем электроснабжения	104
<i>Горшков Л.К., Щербаков В.И.</i> Колебательные движения соударяющихся масс в ударных механизмах с периодическим негармоническим возмущением	113
<i>Дзитоев А.М., Лаповок Е.В., Ханков С.И.</i> Методика расчета температур граней космического объекта в форме тонкостенного параллелепипеда на круговой солнечно-постоянной орбите	118
<i>Саркисов С.В.</i> Вероятностно-технологический метод прогнозирования изменения параметрических характеристик функционирования системы водоснабжения	125
<i>Ставцев Б.С.</i> Способ снижения уровня боковых лепестков рупорной сверхширокополосной антенны	131
ПРОБЛЕМЫ ВОЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ, ВОИНСКОГО ОБУЧЕНИЯ И ВОСПИТАНИЯ, УПРАВЛЕНИЯ ПОВСЕДНЕВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ВОЙСК	
<i>Багрецов С.А., Кулганов В.А., Фомичев А.Д.</i> Алгоритм определения области компромиссных решений комплектования малых групп формирований Воздушно-космических сил	141
<i>Бочинин Д.А.</i> Совершенствование системы подготовки специалистов командно-измерительного комплекса космических средств Министерства обороны СССР в 1980-х гг.....	148
ВОПРОСЫ ГУМАНИТАРНЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ НАУК	
<i>Гуторович О.В.</i> Информационная война как отражение стратегии развития человечества	155

<i>Зрянина Н.В., Стешов А.В., Яковлев А.Г.</i> Методика проведения занятий практической направленности с помощью интеллект-карт	164
<i>Иноземцева Л.А., Кужекин Н.С.</i> Психолого-педагогические основания визуализации учебного контента при разработке электронных дидактических материалов	173
<i>Кудряшов С.В., Лосик А.В., Розанова Л.В.</i> Об историческом возрождении института военного духовенства в условиях новой постсоветской России.....	178
<i>Курдай Н.В., Пауков А.Б., Фаттахов Р.Ф.</i> Система подготовки курсового офицера-преподавателя к образовательной деятельности	185
<i>Тарасов А.В., Шалонов Е.В.</i> Военно-педагогический процесс в вузе Министерства обороны Российской Федерации: особенности протекания и актуальные проблемы	191
Рефераты статей.....	196
Сведения об авторах.....	202
Сведения о рецензентах.....	208

В.А. Гончаренко,
кандидат техн. наук, доцент

ДЕКОМПОЗИЦИОННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА СЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ОБСЛУЖИВАНИЯ С ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬЮ

Рассмотрены подходы к формированию и аппроксимации исходных данных в условиях неопределенности. Предложена методика расчета параметров объединенного потока заявок, составляющими которого являются несколько рекуррентных потоков, аппроксимируемых фазовыми распределениями. Рассмотрены методы расчета характеристик времени пребывания заявок в узлах и в сети при наличии интервальной неопределенности параметров распределений, описывающих входной поток и узлы сети.

Ключевые слова: сетевая модель обслуживания, рекуррентный поток, параметрическая неопределенность, узел сети, случайный параметр, фазовая функция, аппроксимация, рандомизация, декомпозиционный метод.

ВВЕДЕНИЕ

При анализе качества функционирования и обосновании характеристик производительности распределенных информационно-вычислительных систем (ИВС) все большее применение находят сети массового обслуживания (СеМО), позволяющие более адекватно и детально отражать структуру ИВС и происходящие в них процессы обслуживания.

В условиях неопределенности информации об исходных распределениях случайных величин сетевых моделей методы декомпозиционной аппроксимации получили наибольшее развитие. При этом обычно делаются допущения о независимости времен пребывания заявок в узлах сети и рекуррентности потоков, циркулирующих в сети.

Декомпозиционные методы, как правило, предполагают задание исходных распределений в виде ограниченного числа начальных моментов. Однако неопределенность исходных данных при расчете сетевых моделей реальных объектов, например компьютерных сетей, может носить различную природу [1, 2]. В настоящее время нет достаточно разработанных подходов к расчету сетевых моделей в условиях параметрической неопределенности исходных данных. Поэтому представляется необходимым разработать общую методику расчета сетей на основе обобщения приближенных методов расчета СеМО с учетом различных методов задания неопределенности исходных данных для сетевых моделей обслуживания.

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА СЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ С НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬЮ

Методы расчета СеМО применительно к ИВС и их классификация достаточно подробно рассматривались в [3, 4]. Их можно разделить на точные (аналитические) и приближенные (аппроксимационные). Первые позволяют получить решение в виде аналитического выражения, однако класс таких сетей ограничен и определяется теоремами Джексона и ВСМР [5]. Поэтому всестороннее развитие получили аппроксимационные методы, выходящие за рамки названных теорем и позволяющие исследовать сети при произвольных исходных распределениях. Основными из них являются: методы диффузионной аппроксимации [4, 6], используемые при большой нагрузке; методы последовательно-параллельных фаз [4] для СеМО небольшой размерности; полиномиальные методы [4]; методы на основе эвристик [7]; различные декомпозиционные методы [8–10], основанные на раздельном анализе подсетей.

В статье [9] рассмотрен аппроксимационный метод расчета разомкнутых СеМО, позволяющий учитывать требуемое число начальных моментов при рекуррентном входящем потоке

и произвольном распределении времени обслуживания. В [10] предложен более общий итеративный метод расчета, учитывающий цикличность сетей и многоканальность узлов.

Рассмотрим задачу расчета сети при задании некоторой меры неопределенности P для исходных распределений. Дана ациклическая разомкнутая сеть из M узлов, представляемая в виде ориентированного графа. Источник заявок является нулевой вершиной, а выход сети – $M+1$ -й вершиной. Дисциплина обслуживания заявок в узлах – FIFO, очереди к узлам не ограничены. Матрица вероятностей перехода между узлами $\|\pi_{i,j}\|$ формируется на основе анализа потоков между узлами и усредняется с учетом возможных колебаний последних. Функции распределения интервалов между заявками входного потока $A(t)$ и времени обслуживания заявок в узлах $B_i(x)$ в общем случае произвольны и заданы с соответствующей мерой неопределенности $P(A)$ и $P(B_i)$. Необходимо найти начальные моменты распределения времени пребывания произвольной заявки в сети и построить по ним функцию распределения.

Для решения данной задачи предлагается алгоритм расчета сетевой модели ИВС с неопределенными исходными данными, позволяющий оценить характеристики производительности ИВС. Предлагаемый алгоритм состоит из нескольких этапов.

1. Анализ потоков между узлами сетевой модели и формирование исходных данных для модели (матрицы вероятностей переходов между узлами, исходных распределений интервалов между заявками входного потока и времени обслуживания заявок в узлах сети [11] и др.).

2. Проверка на уровне средних значений интенсивностей входного потока и обслуживания в узлах отсутствия условий перегрузки узлов. В противном случае – уточнение и корректировка исходных данных и повторение п.1.

3. Аппроксимация исходных распределений распределениями с произвольной фазовой функцией (непрерывной или дискретной), в частности фазовыми распределениями [11].

4. Расчет характеристик потоков заявок при их разделении и объединении на входах рассматриваемых узлов сети, аппроксимация распределений для входящих на узлы потоков.

5. Расчет характеристик времени пребывания заявки в очередном узле сети на основе распределения времени обслуживания и полученного в п.4 распределения интервалов между заявками входящего в данный узел потока [2].

6. Расчет характеристик выходящего из очередного узла потока и переход к п.4 [2].

7. Нахождение начальных моментов распределения времени пребывания заявки в сети на основе полученных начальных моментов времени пребывания заявки в узлах и матрицы вероятностей переходов между узлами [9, 10].

Рассмотрим некоторые особенности расчета сетевых моделей с неопределенностью.

ФОРМИРОВАНИЕ И АППРОКСИМАЦИЯ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Формирование исходных данных для сетевых моделей осуществляется на основе методов математической статистики, экспертного оценивания, теории нечетких множеств, теории свидетельств и др. Для дальнейшего использования исходных данных необходимо свести их к вероятностному представлению. Анализ возможных маршрутов прохождения информации между узлами сети позволит сформировать матрицу интенсивностей потоков между узлами, а на ее основе – матрицу вероятностей передач. В общем случае эти вероятности не будут постоянными величинами, поэтому необходимо их усреднить по реализациям или по времени.

Далее, исходные распределения времени между входящими заявками и времени обслуживания в узлах аппроксимируются подходящими распределениями. Можно выделить различные схемы формирования и аппроксимации исходных распределений.

1. Характеристики входного потока и времени обслуживания определены по результатам наблюдений над реальным узлом, для интенсивностей потоков либо построены доверительные интервалы с заданной надежностью, либо определены границы колебаний рабочей нагрузки на заданном интервале времени на основе статистики результатов измерений [12].

2. Параметры исходных распределений для сетевой модели задаются в виде диапазона (множества) возможных значений либо в виде случайного (нечеткого) множества с вероятностями (степенями принадлежности) частных значений на основе экспертных оценок [13].

3. Известны средние значения и дисперсии (коэффициенты вариации) интервалов между заявками и времени обслуживания в узлах. Соответствующие распределения аппроксимируются распределениями с произвольными фазами (со случайными параметрами) [11].

4. Известны N начальных моментов исходных распределений. В этом случае они аппроксимируются по методу моментов [9, 10] или методу производных [14].

5. Функциональный вид исходного распределения известен, но достаточно сложен для использования в модели. Данное распределение может быть аппроксимировано распределением со случайным параметром [11] на основе метода моментов или метода производных.

Таким образом, на основе различных подходов могут быть получены исходные распределения, которые либо используются непосредственно в моделях, либо аппроксимируются более простыми фазовыми распределениями (распределениями с произвольной фазовой функцией, с параллельно-последовательными фазами, со случайными параметрами и др.).

ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ПОТОКОВ В СЕТЯХ

На узел заявки могут поступать как из внешнего источника, так и от других узлов сети. В свою очередь, выходящие из узла заявки поступают на другие узлы либо покидают сеть. При этом происходит преобразование исходных потоков заявок – их разделение и суммирование.

Разделение потока на несколько составляющих осуществляется с помощью операции случайного прореживания потока, когда заявки с некоторой вероятностью p_i поступают на i -й узел или покидают сеть. Для j -го потока в разделяемом потоке преобразование Лапласа – Стильтеса (ПЛС) плотности распределения (ПР) времени между заявками имеет вид [9, 10]

$$F_j^*(S) = p_j F^*(S) / [1 - (1 - p_j) F^*(S)], \quad (1)$$

где p_j – вероятность передачи заявки из разделяемого потока на j -й узел;

$F^*(s)$ – ПЛС ПР времени между заявками в разделяемом потоке.

Начальные моменты k -го порядка для времен между заявками, поступающими на j -й узел,

$$v_{k,j} = \left[v_k + \sum_{k=1}^{k-1} v_{k-i} v_{i,j} (1 - p_j) \right] / p_j, \quad (2)$$

где v_k – начальные моменты разделяемого потока.

При получении характеристик суммарного потока заявок в большинстве работ рассматривают наложение пуассоновских потоков, что существенно упрощает процедуру их суммирования, но делает результат недостаточно точным для реальных потоков [4].

В статье [8] предлагается аппроксимировать плотности распределения времени между событиями в объединяемых потоках по двум начальным моментам в зависимости от коэффициента вариации. В статьях [9, 10] аппроксимирующими берутся гиперэкспоненциальные распределения с произвольным числом начальных моментов, при этом параметры аппроксимации допускаются комплексными. В [15] в качестве аппроксимирующего использовано обобщенное распределение Эрланга. Во всех перечисленных работах суммирование производится для двух потоков, а если число потоков больше двух, то суммирование потоков проводится попарно по схеме двоичного дерева с пересчетом на каждом шаге параметров аппроксимации. Это увеличивает трудоемкость расчетов и снижает их точность.

В [16] была предложена методика, позволяющая суммировать сразу несколько рекуррентных потоков. При этом аппроксимирующими распределениями могут быть различные фазовые распределения, в частности гиперэкспоненциальные и эрланговские распределения, с произвольным числом фаз и в произвольном сочетании в одном суммируемом потоке.

Запишем выражение для ПР времени между требованиями в суммарном потоке [16]:

$$a(t) = \frac{d^2}{dt^2} \left[\prod_{i=1}^p \frac{\lambda_i}{\lambda} \int_t^{\infty} \int_u^{\infty} a_i(x) dx du \right]. \quad (3)$$

После дифференцирования выражения (3) имеем

$$a(t) = \prod_{i=1}^p \frac{\lambda_i}{\lambda} \sum_{j=1}^p \left[S_j''(t) \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^p S_k''(t) + S_j'(t) \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^p \left(S_k'(t) \prod_{\substack{l=1 \\ l \neq j, l \neq k}}^p S_l(t) \right) \right], \quad (4)$$

где $S_j(t) = \int_t^{\infty} \int_u^{\infty} a_i(x) dx du$; $S_j'(t) = -\int_t^{\infty} a_i(u) du$; $S_j''(t) = a_i(t)$.

Из формулы (4) получим расчетные формулы для начальных моментов объединенного потока, подставив вместо $a_i(t)$ соответствующие аппроксимирующие плотности распределений. В качестве последних можно использовать различные типы фазовых распределений.

Например, при гиперэкспоненциальной аппроксимации (при коэффициенте вариации $\nu > 1$)

$$a_i(t) = \sum_{j=1}^{Q_i} C_{ji} \lambda_{ji} e^{-\lambda_{ji} t}, \text{ где } C_{ji}, \lambda_{ji} - j\text{-е параметры разложения } i\text{-го потока.}$$

При обобщенной эрланговской аппроксимации с различными интенсивностями λ_{ji} последовательных фаз (при коэффициенте вариации $\nu < 1$) $a_i(t) = \prod_{m=1}^{Q_i} \lambda_{mi} \sum_{j=1}^{Q_i} e^{-\lambda_{ji} t} / p(\lambda_{ji})$, $\lambda_{ki} \neq \lambda_{ji}$,

где $p(\lambda_{ji}) = \prod_{k=1, k \neq j}^{Q_i} (\lambda_{ki} - \lambda_{ji})$, а λ_{ji} – интенсивность j -й фазы i -го потока.

В результате расчетная формула для плотности распределения времени между заявками в суммарном потоке через параметры соответствующей аппроксимации примет вид

$$a(t) = \prod_{i=1}^p \frac{\lambda_i}{\lambda} \sum_{j_1=1}^{Q_1} \sum_{j_2=1}^{Q_2} \dots \sum_{j_p=1}^{Q_p} \left[\left(\prod_{k=1}^p R_{j_k k} \cdot e^{-\lambda_{j_k k} t} \right) \cdot \left(\sum_{k=1}^p \lambda_{j_k k} \right)^2 \right], \quad (5)$$

где $R_{j_k k} = \frac{C_{j_k k}}{\lambda_{j_k k}}$ при $\nu > 1$; $R_{j_k k} = \prod_{m_k=1}^{Q_k} \lambda_{m_k k} / p(\lambda_{j_k k}) \cdot \lambda_{j_k k}^2$ при $\nu < 1$

Из формулы (5) находим выражение для начальных моментов распределения $a(t)$:

$$v_n = \prod_{i=1}^p \frac{\lambda_i n!}{\lambda} \sum_{j_1=1}^{Q_1} \sum_{j_2=1}^{Q_2} \dots \sum_{j_p=1}^{Q_p} \left[\prod_{k=1}^p R_{j_k k} / \left(\sum_{k=1}^p \lambda_{j_k k} \right)^{n-1} \right]. \quad (6)$$

Полученный суммарный поток на входе очередного узла аппроксимируется фазовым распределением на основе метода моментов или метода производных [14], в том числе распределением с произвольной фазовой функцией [11].

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ВРЕМЕНИ ПРЕБЫВАНИЯ ЗАДАНИЙ И ВЫХОДЯЩЕГО ПОТОКА В УЗЛАХ СЕТОВОЙ МОДЕЛИ

После преобразования потоков на входе очередного узла сети необходимо рассчитать характеристики узла сети, такие как распределения и начальные моменты времени пребывания заданий в узлах и времени между моментами завершения обслуживания заданий.

ПЛС ПР времени пребывания заданий в узле представляется в виде произведения:

$$G^*(s) = W^*(s) \cdot B^*(s);$$

где $W^*(s)$ и $B^*(s)$ – ПЛС ПР времен ожидания и обслуживания заявки в узле соответственно.

Начальные моменты распределения времени пребывания заданий в узле:

$$\gamma_k = \sum_{j=0}^k \binom{k}{j} \omega_j \beta_{k-j}; \quad (7)$$

где ω_k и β_k – начальные моменты времен ожидания и обслуживания в узле соответственно.

При использовании модели с интервальной неопределенностью (рандомизацией) параметров экспоненциальных распределений времени между приходом заявок ($\lambda \in [a, b]$) и времени обслуживания ($\mu \in [c, d]$), рассмотренной в [2], исходные плотности распределений $a(t)$ и $b_i(x)$ усредняются по случайным параметрам:

$$a(t) = \int_a^b \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{b-a} d\lambda = \frac{(1+at) \cdot e^{-at} + (1+bt) \cdot e^{-bt}}{(b-a)t^2}; \quad (8)$$

$$b(x) = \int_c^d \frac{\mu e^{-\mu x}}{d-c} d\mu = \frac{(1+cx) \cdot e^{-cx} + (1+dx) \cdot e^{-dx}}{(d-c)x^2}. \quad (9)$$

Тогда для ПЛС ПР и начальных моментов времен ожидания получим:

$$W^*(s) = \frac{sr_0}{(s-s_1(s)) \cdot (1-B^*(s))}; \quad \omega_k = \sum_{j=1}^k \binom{k}{j} (-1)^{j+1} \omega_{k-j} / W^{*(j)}(0), \quad (10)$$

где r_0 – вероятность застать узел свободным, $r_0 = \left(\frac{b-a}{(b-a)\beta_1} - a \right) \cdot \beta_1$;

$B^*(s)$ – ПЛС ПР времени обслуживания заявки в узле, $B^*(s) = 1 - s \ln[(d+s)/(c+s)] / (d-c)$;

$s_1(s)$ – корень решения уравнения Линдли, $s_1(s) = a - \frac{b-a}{e^{(b-a)/(s/(1-B^*(s))-s)} - 1}$.

В частности, из выражения (10) среднее время ожидания будет иметь вид

$$\omega_1 = \frac{\beta_1}{r_0} \left(1 + \frac{(b-a)^2 \cdot (\beta_2 / 2 - \beta_1^2) \cdot e^{(b-a)\beta_1}}{(e^{(b-a)\beta_1} - 1)^2} \right) - \frac{\beta_2}{2\beta_1}. \quad (11)$$

Для получения ПЛС $D^*(s)$ и начальных моментов δ_k ПР времени между моментами завершения обслуживания заданий в узле воспользуемся формулами:

$$D^*(s) = (1-r_0 + r_0 V^*(s)) \cdot B^*(s); \quad \delta_k = \beta_k + r_0 \sum_{j=1}^k \binom{k}{j} \beta_{k-j} \nu_j. \quad (12)$$

Для расчета характеристик узлов сети в условиях параметрической неопределенности исходных данных предлагается следующий алгоритм.

Шаг 1. На входе очередного узла, начиная с 1-го, просуммировать потоки согласно описанной выше методике [16] и аппроксимировать плотность распределения суммарного входящего потока фазовым распределением (распределением со случайным параметром) [11].

Шаг 2. Рассчитать согласно разработанному рандомизационному методу [2] или другим аппроксимационным методам начальные моменты времен ожидания.

Шаг 3. Найти начальные моменты времени пребывания заданий в узле по формуле (7), выполнив свертку начальных моментов общего для всех типов времен ожидания заданий с начальными моментами времени обслуживания по каждому из типов заданий [2].

Шаг 4. Аналогично шагу 2, согласно алгоритму из [2] или др., рассчитать начальные моменты выходящего из узла потока и провести его декомпозицию в соответствии с удельным весом каждого типа заявок и матрицей вероятностей передач.

Шаг 5. Перейти к расчету очередного узла сети с учетом различных типов заданий.

НАХОЖДЕНИЕ ВРЕМЕНИ ПРЕБЫВАНИЯ ЗАДАНИЙ В СЕТЕВОЙ МОДЕЛИ

При расчете характеристик сетевой модели используется предположение о независимости времени пребывания задания в i -м узле от времени пребывания в предыдущих узлах.

Обозначим $G_i^*(s)$ ПЛС плотности распределения (ПР) времени пребывания задания в i -м узле сети. Введем в рассмотрение следующую матрицу:

$$Y(s) = \begin{pmatrix} P_{0,0} & P_{0,1} & \dots & P_{0,m} & P_{0,m+1} \\ p_{1,0}G_1(s) & p_{1,1}G_1(s) & \dots & p_{1,m}G_1(s) & p_{1,m+1}G_1(s) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{m,0}G_m(s) & p_{m,1}G_m(s) & \dots & p_{m,m}G_m(s) & p_{m,m+1}G_m(s) \\ p_{m+1,0} & p_{m+1,1} & \dots & p_{m+1,m} & p_{m+1,m+1} \end{pmatrix},$$

где p_{ij} – вероятность перехода заявки после обслуживания в i -м узле в j -й узел. При этом $G_0^*(s) = G_{m+1}^*(s) = 1$.

Получим матрицу ПЛС ПР времен пребывания заявки в сети между i -м и j -м узлом

$$T(s) = I + Y(s) + Y^2(s) + \dots = I(I - Y(s))^{-1}.$$

ПЛС ПР времени пребывания заявки в сети – элемент матрицы $T(s)$ с номером $(0, m+1)$. В соответствии с правилами вычисления значений обратной матрицы, выражение для ПЛС ПР времени пребывания заявки в сети можно записать в виде

$$G^*(s) = G_{0,m+1}^*(s) = A_{m+1,0}^*(s)/R(s), \quad (13)$$

где $A_{m+1,0}^*(s)$ – алгебраическое дополнение элемента $(0, m+1)$ матрицы $T(s)$;

$R(s)$ – главный определитель матрицы $T(s)$.

Путем дифференцирования выражения (13) получают начальные моменты времени пребывания заданий на обработке в сети, по которым можно построить, используя подходящую аппроксимацию, ФР времени пребывания задания в сети [17].

Изложенные методы позволяют находить различные вероятностно-временные характеристики производительности реальных вычислительных средств сложной структуры при неопределенности исходных распределений, что особенно актуально на этапах модернизации и проектирования перспективных информационно-вычислительных комплексов.

Проведенная оценка точности результатов, получаемых различными методами [9, 10, 2, 15, 17], показала достаточно высокое соответствие вычисления начальных моментов плотности распределения времени пребывания заявок в СеМО результатам имитационного моделирования. Погрешности обычно составляют 5–10%. С повышением сложности структуры сети точность результатов будет повышаться, что является следствием известного факта теории восстановления. Наибольшие погрешности (до 30 %) возникают в следующих случаях:

- 1) потоки заявок, циркулирующие в сети, и потоки обслуживания близки к детерминированным (когда коэффициенты вариации меньше 0,2);
- 2) при высокой загрузке узлов (более 0,8);
- 3) при небольшом числе узлов с петлями обратной связи;
- 4) при резко выраженной нестационарности рассматриваемых потоков.

Погрешность первого типа объясняется недостатками аппроксимации. Тогда можно использовать методы расчета СеМО с детерминированными или равномерно распределенными входящим потоком и потоком обслуживания, выделив их в особый случай.

Во втором случае погрешности устраняются с использованием диффузионной аппроксимации для сильно загруженных узлов [4, 6].

При малом числе узлов и наличии петель обратной связи сетевые модели по своим свойствам приближаются к закрытым СеМО, для которых характерны свои особенности [5].

В четвертом случае можно рекомендовать рассмотрение сети на участках относительной стационарности параметров или введение моделей с нестационарными или случайными параметрами [2, 18] при сохранении равенства начальных моментов.

При неопределенности исходных данных на возникающие погрешности в расчете накладываются дополнительно погрешности самих исходных данных. Тогда, применяя описанную выше методику на основе моделей с неопределенными параметрами, получим более точные результаты, чем с помощью традиционных методов. Сравнительный анализ различных методов показывает, что при неучете изменчивости исходных данных результаты оценивания производительности являются более оптимистичными по сравнению с реальными ИВС [2].

ПРИМЕР РАСЧЕТА СЕТИ С НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬЮ ПАРАМЕТРОВ

Рассмотрим пример расчета сетевой модели ИВС из трех узлов, представленной на рис. 1. Дано: узлы одноканальные, дисциплина – FIFO, очереди к узлам не ограничены. Нулевой узел имитирует источник заявок, узел 4 – сток (выход сети). Вероятности передач между узлами: $p_{01} = 0,1$; $p_{02} = 0,5$; $p_{03} = 0,4$; $p_{14} = 1$; $p_{21} = 0,3$; $p_{31} = 0,4$; $p_{23} = 0,7$; $p_{34} = 0,6$. Плотности распределения интервалов между заявками входного потока $a(t)$ и времени обслуживания заявок в узлах $b_i(x)$ являются экспоненциальными, но имеют случайные равномерно распределенные параметры λ и μ_i : $\lambda \in [a, b]$, $\mu_i \in [c_i, d_i]$. Следует найти характеристики времени пребывания заявки в сети без учета и с учетом факторов неопределенности при $\lambda = 10 \pm 8 \text{ мин}^{-1}$, $\mu_1 = 5 \pm 3 \text{ мин}^{-1}$, $\mu_2 = 8 \pm 6 \text{ мин}^{-1}$, $\mu_3 = 10 \pm 6 \text{ мин}^{-1}$.

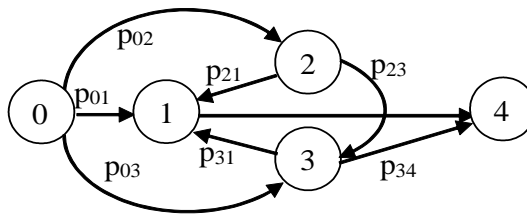


Рис. 1. Трехузловая сетевая модель обслуживания

При игнорировании факторов неопределенности сеть представляет собой обычную экспоненциальную СеМО. Но при этом, если параметры исходных распределений вероятностей усредняются по среднему – $\lambda = (a+b)/2$, $\mu_i = (c_i+d_i)/2$ (первый подход), получаем искаженные средние времена между входящими заявками α_1 и времена обслуживания в узлах β_{1i} со сдвигом влево (табл.1) и, следовательно, коэффициенты загрузки ρ_i (в данном случае – завышенные).

При учете факторов неопределенности исходных параметров [1, 2] (второй подход) первые начальные моменты исходных распределений (табл.1) имеют вид:

$$\alpha_1 = \frac{\ln(b/a)}{b-a}, \beta_{1i} = \frac{\ln(d_i/c_i)}{d_i - c_i}. \quad (14)$$

Нужно отметить, что средние значения случайных параметров λ , μ_i больше средних интенсивностей потока $1/\alpha_1$ и $1/\beta_{1i}$. Это является следствием теоремы 1 из [1], гласящей, что математическое ожидание случайной неотрицательной величины \hat{x} всегда не меньше обратного значения математического ожидания обратной случайной величины $1/\hat{x}$.

В результате расчета по формулам (11) и (7) получаем средние времена пребывания заданий в узлах γ_{1i} , затем рассчитываем среднее время пребывания заданий в сети γ_1 (табл.1).

Таблица 1

Сравнительный анализ подходов к оцениванию времени пребывания в сети

Узел	Без учета неопределенности				С учетом неопределенности				Без учета неопределенности с выравниванием по α_1 и β_1			
	α_1	β_1	ρ	γ_1	α_1	β_1	ρ	γ_1	α_1	β_1	ρ	γ_1
Узел 1	0,249	0,2	0,82	1,111	0,335	0,231	0,690	1,073	0,335	0,231	0,690	0,745
Узел 2	0,2	0,125	0,625	0,333	0,275	0,162	0,590	0,595	0,275	0,162	0,590	0,396
Узел 3	0,133	0,1	0,75	0,4	0,183	0,116	0,631	0,439	0,183	0,116	0,631	0,313
Сеть				1,078				1,216				0,842

Если неопределенность параметров не учитывать, но выровнять результаты расчетов по полученным α_1 и β_{1i} и, соответственно, по коэффициентам загрузки ρ_i (*третий подход*), то разница в значении времени пребывания в сети (при учете неопределенности) в сравнении со вторым подходом станет еще более значительна (в 1,44 раза).

Наличие неопределенности в параметрах входного потока и потоков обслуживания в узлах по-разному влияет на оценки времени пребывания в сети. Так, при отсутствии вариации λ ($\lambda=10$ мин⁻¹) время пребывания в сети для перечисленных трех подходов составит соответственно 1,078, 4,099 и 3,489 мин.

Очевидно, что при первом подходе получаются явно заниженные результаты, при третьем подходе – близкие, но тоже заниженные значения по сравнению с вариантом учета неопределенности (в 1,17 раз). При отсутствии же неопределенности только в параметрах приборов обслуживания ($\mu_1 = 5$ мин⁻¹, $\mu_2 = 8$ мин⁻¹, $\mu_3 = 10$ мин⁻¹) время пребывания в сети составит соответственно 1,078, 0,685 и 0,553 мин. При первом подходе получим тот же самый результат, поскольку никак не учитывается неопределенность, и в данном случае время пребывания в сети будет завышенным. При использовании третьего подхода результат будет заниженным в 1,24 раза.

Таким образом, учет неопределенности параметров распределений при использовании второго подхода позволяет более адекватно оценивать задержки в сети и формулировать требования к производительности распределенных вычислительных систем, в том числе и в условиях действия внешних дестабилизирующих факторов.

Для оценки степени неопределенности параметров удобно использовать коэффициенты неопределенности $\Delta_\alpha = (b-a)/(b+a)$, $\Delta_{\beta_i} = (d_i - c_i)/(d_i + c_i)$, принимающие значения от 0 до 1. Для нашего примера $\Delta_\alpha = 0,8$, $\Delta_{\beta_1} = 0,6$, $\Delta_{\beta_2} = 0,75$, $\Delta_{\beta_3} = 0,6$. Анализ показывает, что характеристики моделей с неопределенностью более чувствительны к неопределенности параметров обслуживания, чем к неопределенности параметров входного потока [2].

На рис.2 изображена криволинейная поверхность, отражающая зависимость относительного среднего времени ожидания ω_1 в узле сети от Δ_α и Δ_β (при $\rho=0,5$). При отсутствии неопределенности это соотношение принимает минимальное значение, равное 1. При увеличении Δ_α и Δ_β относительное время ожидания начинает возрастать, причем более быстро при неопределенности в обслуживании, чем при аналогичной неопределенности во входном потоке.

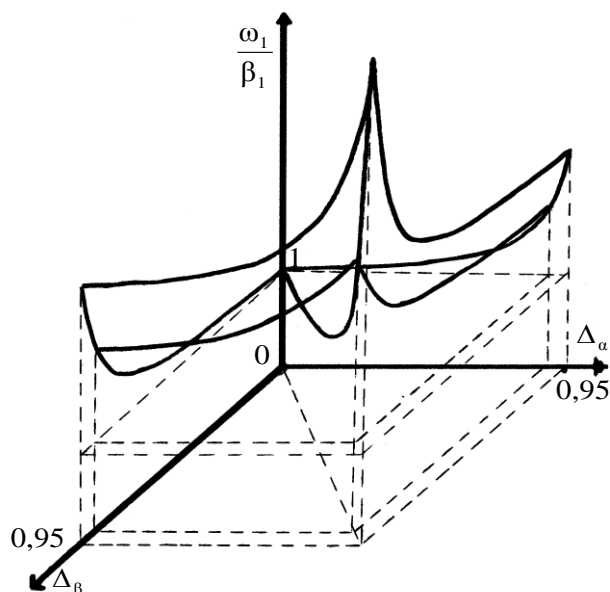


Рис. 2. Зависимость относительного времени ожидания ω_1/β_1 от коэффициентов неопределенности параметров распределений

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренный метод расчета сетевых моделей ИВС представляет собой модификацию существующих приближенных методов расчета стохастических сетей обслуживания с учетом реально имеющейся неопределенности сведений о входящем потоке и элементах сети.

Проведенный анализ показал, что приближенные методы наиболее эффективно могут применяться для расчета сетевых моделей ИВС, входящие потоки и потоки обслуживания в узлах которых имеют коэффициенты вариации $v > 0,2$ при загрузке узлов, не превышающей 0,8. При возникновении различных факторов неопределенности исходных данных эти методы могут быть модифицированы с целью достижения более высокой точности расчета вероятностно-временных характеристик сети. Случайность (неопределенность) параметров распределений приводит к тому, что реальные интенсивности потоков получают смещение влево от первоначальных значений. Для расширения области применения приближенных декомпозиционных методов расчета сетевых моделей ИВС в условиях неопределенности могут быть использованы другие методы для исследования моделей в особых случаях [11, 12, 14, 18].

Список используемых источников

1. Гончаренко В.А. Моделирование и оценивание характеристик случайных потоков событий в компьютерных сетях при параметрической неопределенности // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2015. – Вып. 649. – С.16–22.
2. Гончаренко В.А. Анализ реактивности узла вычислительной сети в условиях интервальной неопределенности // Изв. вузов. Приборостроение. – 2008. – №7. – С.34–39.
3. Башарин Г.П., Бочаров П.П., Коган Я.А. Анализ очередей в вычислительных сетях. Теория и методы расчета. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 336 с.
4. Жожикашвили В.А., Вишневский В.А. Сети массового обслуживания. Теория и применение к сетям ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1980. – 192 с.
5. Open, closed and mixed networks of queues with different classes of customers / F. Baskett, K.M. Chandy, R.R. Muntz, F.G. Palacios // Journ.ACM. – 1975. – Vol.22, №2. – P.43–49.

6. *Gelenbe E., Pujolle G.* A diffusion model of a single queue in a general queueing network // *Acta informatica.* – 1976. Vol.7, №2. – P.123–136.
7. *Kramer W., Langenbach-Belz M.* Approximation for the delay in the queueing systems GI/GI/1 // *Congressbook, 8-th Internat.Telegraf.Congr. Melbourne.* – 1976. – P.235.1–235.8.
8. *Kuhn P.* Approximate analysis of general queueing networks by decomposition // *IEEE Trans. on Commun.* – 1979. – Vol.27, №1. – P.113–126.
9. *Смагин В.А., Филимоныхин Г.В.* Аппроксимационный метод расчета разомкнутых сетей массового обслуживания // *Автоматика и вычислительная техника.* – 1986. – №4. – С.28–33.
10. *Рыжиков Ю.И., Хомоненко А.Д.* Расчет разомкнутых немарковских сетей с преобразованием потоков // *Автоматика и вычислительная техника.* – 1989. – №3. – С.15–24.
11. *Гончаренко В.А.* Композиционный метод формирования аппроксимационных распределений с произвольной фазовой функцией // *Труды СПИИРАН.* – 2016. – Вып.3 (46). – С.212–225.
12. *Ивановский В.В.* Чувствительность среднего времени ожидания к неустойчивости потоков в синхронных сетях // *Автоматика и вычислительная техника.* – 1989. – №1. – С.48–52.
13. *Левин В.И.* Моделирование задач оптимизации в условиях интервальной неопределенности // *Известия ПГПУ имени В.Г. Белинского.* – 2011. – №26. – С.589–595.
14. *Смагин В.А.* К аппроксимации законов распределений методом производных // *Известия вузов. Приборостроение.* – 1993. – №2. – С.16–21.
15. *Екимцов А.Н., Смагин В.А.* Обратная задача теории массового обслуживания для узла вычислительной сети // *Автоматика и вычислительная техника.* – 1991. – №3. – С.38–42.
16. *Гончаренко В.А.* Методика одновременного суммирования нескольких рекуррентных потоков заявок в сетях массового обслуживания // *Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского.* – 2014. – Вып. 645. – С. 13–17.
17. *Демиденко Ю.А., Рыжиков Ю.И.* Определение моментов распределения времени пребывания заявки в вычислительной сети // *Автоматика и вычислительная техника.* – 1988. – №1. – С.24–27.
18. *Бубнов В.П., Тырва А.В., Еремин А.С.* Комплекс моделей нестационарных систем обслуживания с распределениями фазового типа // *Труды СПИИРАН.* – 2014. – Вып. 37. – С. 61–71.

Е.В. Котяшов,
кандидат техн. наук;
О.Л. Куваев;
М.Г. Кудинов,
кандидат техн. наук;
В.А. Чернявский,
кандидат техн. наук

ИНФОРМАЦИОННО-РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ОРБИТАЛЬНЫХ ГРУППИРОВОК КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

В статье рассматривается этапность процесса планирования применения орбитальной группировки космических аппаратов, построение информационно-расчетной модели планирования применения орбитальной группировки космических аппаратов (ОГ КА).

Ключевые слова: космический аппарат, космический объект, околоземное космическое пространство, орбитальная группировка, планирование применения.

ВВЕДЕНИЕ

Подготовка к выполнению космического полета начинается с формулировки цели, ради которой создается и разворачивается та или иная ОГ КА. Одним из перспективных направлений освоения космического пространства является объединение разнотипных КА в единую ОГ для повышения информативности обслуживания космических и наземных объектов. Такая ОГ позволит устранить ограничения, препятствующие оперативному получению качественной некоординатной информации. С ее помощью, например, на основе анализа изображений, полученных в различных спектральных диапазонах, могут быть исследованы информативные признаки, свидетельствующие о техническом состоянии запущенных ранее КА (нераскрытые элементы конструкции, нарушение ориентации, наличие утечек жидкостей). В перспективе указанная ОГ позволит решить задачу слежения и каталогизации объектов космического мусора на низких и высоких орбитах с целью предупреждения их столкновения с действующими КА.

Исходя из того, что системы космических аппаратов могут выполнять широкий круг перечисленных целевых задач, можно сделать вывод, что эффективность их применения зависит от того, насколько качественно спланировано их применение. При этом миниатюризация, усложнение, увеличение количества и разнообразия космических аппаратов, высокие требования к оперативности и эффективности их применения, специфика решаемых задач и многоплановость целей применения орбитальных группировок космических аппаратов способствуют выделению проблемы планирования применения в самостоятельное научное направление.

В научно-технической литературе достаточно широко представлено описание задач планирования и методов их решения относительно задач связи и детального наблюдения заданных наземных объектов [1–6]. Однако эти работы посвящены в основном только задачам дистанционного зондирования Земли.

По времени проведения различают *планирование стратегическое* и *общее*. Стратегическое планирование применения ОГ проводится на этапе разработки КА. Результатом данного планирования является план развертывания, восполнения или наращивания количественного состава ОГ КА, с учетом деградации ее баллистических характеристик, а также необходимости применения как разнотипных КА, так и КА с различными характеристиками целевой ап-

паратуры. Общее планирование применения условно можно разделить на планирование технологических операций обеспечения полета, долгосрочное и оперативное планирование применения ОГ КА.

Долгосрочное планирование применения ОГ КА понимается как процесс оценивания возможностей на длительные интервалы времени по экологическому мониторингу заданных районов поверхности Земли и космических объектов интереса, расчета моментов смены режимов мониторинга дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и объектов космического мусора, а также определения моментов смены базовой орбиты КА вследствие изменения объектовой обстановки или деградации баллистической структуры.

Планирование технологических операций КА включает последовательность действий по обеспечению работоспособности бортовой аппаратуры КА во время полета.

Результатом оперативного планирования при решении задач мониторинга космических аппаратов, космического мусора и дистанционного зондирования наземных объектов является план применения ОГ КА, включающий последовательность мониторинга космических и наземных объектов, данные о временных интервалах зондирования, названия программ управления угловым движением КА на этапе отслеживания объектов, сведения о длительностях интервалов накопления информации, номерах пунктов приема информации, времени и длительности сеансов сброса информации и т.д.

Очевидно, что на этапе проектирования ОГ КА необходимо создание специального математического и соответствующего ему программного обеспечения, предназначенного для оценивания возможностей применения ОГ КА в зависимости от баллистического построения и целевой аппаратуры входящих в нее КА.

ФОРМАЛИЗОВАННАЯ МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ОГ КА

Под математическим обеспечением планирования применения понимается совокупность алгоритмов решения различных задач космического полета, адаптированных к конкретным целям, для которых создается орбитальная группировка. Правильный выбор моделей во многом определяет качество решения задач, стоящих перед ОГ КА, а также влияет на получаемые количественные результаты и их точностные характеристики.

В общую математическую модель ОГ КА входят:

– модели окружающей среды (в составе модели Земли, модели атмосферы Земли, моделей для расчета координат Луны и Солнца и т.п.) $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$;

– модели движения входящих в нее КА (в составе моделей движения центра масс и моделей движения вокруг центра масс каждого КА и т.п.) $B = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$;

– модели расчета технического состояния КА (в составе моделей обеспечивающих систем, моделей движения панелей солнечных батарей, модели двигательной установки и т.п.) $C = \{c_1, c_2, \dots, c_l\}$;

– модели функционирования целевой аппаратуры КА $D = \{d_1, d_2, \dots, d_k\}$;

– модели объектов мониторинга (ОКМ, неисправный КА) $E = \{e_1, e_2, \dots, e_p\}$;

– модели наземного комплекса управления $G = \{g_1, g_2, \dots, g_o\}$;

– модели систем контроля космического пространства (СККП) (реализующего наблюдение за ОГ КА и космическими объектами) $H = \{h_1, h_2, \dots, h_s\}$.

Совокупность всех перечисленных моделей образует упорядоченный набор базисных множеств $\Omega = \langle A, B, C, D, E, G, H \rangle$.

Отношения, характеризующие потенциальные возможности рассматриваемой системы, имеют вид:

– контактный потенциал нахождения КА в зоне обслуживания наземного комплекса управления (НКУ)

$$\varphi_1(b, d, a, c, g) = \begin{cases} 1, \text{ если КА находится в зоне обслуживания НКУ;} \\ 0, \text{ если нет;} \end{cases} \quad (1)$$

$$r_1 = \langle B, D, A, C, G; R_1 \rangle, R_1 = \{ \langle b, d, a, c, g \rangle \mid \varphi_1(b, d, a, c, g) = 1 \};$$

– контактный потенциал нахождения КА в зоне обслуживания СККП

$$\varphi_2(b, d, a, c, h) = \begin{cases} 1, \text{ если КА находится в зоне обслуживания СККП;} \\ 0, \text{ если нет;} \end{cases} \quad (2)$$

$$r_2 = \langle B, D, A, C, H; R_2 \rangle, R_2 = \{ \langle b, d, a, c, h \rangle \mid \varphi_2(b, d, a, c, h) = 1 \};$$

– контактный потенциал взаимодействия КА с космическими объектами

$$\varphi_3(b, d, a, c, e) = \begin{cases} 1, \text{ если КО находится в зоне доступности КА;} \\ 0, \text{ если нет;} \end{cases} \quad (3)$$

$$r_3 = \langle B, D, A, C, E; R_3 \rangle, R_3 = \{ \langle b, d, a, c, e \rangle \mid \varphi_3(b, d, a, c, e) = 1 \};$$

– потенциал обнаружения космического объекта станциями СККП

$$\varphi_4(e, h) = \begin{cases} 1, \text{ если КО находится в зоне обслуживания СККП;} \\ 0, \text{ если нет;} \end{cases} \quad (4)$$

$$r_4 = \langle E, H; R_4 \rangle, R_4 = \{ \langle e, h \rangle \mid \varphi_4(e, h) = 1 \};$$

Построенная на основе данных соотношений формализованная модель плана применения ОГ имеет вид:

$$\Omega = \langle A, B, C, D, E, H \rangle, \quad (5)$$

$$S = \langle \Omega; r_1, r_2, r_3, r_4 \rangle,$$

где Ω – набор моделей, входящих в общую математическую модель орбитальной группировки;

S – план применения ОГ.

Общая проблема оптимизации построения ОГ КА на базе оперативного планирования их целевого применения может быть формализована следующим образом: найти такой план применения $S^* = \{S\}$ и такие программы управления $u \in U_i, i = \overline{1, N}$ целевой бортовой аппаратуры каждого i -го КА группировки, при которых будет обеспечена минимальная периодичность мониторинга $T_{\text{прим}}$ заданного орбитального или наземного объекта всеми КА группировки

$$S^* = \arg \min_{u \in U} T_{\text{прим}}(S). \quad (6)$$

ИНФОРМАЦИОННО-РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ

Информационно-расчетная модель применения орбитальной группировки космических аппаратов в околоземном космическом пространстве, состоящая из математических моделей движения КА, математических моделей работы их бортовых систем, математических моделей окружающей среды и расчетных задач, которые необходимо решить в процессе ее применения, представлена на рис. 1. Она является основой создания программно-моделирующего комплекса планирования применения ОГ КА.

Сценарий применения программно-моделирующего комплекса будет следующим. На основе прогноза орбитального движения КА и заданных КО формируется список возможных интервалов сближений и благоприятных условий для обслуживания заданных наземных или

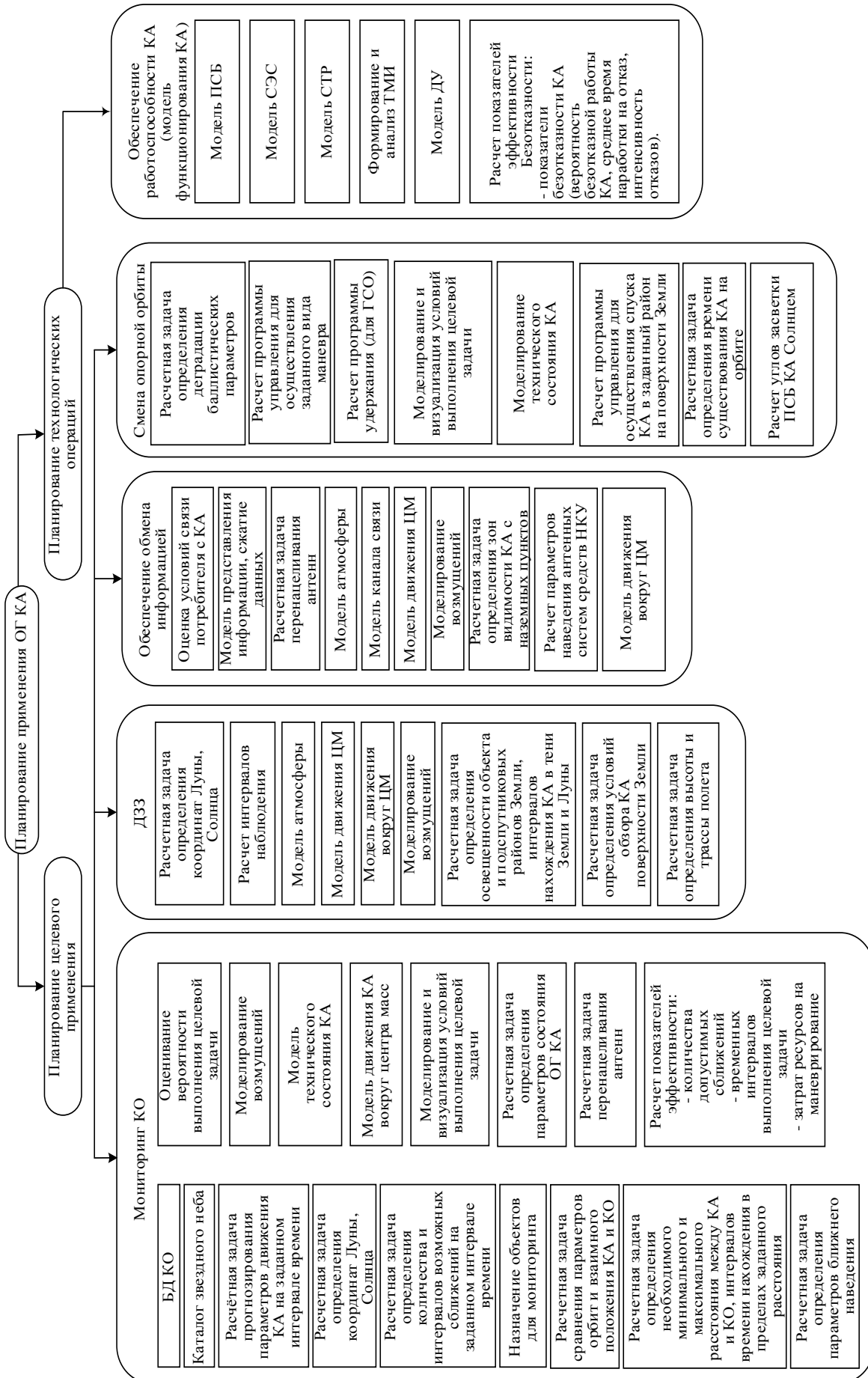


Рис. 1. Состав моделей и расчетных задач информационно-расчетной модели планирования применения ОГ КА

космических объектов. Под списком интервалов сближения понимается перечень событий сближения КА с КО на дистанцию, достаточную для выполнения этапа применения, например, для съемки оптическими средствами или начала этапа ближнего наведения с целью последующей стыковки. При прогнозировании орбитального движения рассчитываются параметры двух орбит для каждого космического объекта – действительной (невозмущенной) и возмущенной. Случайные погрешности генерируются на основе имитационных моделей функционирования СККП (для КО) и навигационной системы (для КА). Расчет сеансов связи с пунктами приема информации (ППИ), а также интервалов возможной съемки наземных объектов производится на основе аналитических методов с применением программно-методического аппарата орбитальных карт. При выполнении расчетов оценивается степень влияния возмущений на количество сеансов наблюдений и их длительность. Планирование применения ОГ КА осуществляется с учетом выполнения требований к порядку обслуживания заданных космических и наземных объектов с учетом их приоритетности. По результатам моделирования процесса применения вычисляется вероятность успешного обслуживания КО, которое заключается, например, в проведении успешной съемки наземных объектов или в оперативности доставки информации до потребителей.

Структурная схема программного комплекса, реализующего информационно-расчетную модель применения орбитальных группировок робототехнических систем, представлена на рис. 2.

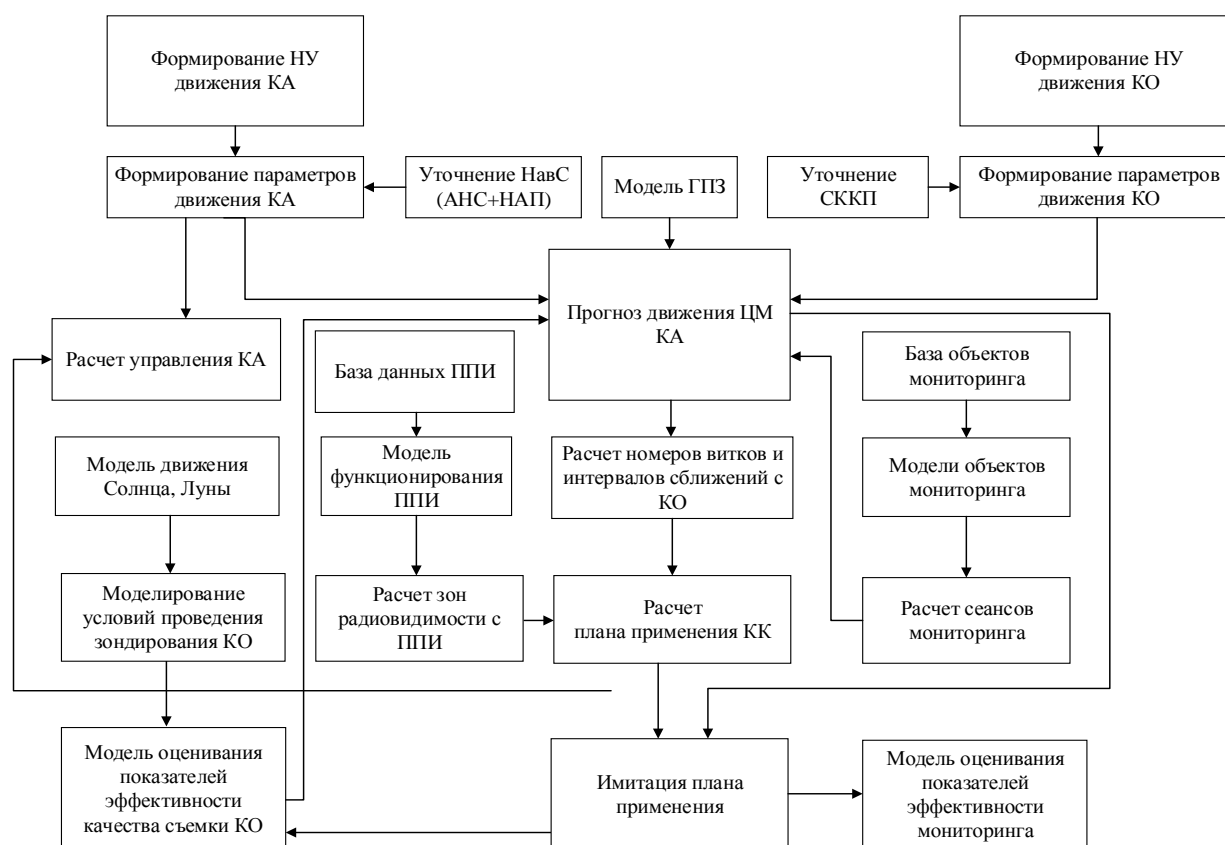


Рис. 2. Структурная схема программного комплекса, реализующего информационно-расчетную модель

В результате работы комплекса выбора моделей составляется оптимальный план применения ОГ КА по одному из выбранных критериев и рассчитываются показатели эффективности его применения.

Результаты работы программно-моделирующего комплекса могут использоваться для выработки научно обоснованных рекомендаций по выбору:

- структуры, состава и параметров ОГ КА применительно к различным задачам по предназначению;
- управляющих воздействий на космические аппараты в целях повышения эффективности применения ОГ.

ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ПРИМЕНЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО КА

В качестве первого примера для моделирования рассмотрена ситуация, когда транспортному КА, расположенному на круговой орбите, требуется произвести сближение с КО, расположенным на той же орбите, для доставки груза и последующего сервисного обслуживания или корректировки действующей орбиты, в случае если КО исчерпал запас рабочего тела.

Производился расчет времени сближения в зависимости от угла, характеризующего взаимное расположение КА и КО (вершина – в центре Земли, лучи совпадают с радиусами-векторами), при условии полного расхода доступных энергетических запасов для совершения маневра.

В качестве исходных данных принимались следующие:

- взаимное рассогласование орбит по наклонению – не более $0,5^\circ$;
- тяга ДУ КА – 1,6 Н;
- запас характеристической скорости – не более 250 м/с;
- высота орбиты в первом случае 1800 км, во втором – 35793 км;
- маневр сближения осуществляется путем подъема орбиты КА, в случае отрицательного фазового угла – путем снижения (рис.3).

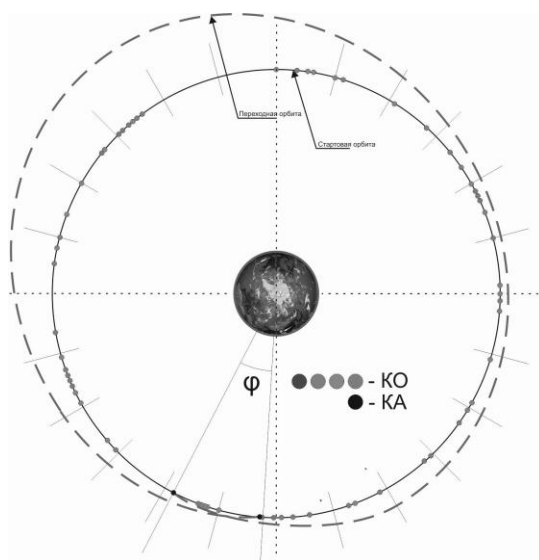


Рис.3. Схема перелета между орбитами

Результаты для орбиты высотой $H_{кр}=1800$ км ($i=0^0$) приведены в табл. 1, а для геостационарной орбиты (ГСО) – в табл. 2. В таблицах указаны относительные фазы $\Delta\varphi_0$ объектов в начале сближения. Сближение моделировалось до относительного расстояния 100 м.

Таблица 1

Продолжительность сближения на высоте 1800 км

$\Delta\varphi_0$ [град]	-135	-90	-45	-1	-0,2806	-0,2103	0,2103	0,2806	1	45	90	135	180
$T_{сбл}$ [ч] [м]	38 ч 39 м	28 ч 34 м	14 ч 54 м	3 ч 26 м	1 ч 8 м	52м	47м	1 ч 10 м	3 ч 2 м	13 ч 13 м	27 ч 16 м	38 ч 20 м	45 ч 5 м

Таблица 2

Продолжительность сближения на ГСО

$\Delta\varphi_0$ [град]	-135	-90	-45	-1	-0,5435	-0,4075	0,4075	0,5435	1	45	90	135	180
$T_{сбл}$ [ч][м]	124 ч 28 м	92 ч 22 м	55 ч 6 м	15 ч 6 м	41 м	35 м	35 м	40 м	15 ч 16 м	51 ч 10 м	97 ч 46 м	120 ч 30 м	169 ч 48 м

После проведения моделирования получена зависимость времени сближения от фазового угла начального расположения КА и КО.

Расчеты показывают, что для любой из орбит высотой до 1800 км, при расположении КА от КО на относительной дальности до 40 км ($\Delta\varphi_0=0,4075$), задача сближения может быть выполнена в течение 1 ч 10 мин, за 46 ч возможно провести сближение при любом начальном расположении КА и КО. Для ГСО это время составляет 40 мин и 170 ч соответственно.

В качестве второго примера для моделирования рассмотрена ситуация, когда необходимо оценить время сближения транспортного КА, расположенного на исходной круговой орбите с наклоном $i=97,56^\circ$ и высотой $H=268$ км (данная орбита обеспечивает максимальную относительную скорость прецессии прямого восхождения восходящего узла КА), с КА, параметры орбит которых приведены в табл.3.

Таблица 3

Параметры орбиты КА, которые необходимо обслужить

КА	$T_{обр}$, мин	Ω , град.	i , град	e , град	a , км	R_a , км	R_n , км	ω , град.	ν , град.
КА-1	92.33	41.04	96.99	0.001450	6773	6783	6763	54.8	305.0
КА-2	91.72	314.26	96.86	0.015327	6743	6846	6640	5.2	354.5
КА-3	97.32	339.53	97.89	0.053187	7014	7387	6641	127.9	227.4

Результаты моделирования сближения транспортного КА приведены в табл.4, где в столбцах «мин» указано время сближения при благоприятном взаимном расположении КА (минимальном угле фазирования), в столбцах «макс.» – при неблагоприятном (углах фазирования около 180°).

Таблица 4

Время сближения транспортного КА с обслуживаемыми КА

КА	Относительная скорость прецессии орбит, град/сут	Затраты характеристической скорости, м/с		Время сближения	
		мин	макс.	мин	макс.
КА-1	0,20247	180	215	4 ч 49 мин	36 ч .58 мин
КА-2	0,32253	290	317	12 ч 46 мин	14 ч 52 мин
КА-2	0,32085	309	312	15 ч 58 мин	17 ч 11 мин

Этап расчета времени сближения на орбите составляет одну из подзадач стратегического планирования применения ОГ КА, на основе которого можно рассчитать ее количественный состав, необходимые баллистические параметры и энергетические запасы КА.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная информационно-расчетная модель планирования применения орбитальной группировки, построенной на базе разнотипных космических аппаратов, может быть положена в основу программного комплекса, моделирующего процесс комплексного применения орбитальной группировки. Использование данной модели, при обосновании проектных решений, позволит значительно повысить качество решаемых задач и обеспечить выполнение требований потребителей к целевой информации.

Список используемых источников

1. Сологуб А.В., Аншаков Г.П., Данилов В.В. Космические аппараты систем зондирования поверхности Земли. – М.: Машиностроение, 1993. – 368 с.
2. Ханцеверов Ф.Р., Остроухов В.В. Моделирование космических систем изучения природных ресурсов Земли. – М.: Машиностроение, 1989. – 263 с.
3. Интегрированная система управления угловым движением космического аппарата дистанционного зондирования / Г.П. Аншаков, Б.Е. Ландау, А.И. Мантуров и др. // IX Международная конференция по интегрированным навигационным системам. Санкт-Петербург, 27–29 мая, 2002. – СПб.: ЦНИИ «Электроприбор», 2002. – С.77–84.
4. Гончаров А.К., Чернов А.А. Планирование сеансов приема информации с космических аппаратов орбитальной группировки при ограниченном количестве приемных комплексов // Космонавтика и ракетостроение. – 2014. – № 3 (74). – С.180–189.
5. Малышев В.В., Чернов Д.Э. Планирование съемки наземных объектов системой автоматических искусственных спутников Земли // Известия Академии наук. Сер. Теория и системы управления. – 1997. – №6. – С.76–82.
6. Методика оптимального планирования применения космических аппаратов дистанционного зондирования Земли в обзорном режиме / А.М. Березняков, В.И. Горбулин, Д.Л. Каргу, А.С. Фадеев, В.И. Щербаков // Вестник СГАУ. – 2013. – №1(39). – С.39–45.

Д.В. Малышев;
К.Б. Махров;
Я.А. Скороходов,
кандидат техн. наук

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ДВИЖЕНИЯ МОРСКИХ СУДОВ

В статье предлагается имитационная модель функционирования космической системы (КС) контроля движения морских судов, включающая модель корабельной группировки, модель орбитального движения, модель планирования слотов для передачи сообщений источниками излучений, модели передающего и приемного устройств. Для реализации перечисленных моделей разработан комплекс алгоритмов. Проводится сравнительный анализ количественных показателей обнаружения корабельных группировок, полученных с использованием имитационного моделирования, и аналитических выражений, предложенных другими авторами.

Ключевые слова: автоматическая идентификационная система, обработка информации, статистическое моделирование.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время широко востребован в мировой практике мониторинг движения морских судов в районах, удаленных от береговых линий и недоступных для наземных пунктов контроля, радиус действия которых составляет примерно 40 морских миль. Это связано с постоянным увеличением морского трафика и ужесточением требований безопасности движения кораблей, а также необходимостью противодействия терроризму.

Одним из способов, позволяющих обеспечить глобальность и непрерывность контроля движения морских судов, является развертывание орбитальной группировки (ОГ) космических аппаратов (КА) с возможностью приема, обработки и ретрансляции сообщений автоматической идентификационной системы (АИС) [1].

В связи с тем, что в АИС первоначально не предполагалось использовать КА как средство приема сигналов от морских судов, возникают определенные проблемы с разработкой КС, связанные с задержками передачи сообщений на большие расстояния, снижением энергетической доступности, влиянием эффекта Доплера и другими факторами [9].

На сегодняшний день вопросу создания космического сегмента АИС посвящены ряд работ, в которых авторы предлагают имитационные и аналитические модели для оценивания показателей функционирования АИС с большим преимуществом последних. К сожалению, аналитические модели предполагают существенные допущения и ограничения, что может привести к ошибочным решениям при проектировании системы.

Модель функционирования КС может быть использована для решения следующих задач:

- оценивания количественных показателей обнаружения судов для заданной структуры ОГ КА;
- выбора параметров ОГ КА для заданных показателей обнаружения морских судов.

Разработанный комплекс алгоритмов позволяет задавать различные ограничения и допущения и получать оценки целевых показателей функционирования КС в условиях, максимально приближенных к действительности.

СОДЕРЖАТЕЛЬНАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОЦЕНИВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ДВИЖЕНИЯ МОРСКИХ СУДОВ

В АИС для повышения пропускной способности ресурса связи используется многостанционный доступ с временным разделением каналов (МДВР). В автономном режиме идентификационные сообщения периодически передаются в одном из двух каналов так называемого «морского диапазона» (161975 или 162025 кГц). Передача производится с использованием адаптированной к полосе гауссовской частотной манипуляции с минимальным сдвигом (GMSK) при скорости 9600 бит/с. Временные интервалы (слоты) для передачи сообщений выделяются и нумеруются в границах одного кадра (фрейма) длительностью 60 с. Каждый кадр делится на 2250 временных слотов и синхронизируется по минутам всеобщего координированного времени, что достигается путем использования сигналов глобальной спутниковой системы навигации, которая устанавливается на каждой станции АИС. Таким образом, общая пропускная способность АИС составляет 4500 одноинтервальных сообщений в минуту.

Для того чтобы избежать коллизий сообщений – приема двух и более сообщений в одном слоте [2], применяются специальные алгоритмы планирования задействования слотов для передачи сообщений каждой станцией: SOTDMA (от англ. *self-organized time-division multiple access* – самоорганизующийся МДВР), инкрементный TDMA, TDMA со случайным доступом и TDMA с фиксированным доступом. SOTDMA является основной схемой, используемой для запланированных повторяющихся передач со станций, находящихся в автономном режиме. Исходя из целей создания КС контроля движения морских судов, обеспечивающей глобальность и непрерывность наблюдения корабельных группировок в заданном районе Мирового океана, наибольший интерес представляет именно автономный режим, который используется морскими судами, находящимися вне зон действия береговых станций.

Согласованная передача сообщений между судами в автономном режиме возможна в границах зоны прямой видимости и составляет около 40 морских миль. В то же время радиус зоны обзора КА значительно превышает радиус зоны прямой видимости на поверхности Земли, поэтому при приеме сигналов АИС на борту КА могут возникать коллизии использования временных интервалов. В связи с тем, что расстояния от различных источников до космического аппарата – приемника сообщений АИС могут варьироваться в широких пределах, а соответственно может варьироваться и мощность сигналов на входе приемника, коллизия использования интервалов времени абонентскими станциями не означает потерю всех переданных сообщений. Поэтому требуется оценить пороговые значения отношений мощностей полезного и мешающих сообщений в точке приема для заданного значения вероятности ошибки детектирования. При моделировании необходимо также учитывать реальные диаграммы направленности типовых судовых антенн АИС, оказывающие существенное влияние на мощность принятого сигнала.

ОЦЕНИВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ОШИБКИ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ПРИ НАЛОЖЕНИИ СООБЩЕНИЙ

В работе [9] показано, что принятый антенной высокочастотный сигнал при наличии коллизии сообщений АИС можно рассматривать как сумму произведений сигналов, соответствующих переданным сообщениям и представленных в комплексной форме, на экспоненциальную функцию, соответствующую частоте и фазе доплеровского сдвига и фазе несущей частоты. Тогда

$$\hat{X}_{IQ}(t) = \exp[i\varphi_1(t)] \cdot \exp[i\omega_{d1}(t + v_1)] + \exp[i\varphi_2(t)] \cdot \exp[i\omega_{d2}(t + v_2)];$$

$$v_1 = v_{d1} + \frac{\omega_c v_{c1}}{\omega_{d1}}; \quad (1)$$

$$v_2 = v_{d2} + \frac{\omega_c v_{c2}}{\omega_{d2}},$$

где $\hat{X}_{IQ}(t)$ – сигнал, содержащий перекрывающиеся сообщения;
 i – мнимая единица;
 $\varphi_1(t), \varphi_2(t)$ – фазы для 1-го и 2-го сигналов соответственно;
 ω_{d1}, ω_{d2} – частоты Доплера для 1-го и 2-го сигналов соответственно;
 v_{d1}, v_{d2} – фазовый сдвиг частоты Доплера сигналов;
 ω_{c1}, ω_{c2} – несущая частота сигналов;
 v_{c1}, v_{c2} – фазовый сдвиг несущей частоты сигналов.

Выражение (1) позволяет без потери общности и снижения достоверности результатов оценивания вероятности ошибки детектирования $P_{\text{ош}}$ представить синфазную и квадратурную компоненты результирующего сигнала при наличии коллизии сообщений как сумму соответствующих компонент составляющих его сигналов с учетом следующих параметров: относительного времени сдвига, амплитудного коэффициента, частот Доплера, фаз частот Доплера, амплитуды шума.

Вероятность ошибки детектирования определялась экспериментально. Сообщения АИС, зарегистрированные программно-конфигурируемым приемником (ПКП), использовались для моделирования GMSK сигналов. Выборка состояла из заданного количества пар сигналов, где первый сигнал считался полезным, а второй – мешающим. Мощность мешающего сигнала нормировалась на заданное значение SIR (от англ. *signal to interference ratio* – отношение мощностей «полезного» и «мешающих» сигналов). Сумма зашумленных сигналов [модель шума – аддитивный белый гауссовский шум $p(\xi) = (2\pi\sigma_\xi^2)^{-1/2} \exp(-\xi^2/2\sigma_\xi^2)$] подавалась на вход демодулятора. В качестве демодулятора использовался объект *comm.GMSKDemodulator* библиотеки классов MATLAB, который осуществляет демодуляцию GMSK сигналов с использованием алгоритма Витерби. Результат демодуляции сравнивался с исходным полезным сообщением. При условии несовпадения исходного сообщения и результата демодуляции счетчик количества недетектированных сообщений увеличивался на единицу, а вероятность ошибки детектирования рассчитывалась как отношение количества недетектированных сообщений к объему выборки.

Результат оценивания вероятности ошибки $P_{\text{ош}}$ в случае полного наложения сообщений при нулевом сдвиге фазы, как в наиболее худшем случае, при количестве отчетов на битовый символ, равном 5, и различных значениях SNR (от англ. *signal to noise ratio* – отношение сигнал/шум) представлен на рис. 1,а.

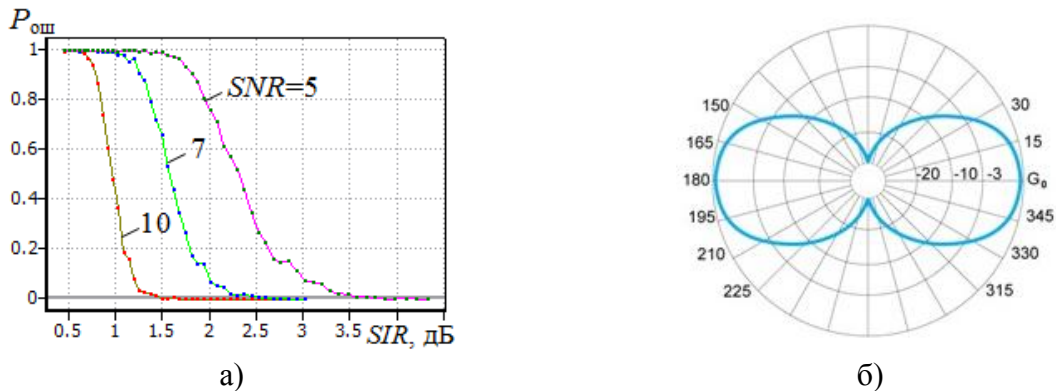


Рис. 1. Исходные данные для моделирования:
 а – вероятность ошибки детектирования при полном наложении сообщений;
 б – диаграмма направленности антенны в вертикальной плоскости

Используя представленные зависимости и задавая значениями SIR и SNR , определяется значение вероятности ошибки $P_{\text{ош}}$.

ДИАГРАММА НАПРАВЛЕННОСТИ СУДОВОЙ ШТЫРЕВОЙ АНТЕННЫ АИС

Диаграмма направленности антенны, полученная с помощью компьютерной программы MMANA-GAL, при использовании в качестве исходных данных технических характеристик, рекомендованных международным союзом электросвязи [6], показана на рис. 1,б и соответствует данным, опубликованным в открытых источниках информации сети Интернет, в том числе на сайтах производителей судового оборудования.

Диаграмма направленности антенны, представленная в табличном виде, а также значения вероятности ошибки детектирования при наложении сообщений используются в качестве исходных данных в алгоритмах моделирования функционирования КС.

АЛГОРИТМЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ДВИЖЕНИЯ МОРСКИХ СУДОВ

В рамках НИОКР, проводимых в Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, по тематике мониторинга движения морских и воздушных судов с целью определения количественных показателей обнаружения корабельных группировок, а также достигаемого эффекта от применения КС в целом были разработаны следующие алгоритмы:

- алгоритм моделирования корабельной группировки;
- комплекс алгоритмов проверки наличия интерференций сообщений АИС;
- алгоритмы имитационного моделирования функционирования (статический вариант и динамический варианты);
- алгоритм имитационного моделирования функционирования КС контроля движения морских судов (орбитальной группировки КА).

С целью более компактного изложения материала наиболее простые алгоритмы с точки зрения их реализации не рассматриваются, а приводится только краткий анализ результатов их работы.

Результатом работы алгоритма моделирования корабельной группировки является множество судов $S = \{s_i\}$, каждому из которых ставится во взаимнооднозначное соответствие множество $T_i = \{t_1, \dots, t_{n_i}\}$, $n_i = \text{card}\langle T_i \rangle$ индексов слотов для передачи сообщений, при этом координаты x_i, y_i, z_i судов – в Гринвичской системе координат (ГрСК) $i = 1, \dots, N$. Слоты $T_i = \{t_1, \dots, t_{n_i}\}$ назначаются по алгоритму SOTDMA, причем частота передачи сообщений Rr_i судна $s_i, i = 1, \dots, N$ статистически определяется по заданной функции распределения $F(x)$, где x принимает значения из конечного множества $x = 1, \dots, 8$, соответствующие динамическим характеристикам судна [6].

Координаты местоположения кораблей – источников сообщений АИС – могут быть получены с использованием методов статистического моделирования, а также с веб-сервера *MarineTraffic* [10] на определенный момент времени, исходя из поставленных целей проведения эксперимента. Статистическое моделирование размещения судов может применяться для верификации имитационной модели и сравнения полученных с ее помощью оценок количественных показателей обнаружения сообщений АИС с результатами аналитических выражений, предполагающими, как правило, равномерный закон распределения судов, который не учитывает неоднородность расположения судов в зоне радиовидимости КА.

Одним из наиболее важных элементов разработанной имитационной модели функционирования КС в целом является проверка наличия коллизий сообщений с учетом различных факторов. Алгоритмы проверки наличия интерференций как без учета, так и с учетом орбитального движения КА имеют четыре модификации в зависимости от заданной степени адекватности модели.

1. Наложения сообщений происходят только в случае использования объектами s_i, s_j одного и того же временного интервала t_k , т.е. выполняется условие

$$\delta(t_k) = \begin{cases} 1, & s_i, s_j / T_i \cap T_j = t_k; s_i, s_j \in S, \\ 0, & s_i, s_j / T_i \cap T_j = \emptyset, \end{cases}$$

где $\delta(t_k)$ – индикаторная функция, обозначающая наличие коллизии сообщений в интервале времени t_k .

2. Наложения сообщений могут происходить в одном или нескольких временных интервалах в зависимости от взаимного расположения абонентских станций (судов) и КА, т.е. выполняется условие

$$\delta(t_k) = \begin{cases} 1, & s_i, s_j / t_k = t_r + p; t_k \in T_i, t_r \in T_j, d(s_i, s_j) > dr_p; s_i, s_j \in S, \\ 0, & t_k \notin T_i \vee t_r \notin T_j, \end{cases}$$

где $d(s_i, s_j)$ – функция разности расстояния сигналов от излучателей $s_i, s_j \in S$ до КА – приемника сообщений АИС с координатами x_r, y_r, z_r в ГрСК, при этом

$$d(s_i, s_j) = d(s_i, r) - d(s_j, r),$$

$$d(s_{i(j)}, r) = \sqrt{(x_{i(j)} - x_r)^2 + (y_{i(j)} - y_r)^2 + (z_{i(j)} - z_r)^2};$$

dr_p – минимальное расстояние, при котором задержка на распространение сигнала от источника до получателя не превышает $[2 + p * 26.6(6)]$ мс, где длительность тайм-слота составляет 26,7 мс, длительность защитного буфера – 2 мс.

3. Наложения сообщений происходят в одном или нескольких временных интервалах, при этом учитываются взаимное расположение абонентских станций и КА, мощность передающего устройства, чувствительность приемника, ослабление мощности сигнала при распространении его в пространстве, отношение мощностей полезного сообщения и одного или нескольких мешающих сообщений для заданного уровня сигнал/шум. Сообщение считается безошибочно детектированным, если мощность сигнала на входе приемника больше его чувствительности, а также если отношение мощностей D/U полезного сообщения D к одному или нескольким мешающим сообщениям U больше заданного значения SIR . Формализованное описание возникновения коллизии в этом случае можно представить следующим образом:

$$\delta(t_k) = \begin{cases} 1, & s_i, s_j / t_k = t_r + p; |L(d_i, f_i) - L(d_j, f_j)| < SIR; \\ & t_k \in T_i, t_r \in T_j, d(s_i, s_j) > dr_p; s_i, s_j \in S, \\ 0, & t_k \notin T_i \vee t_r \notin T_j, \end{cases}$$

где $L(d_i, f_i)$ – основные потери мощности передачи в свободном пространстве, зависящие от расстояния $d_i = d(s_i, r)$ – от источника s_i до получателя r и частоты передачи f_i ;

SIR – пороговое значение отношения D/U мощностей полезного и мешающих сигналов.

4. В настоящем случае к перечисленным факторам в п.3 добавляется влияние на мощность излучаемого сигнала диаграммы направленности антенны.

Схема алгоритма проверки наличия интерференций в последнем, как наиболее сложном, случае представлена на рис. 2.

ки не менее 1%; диаграмма направленности типовой антенны АИС, представленная отображением $\mu : b_i \rightarrow G_i$, где b_i – угол возвышения КА над горизонтом.

На шаге 5 (рис. 2) вычисляется коэффициент G_j усиления антенны источника s_j с использованием отображения (диаграммы направленности антенны, заданной в табличном виде) $\mu : b_j \rightarrow G_j$, где b_j – угол места КА в топоцентрической пунктовой СК $X_{\Pi}Y_{\Pi}Z_{\Pi}$, начало которой совпадает с центром размещения корабля – источника сообщений АИС s_j на поверхности земного эллипсоида, определяемой геодезической широтой B_j и долготой L_j . Ось X_{Π} направлена в сторону Северного полюса Земли по касательной к меридиану корабля s_j ; ось Y_{Π} – по внешней нормали к земному эллипсоиду, а ось Z_{Π} дополняет систему до правой.

Преобразование координат КА из Гринвичской СК x_r, y_r, z_r в топоцентрическую пунктовую СК $X_{\Pi}Y_{\Pi}Z_{\Pi}$ осуществляется с помощью известных соотношений, представленных, например, в работе [3]. Остальные шаги являются достаточно простыми и в детализации не нуждаются.

Алгоритмы проверки наличия коллизий являются составной частью более общих алгоритмов. На рис. 3 представлена схема алгоритма моделирования функционирования КА для заданного тайм-слота t_k .

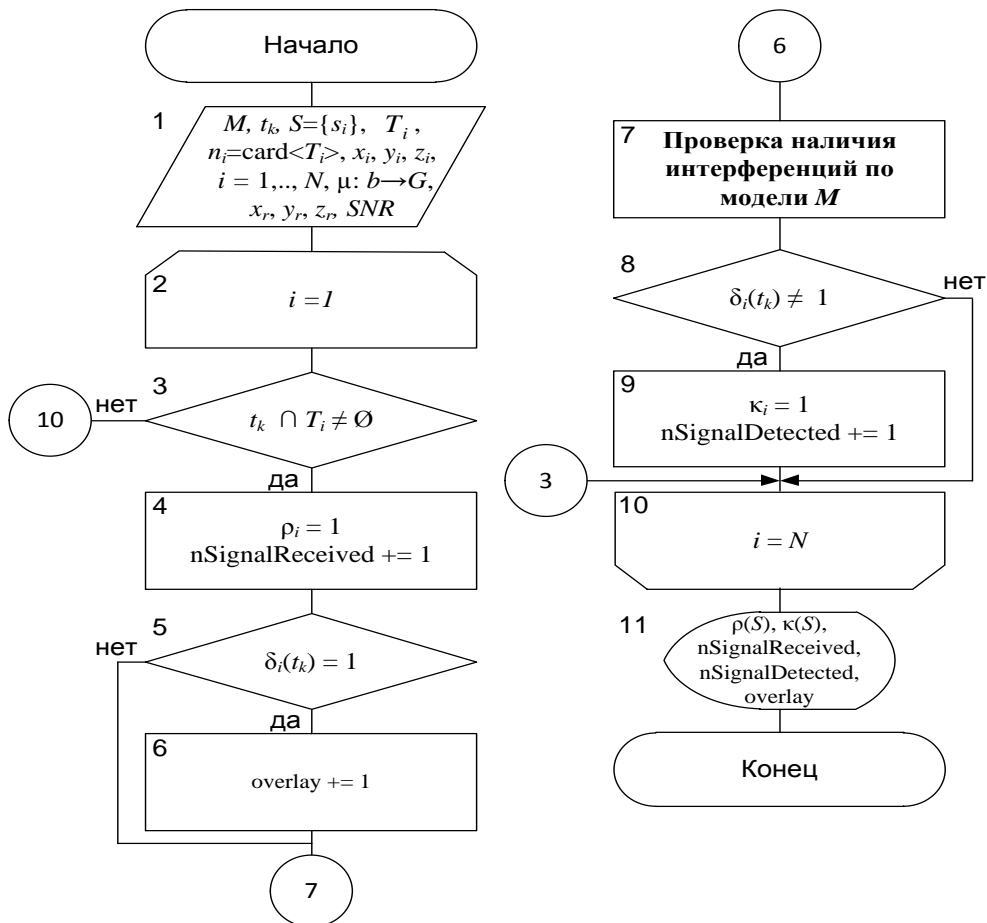


Рис. 3. Схема алгоритма имитационного моделирования обнаружения сообщений АИС для заданного тайм-слота

На схеме используются следующие обозначения: $nSignalReceived$ – счетчик зарегистрированных КА сообщений АИС в интервале t_k ; $nSignalDetected$ – счетчик обнаруженных кораблей в интервале t_k ; $overlay$ – порядок коллизии; ρ_i – индикатор, обозначающий факт передачи сообщения источником s_i за время моделирования $t_k \in [t_0, t_0+T]$; κ_i – индикатор, обозначающий факт обнаружения источника сообщений s_i ; $\rho(S)$ и $\kappa(S)$ – отображения, вычисляемые с помощью выражений:

$$\rho(S) = \sum_{i:s_i \in S} \rho_i ; \kappa(S) = \sum_{i:s_i \in S} \kappa_i .$$

Моделирование функционирования КА для заданного интервала времени $[t_0, t_0+T]$ без учета орбитального движения осуществляется путем выполнения алгоритма моделирования функционирования КА для каждого $t_k \in [t_0, t_0+T]$ и дискретными приращениями по времени, равными длительности одного тайм-слота. Отличительной особенностью алгоритма моделирования функционирования КА с учетом орбитального движения является вычисление координат КА для каждого тайм-слота $t_k \in [t_0, t_0+T]$ по заданным начальным значениям оскулирующих элементов орбиты – по значениям долготы восходящего узла Ω , наклонения i , апогея r_A , перигея r_P , широты перицентра ω , начальной истинной аномалии θ_0 . Методы расчета орбитального движения КА являются общеизвестными и рассматриваются в различной научно-методической литературе, например в [5].

Для КС в целом на каждом шаге осуществляется моделирование функционирования каждого КА, входящего в состав ОГ.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ АПРОБАЦИЯ И ВЕРИФИКАЦИЯ РАЗРАБОТАННОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Адекватность имитационной модели подтверждается совпадением количественных показателей обнаружения сообщений АИС, полученных с использованием имитационной модели и аналитических моделей, разработанных другими авторами, проводящими исследования в данной предметной области, и описанных в [4, 7, 9], а также согласованностью с результатами натурного эксперимента.

С помощью разработанной модели произведен расчет среднего количества обнаруженных судов для разного числа моделируемых объектов N от 500 до 3000 с шагом 100 при использовании следующих исходных данных:

- КА расположен на высоте $h = 950$ км над поверхностью Земли;
- объекты размещены равномерно на поверхности земного эллипсоида в области с радиусом $R = 3281$ км, соответствующей зоне радиовидимости КА с заданной высотой h ;
- все объекты относятся к группе с частотой передачи сообщений $Rr = 10$;
- степень сложности модели $M = 2$, в которой учитываются местоположения кораблей – источников сообщений, т.е. наложения сообщений возможны в смежных временных интервалах вследствие задержки распространения сигналов от разных источников.
- время моделирования T составляет 10 мин.

Перечисленные параметры соответствуют исходным данным из работы [4]. На рис. 4,а представлен график зависимости среднего числа обнаруженных судов от общего количества судов в зоне видимости КА, полученный в результате имитационного моделирования, а также аналогичные зависимости из работ [4, 7, 9].

Анализ графиков на рис. 4,а показывает, что результаты статистического моделирования согласуются с аналитическими расчетами.

На рис. 4,б представлены графики параметров $\rho(S)$ и $\kappa(S)$, анализ которых позволяет сделать выводы о следующих количественных характеристиках обнаружения сообщений АИС:

- количестве кораблей, передавших сообщение о местоположении за заданных промежутков времени;
- количестве обнаруженных кораблей за заданный промежуток времени;
- времени, требуемом для получения сообщения о своем местоположении для заданного количества кораблей;
- времени, требуемом для обнаружения заданного относительного количества кораблей;
- среднем количестве обнаруженных кораблей в единицу времени.

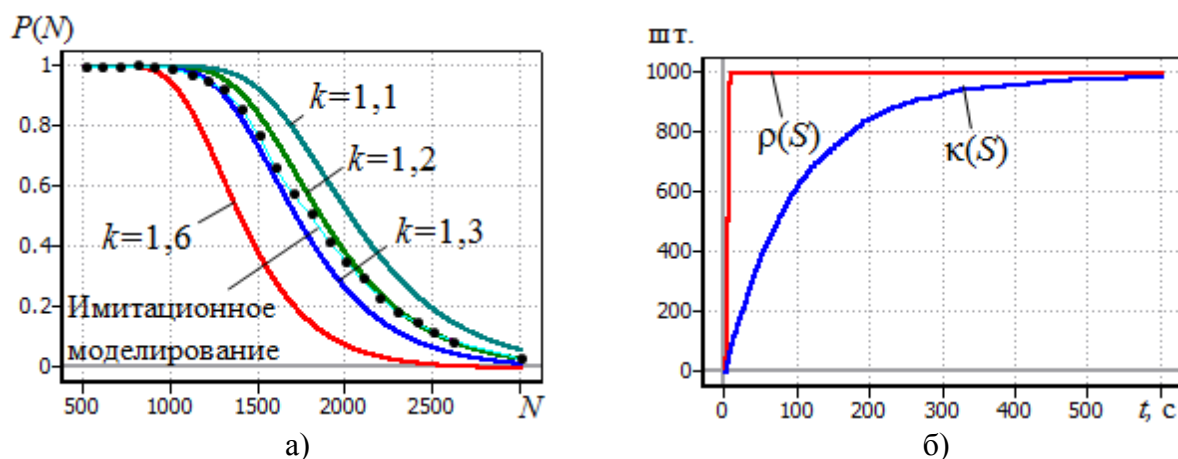


Рис. 4. Результаты моделирования:

а – среднее число (в процентном соотношении от N) обнаруженных судов от общего количества моделируемых объектов в зоне обслуживания КА;

б – графики параметров $\rho(S)$ и $\kappa(S)$

Правильность работы предложенной модели также подтверждается результатами натурального эксперимента. С целью проведения эксперимента был разработан программно-технический комплекс, состоящий из микрокомпьютера с подключенными к нему ПКП, твердотельным запоминающим устройством (ЗУ) и приемником сигналов глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС), а также специального программного обеспечения, позволяющего проводить детальный анализ радиочастотных сигналов и осуществлять демодуляцию сообщений АИС.

Прием сообщений АИС осуществлялся во время полета самолета на высоте от 4 до 6 км над районами сосредоточения морских судов. Радиочастотный полосовой сигнал, представленный комплексными 8-битными отчетами, сформированными ПКП, делился на кадры длительностью 60 с и записывался на ЗУ. Точность определения времени начала кадров была достигнута с помощью сигналов глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС), подключенного по интерфейсу UART к GPIO выводам микрокомпьютера, и составляла около 40 мкс. Показатели обнаружения сообщений АИС, полученные с использованием модели, сопоставлялись с результатами анализа радиосигналов и находились в пределах статистической погрешности. Это позволяет сделать вывод, что разработанная имитационная модель может использоваться для оценивания количественных показателей функционирования КС контроля движения морских судов по сообщениям АИС при более адекватных, но и в то же время сложных условиях, которые не могут быть учтены в аналитических моделях.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Было произведено моделирование функционирования КА при использовании исходных данных о местоположении судов, их скорости, курса передвижения и массово-габаритных характеристиках, полученных с веб-сервиса *MarineTraffic*.

На рис. 5,а представлены схематическое изображение размещения морских судов на земной поверхности и трасса полета КА с параметрами орбиты: долготой восходящего узла $\Omega = 0$ град.; наклоном $i = 98$ град.; апогеем $r_A = 450$ км.; перигеем $r_{II} = 450$ км.; широтой перицентра $\omega = 0$ град., а также график изменения количества кораблей $\nu(S, t)$, находящихся в зоне обслуживания КА с учетом энергетической доступности. Интервал моделирования составляет сутки (86400 с), время t_0 начала моделирования соответствует положению КА на орбите с истинной аномалией $\theta_0 = 0$ град.

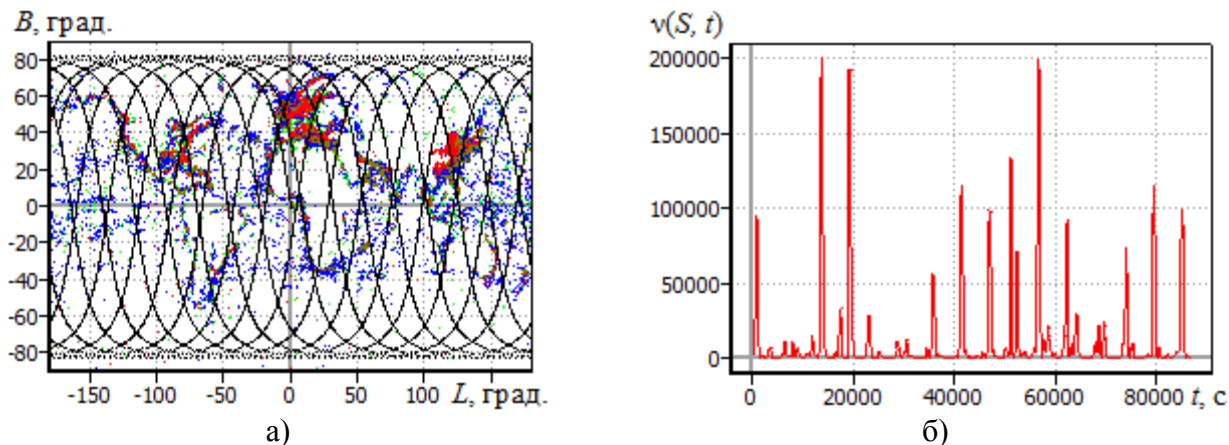


Рис. 5 Результаты моделирования:

а – схема размещения судов и трасса полета КА;

б – зависимость количества судов, находящихся в зоне обзора КА, от его положения на орбите с учетом энергетической доступности

Коэффициент энергетической доступности не принимает значения менее 70%. Отсутствие радиовидимости судов обусловлено направленными свойствами передающих антенн АИС. Так как диаграмма направленности типовой антенны АИС представляет собой тор, сигналы, излучаемые кораблями, для которых КА находится в зените или близко к этой точке, ослабляются ниже заданного порогового значения мощности приема. Среднее количество обнаруженных судов изменяется в зависимости от взаимного расположения источников сообщений и КА в текущий момент времени. Этот фактор необходимо учитывать при проектировании космического сегмента АИС в части определения параметров орбит КА, которые позволили бы наблюдать интересующие районы земной поверхности и осуществлять контроль движения корабельных группировок с заданными целевыми показателями качества.

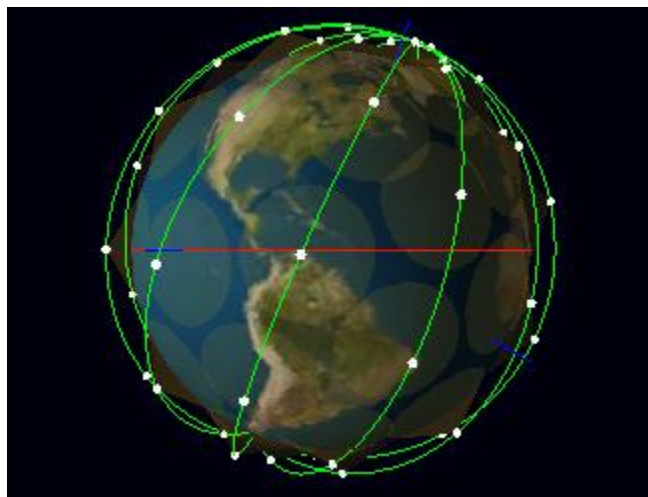


Рис. 6. Трехмерная визуализация функционирования ОГ КА Iridium NEXT

Визуальное представление функционирования КС в целом на примере ОГ КА Iridium NEXT изображено на рис. 6.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассматривались вопросы, связанные с разработкой имитационной модели функционирования КС мониторинга движения морских судов. Для достижения поставлен-

ной цели были решены следующие задачи: осуществлено оценивание вероятности ошибки детектирования при наложении сообщения при различных значениях SIR и SNR ; произведено моделирование типовой штыревой судовой антенны, получена ее диаграмма направленности; разработан комплекс алгоритмов, позволяющих учитывать различные факторы, связанные с использованием КА в качестве приемников сообщений АИС.

Корректность работы предложенных алгоритмов подтверждается статистически незначимым отличием полученных с их помощью оценок количественных показателей обнаружения сообщений АИС по сравнению с результатами аналитических выражений, предложенных другими авторами, и проведенного натурального эксперимента, что позволяет говорить об успешном решении поставленной задачи.

Список используемых источников

1. Андреев А.М. Анализ развития спутниковой автоматической идентификационной системы мониторинга движения судов. Ч. 2. Средства мониторинга // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2016. – Вып. 652. – С. 7–15.
2. Кузнецов А.М., Романов А.А., Романов А.А. Моделирование приема коллизий сигналов АИС на борту КА // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. – 2015. – Вып. 1, т. 2. – С. 25–36.
3. Нариманов Г.С. Основы теории полета космических аппаратов. – М.: Машиностроение, 1972. – 608 с.
4. Отчет МСЭ-R М.2084. Обнаружение сообщений системы автоматической идентификации с помощью спутников. – URL: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2084-2007-PDF-R.pdf (дата обращения: 17.09.2016).
5. Рой А. Движение по орбитам. – М.: Мир, 1981. – 544 с.
6. Технические характеристики системы автоматической идентификации, использующей многостанционный доступ с временным уплотнением каналов в полосе ОБЧ морской подвижной службы. – URL: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1371-4-201004-S!!PDF-R.pdf (дата обращения: 10.09.2016).
7. Chen Y. Detection probability analysis of space-Based AIS signal by using geometrical model // Journal of Shipping and Ocean Engineering. New York. – 2014. – Vol. 4. – P. 161–171.
8. Dembovskis A. AIS message extraction from overlapped AIS signals for SAT-AIS applications: dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Naturwissenschaften – Dr. rer. nat. – 2015. – 137 p.
9. Space-based AIS for global maritime traffic monitoring / G. Hoye, T. Eriksen, B.J. Meland, and G. Narheim // Acta Astronautica, London. – 2008. – Vol. 62. – P. 240–245.
10. Marine Traffic. – URL: <https://www.marinetraffic.com/ru> (дата обращения: 05.11.2016).

Г.Б. Стеганов,
кандидат техн. наук, доцент;
Ю.А. Чудновский,
кандидат техн. наук

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ ДЛЯ ЗАРЯДНОГО ПРОЦЕССА СТУПЕНЧАТЫМ ТОКОМ

В представленной статье рассмотрена разработанная математическая модель аккумуляторной батареи, адаптированная для анализа зарядного процесса и синтеза алгоритмов управления многоэтапным прерывистым процессом восполнения энергозапаса аккумулирующей подсистемы, характерным для космического аппарата. В отличие от известных данная модель усовершенствована для моделирования работы аккумуляторной батареи с произвольно изменяющейся глубиной циклирования, произвольными формой и длительностью ступеней профилей зарядного тока. Данная модель наиболее точно описывает зарядно-разрядные процессы в никель-водородных аккумуляторных батареях, установленных на борту космического аппарата. Данные моделирования позволили оценить преимущества заряда аккумуляторной батареи рационально выбранным током и выбирать такие значения тока, при которых для каждого исходного теплового и энергетического состояния аккумуляторной батареи достижимое приращение полезной энергии максимально. Переход на заряд даже однократно скорректированным током позволяет повысить количество запаасаемой полезной энергии до 14% по сравнению со стандартным зарядным током.

Ключевые слова: аккумуляторная батарея, математическая модель, алгоритм.

Известные математические модели (ММ) химических источников тока (ХИТ), построенные Пейкертом, Либеновым, Беляевым, Шеффердом [2], используются при исследовании обобщенных характеристик ХИТ и не могут быть использованы при решении задач синтеза алгоритмов управления зарядом и разрядом аккумуляторных батарей (АБ) на борту космических аппаратов по двум причинам.

1. В их основу положены эмпирические соотношения, числовые значения коэффициентов которых имеют неявную зависимость от условий работы и должны в каждом режиме определяться на основе трудоемких измерений (например, сопротивление в режиме короткого замыкания аккумуляторной батареи).

2. Они не позволяют исследовать раздельное влияние важных для никель-водородных аккумуляторов (НВА) эксплуатационных факторов на характеристики АБ. К тому же их применение не приводит к установлению достоверной связи состояния заряженности с такими параметрами, как напряжение АБ, давление в корпусах НВА и температура аккумуляторов.

Важными требованиями к ММ АБ являются также явная связь входных параметров с состоянием заряженности АБ и с параметрами внешних условий; воспроизведение изменений основных режимных параметров процесса, влияющих на состояние системы, на режимы управления, в том числе и при произвольных уровне и глубине циклирования, при произвольно изменяющихся профилях токов

К моделям, специально разработанным для применения в задачах синтеза аккумулирующих подсистем, относится модель, опубликованная в трудах Б.И. Центера, А.Н. Морозова, М.В. Лукьяненко [1–4].

Основу указанной модели НВ АБ и НВА составляют два полиномиальных уравнения регрессии, коэффициенты B_i, B_{ij}, B_{ijk} которых определены экспериментально с использованием метода планирования эксперимента [5]:

$$\begin{cases} U = f_U(Q_t, I, T_{\text{охл}}), \\ T = f_T(Q_t, I, T_{\text{охл}}), \end{cases} \quad (1)$$

где U, T, Q_t – текущее напряжение АБ, температура НВА и зарядная (разрядная) емкость;
 I – ток АБ;
 $T_{\text{охл}}$ – температура охлаждающей среды (охладителя);
 f_U, f_T – функционалы, выражающие зависимости напряжения и температуры НВА от $T_{\text{охл}}, I, Q$, представляемые полиномами вида

$$f(Q_t, I, T_{\text{охл}}) = B_0 + B_1 T_{\text{охл}} + B_2 I + B_3 Q_t + B_{12} T_{\text{охл}} I + B_{13} T_{\text{охл}} Q_t + B_{23} I Q_t + B_{11} T_{\text{охл}}^2 + B_{22} I^2 + B_{33} Q_t^2 + B_{111} T_{\text{охл}}^3 + B_{222} I^3 + B_{333} Q_t^3 + B_{123} T_{\text{охл}} I Q_t. \quad (2)$$

Применительно к заряду ($U = U_3, I = I_3, Q = Q_3$) имеем полиномиальные зависимости с известными коэффициентами:

$$U_3 = f_{U_3}(T_{\text{охл}}, I_3, Q_3), \quad (3)$$

$$T_3 = f_{T_3}(T_{\text{охл}}, I_3, Q_3), \quad (4)$$

где $Q_3 = Q_3(t) = \int_{t_0}^t I_3(t) dt$.

Заметим, что в соответствии с принципами, положенными в основу модели, вместо соотношения (4) в ее состав может входить равноценная зависимость для мощности тепловыделения, значения коэффициентов которой также получены методом планирования эксперимента [2]:

$$P_T = f_{P_T}(T_{\text{охл}}, I_3, Q_3).$$

Аналогичные выражения получены и для режима разряда ($U = U_P, I = I_P, Q = Q_P$).

Однако при моделировании процессов функционирования НВ АБ в составе аккумулирующих подсистем необходимо прежде всего ввести в соотношения модели вместо Q_3 и Q_P характеристику состояния заряженности АБ, единую для заряда и разряда. В качестве такой характеристики может быть принята полезная энергия АБ или аккумулятора [3]:

$$W_{\Pi}(t) = W_{\Pi}(t_0) + \int_{t_0}^t [VUI - P_T(t)] dt - W_C(t), \quad (5)$$

где $P_T(t)$ – мощность тепловых потерь;

t_0 и t_K – моменты времени начала и конца процесса;

V – коэффициент режима ($V=1$ при заряде и $V=-1$ при разряде);

$W_C(t)$ – энергия, потерянная в результате саморазряда, которая зависит от скорости окисления водорода на окисно-никелевом электроде в объеме V_T [5]:

$$W_C(t) = W_{\Pi}(t_0) - W_{\Pi}(t) = W_{\Pi}(t_0) - \left\{ W_{\Pi}^{-1}(t_0) + 2.08 * \exp[24.5(T - 273)T^{-1}] T V_T^{-1}(t - t_0) \right\}^{-1},$$

где T – температура НВА,

t – время.

При известных параметрах НВА конкретного типа вычисление энергии саморазряда не встречает затруднений. Это позволяет использовать уравнение (5) для определения состояния модуля АБ при многоэтапном восполнении энергоемкости АБ с многократным чередо-

ванием этапов заряда и разряда на интервале выполнения энергобаланса. Однако для решения задач синтеза и моделирования АПС требуется располагать также и функционалом (4) для f_T . Переход от f_T к f_P и обратно формально может быть осуществлен на основе использования известных уравнений теплового баланса НВА.

Для обеспечения возможности моделирования неполных зарядов и разрядов с произвольными значениями уровня и глубины циклирования особенно выгодно использование полезной энергии как меры состояния АБ. Эта величина монотонно без разрывов изменяется в своей области определения и является, по определению, неотрицательной. Она может быть с приемлемой точностью связана и с давлением в корпусе НВА [3], а также имеет прямую связь со степенью заряженности АБ, выраженной через параметры Q_3, Q_P .

Для практической реализации модели, в которой используются данные преимущества, предложено ввести в рассмотрение, кроме шкалы фактически сообщаемой при заряде (или снимаемой при разряде) емкости, дополнительную фиктивную шкалу емкостей Q , применяемую для подстановки в выражения (3) и (4).

В режимах циклирования по предельным циклам, для которых разработана базовая модель, обе указанные шкалы совпадают. В остальных случаях обе шкалы смещаются одна относительно другой. Таким образом, задача распространения модели Центера – Морозова на произвольные режимы циклирования сводится к определению смещения двух указанных шкал. Для краткости записи введем обозначение $Y(Q, t) = VU(T, I, Q)I(t) - P_T(t)$.

Пусть $W_{\Pi}(t_0) \neq 0$, что соответствует началу заряда с ненулевыми начальными условиями. В этом случае для определения начального значения емкости $Q(t_0)$ (начала шкалы фиктивных емкостей) следует решить трансцендентное уравнение $\int_0^{t_0} Y(Q, t) dt = W_{\Pi}(t_0)$, где $Q(t) = \int_0^t I(t) dt$, $I(t) = I_3(t)$.

При разряде с начальными условиями $W_{\Pi}(t_0)$, $W_{\Pi \max}$ для нахождения величины $Q(t_0)$ следует решить аналогичное уравнение

$$W_{\Pi \max} + \int_0^{t_0} Y(Q, t) dt = W_{\Pi}(t_0),$$

где $Q(t) = \int_0^t I(t) dt$, $I(t) = I_3(t)$.

Значение $W_{\Pi \max}$ определяется как наибольшее возможное значение полезной энергии, запасаемое в условиях предшествующего заряда с использованием формул (1)–(5) [5]. Достаточно хорошим начальным приближением для итерационного метода решения данных уравнений является значение фиктивной емкости, определяемое соотношением

$$Q(t_0) = \frac{W_{\Pi}(t_0)}{N_{\text{АК}} \frac{dW_{\Pi}}{dQ}},$$

где $W_{\Pi}(t_0)$ – начальная полезная энергия АБ;

$N_{\text{АК}}$ – число аккумуляторов в АБ;

dW_{Π}/dQ – экспериментально измеряемая для каждого НВА средняя скорость изменения полезной энергии при разряде ($\approx 1,59$ В).

Полученное в результате значение фиктивной емкости $Q(t_0)$ может быть использовано

в качестве величины смещения шкалы фиктивной емкости относительно фактической (зарядной или разрядной емкости). Тогда

$$Q(t) = Q(t_0) + \int_{t_0}^t I(t) dt. \quad (6)$$

Для заряда

$$U_3 = f_{U_3}(T_{\text{ОХЛ}}, I_3, Q), \quad (7)$$

$$T_3 = f_{T_3}(T_{\text{ОХЛ}}, I_3, Q). \quad (8)$$

Следующей задачей для построения модели АБ является определение функциональной зависимости f_P при известном функционале (4).

Для распространения модели на процессы заряда произвольными ступенчатыми токами с начальной температурой НВА, не совпадающей в общем случае с температурой охладителя, дополним модель выражениями для мощности тепловыделения АБ

$$P_T^{(1)} = r(I_3, Q)I_3^2$$

и для мощности тепловыделения НВА

$$P_T^{(1)} = r(I_3, Q)I_3^2 / N_{\text{АК}}, \quad (9)$$

считая все входящие в них величины известными. Интегрируя уравнение (9) баланса тепла при известных начальных условиях и считая, что теплоотдача от батареи происходит только за счет конвективного теплообмена, при известной мощности тепловыделения имеем

$$T_A(t) = T_{\text{ОХЛ}} + \frac{P_T^{(1)}}{\alpha S} \times \left[1 - \exp\left(-\frac{\alpha S}{cM} t\right) \right] + [T_A(0) - T_{\text{ОХЛ}}] \times \left[\exp\left(-\frac{\alpha S}{cM} t\right) \right].$$

Для определения численных значений производных от давления по времени и по зарядной емкости воспользуемся выражением Центера:

$$dp/dt = a(U_3 I_3 - P_T). \quad (10)$$

Здесь $a = 4/(3a'_0)$, где a'_0 – постоянная аккумулятора сосуда.

Соотношения (5)–(10) в совокупности представляют собой разработанную усовершенствованную математическую модель АБ для заряда в аккумулирующей подсистеме при произвольно изменяющемся ступенчатом токе и используются далее при разработке алгоритма и программы моделирования процессов в аккумулирующей подсистеме.

Пусть профиль зарядного тока $I_3(t)$ представляет собой L -ступенчатую функцию времени (рис. 1). Каждая ступень (интервал постоянства тока) имеет длительность $\Delta \tau_i, i = 1, L$. Каждая из суточных циклограмм разделена на некоторое число N участков, в пределах каждого из которых значение текущей мощности накопителя может быть принято как постоянная величина

$$P_{Qr} = P_{\text{СБ}r} - P_{\text{Н}r} / \eta_{\text{СН}},$$

где $\eta_{\text{СН}}$ – КПД централизованного стабилизатора напряжения.

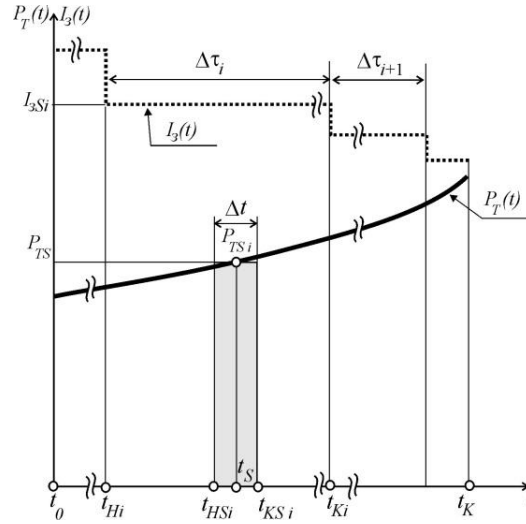


Рис. 1. Интервалы и подынтервалы изменения состояния модулей АБ

Алгоритм моделирования зарядного процесса включает в себя следующие основные шаги.

1. Для момента начала процесса t_0 состояние АБ (модуля АБ) задается значениями полезной энергии $W_{\Pi}(t_0)$, температурой НВА и температурой охладителя модуля $T_{\text{ОХЛ}}$.

2. Каждый интервал постоянства тока $I_3(\Delta\tau_i) = I_{3i}$ представлен в виде совокупности одинаковых малых подынтервалов Δt , на каждом s -м из которых мощность тепловыделения модуля можно считать неизменной, а ток $I_{3i} = I_{3Si}$. Для каждого s -го подынтервала времени Δt (принадлежащего интервалу $\Delta\tau_i$), начинающегося в момент времени $t_{HS} = t_{HSi}$ и завершающегося в момент времени $t_{KS} = t_{KSi}$, можно записать приращения емкости, энергии и давления:

$$\Delta Q_{3Si} = I_{3Si} \Delta t, \quad (11)$$

$$\Delta W_{\Pi Si} = U_{3Si} I_{3Si} \Delta t - \Delta W_{TSi}, \quad (12)$$

$$\Delta W_{Si} = U_{3Si} I_{3Si} \Delta t, \quad (13)$$

$$\Delta W_{TSi} = N_{\text{AK}} P_{TSi}^{(1)} \Delta t, \quad (14)$$

$$\Delta p_{Si} = a(U_{3Si} I_{3Si} - N_{\text{AK}} P_{TSi}^{(1)}) \Delta t, \quad (15)$$

где ΔW_{Si} – приращения затрат энергии $W(t)$, получаемой АБ от ЗУ за Δt .

При этом значения интегральных функций времени $W_{\Pi}(t)$, $W_T(t)$ и $W(t)$ на s -м подынтервале i -го интервала могут быть заменены суммами:

$$Q(t_{KSi}) = Q_{Si} = Q(t_0) + \sum_{j=1}^S \Delta Q_{3Si}, \quad (16)$$

$$W_{TSi} = \sum_{j=1}^i \sum_{n=1}^S \Delta W_{Tnj}, \quad (17)$$

$$U(t_{KSi}) = U_{3Si} = f_{U_3}(T_{\text{ОХЛ}}, I_{3Si}, Q_{Si}), \quad (18)$$

$$W_{Si} = \sum_{j=1}^i \sum_{n=1}^S \Delta W_{\Pi nj}, \quad (19)$$

$$W_{\Pi Si} = W_{\Pi}(t_0) + \sum_{j=1}^i \sum_{n=1}^S \Delta W_{\Pi nj}, \quad (20)$$

$$p_{Si} = p(t_0) + \sum_{j=1}^i \sum_{n=1}^S \Delta p_{nj}. \quad (21)$$

Поскольку использование соотношения (2) при произвольном изменении тока невозможно, то с помощью решения уравнения (6) получим значение температуры НВА в модуле АБ к концу s -го подынтервала по ее значению в начале этого подынтервала:

$$T_{AKSi} = T_{Oxл} + \frac{P_{TSi}^{(1)}}{\alpha S} \times \left[1 - \exp\left(-\frac{\alpha S}{cM} \Delta t\right) \right] + [T_{AHSi} - T_{Oxл}] \times \left[\exp\left(-\frac{\alpha S}{cM} \Delta t\right) \right]. \quad (22)$$

3. Для первого подынтервала ($s=1$) очевидны соотношения $t_{HS} = t_0$, $t_{KS} = \Delta t$, $T_A(t_{HS}) = T_A(t_0)$. Следует отметить, что на всех подынтервалах каждого из интервалов Δt_i ток модуля $I_{3i} = I_{3Si}$. Обозначая $t_s = t_{Si} = t_{HS} + \Delta t/2$, $Q_s = Q(t_s)$, определим величины $P_{TSi} = N_{AK} P_T^{(1)}(t_s) = P_T(t_s)$ и $T_A(t_s)$, $U_{KS} = U(t_{KS})$ и $U_s = U(t_s)$. Температура НВА в конце подынтервала вычисляется по формуле (22), а давление p – по (21).

4. Поскольку конечное состояние модуля в s -м подынтервале является одновременно начальным состоянием для $(s+1)$ -го подынтервала, то операции п.3 повторяются до достижения момента окончания последнего из подынтервалов Δt , принадлежащего данному интервалу Δt_i . При этом для следующего интервала Δt_{i+1} устанавливается значение тока следующей ступени $I_{3i+1} = I_{3Si+1}$, и процесс моделирования продолжается.

Для параметров Q, W_{Π}, W, W_T, W_C переход к их значениям в конце подынтервала происходит по общему правилу $\Pi(t_{KS}) = \Pi(t_{HS}) + \delta \Pi_s$, в котором Π – один из упомянутых параметров; $\delta \Pi_s$ – функционал перехода. Функционал перехода позволяет определить его текущее состояние в конце каждого подынтервала.

5. Момент окончания процесса для заряда определяется по изменению знака мощности АПС P_Q либо после достижения условий формирования сигнала запрета (давление и температура НВА достигают заданных граничных уровней).

Таким образом, выражения (11)–(22) представляют собой численную реализацию модели системы с НВ АБ (5)–(10) для произвольно изменяющегося тока и неполных циклов заряда-разряда, примененную в разработанной программе моделирования на языке PASCAL.

При расчетах и моделировании была предложена, уточнена и использована следующая, подобранная по экспериментальным данным, форма зависимости (8):

$$P_T = [d_1 \times Q^2 + d_2 \times Q^3 \times (d_3 / I_3)^2] \times I_3^2.$$

Проведена проверка адекватности разработанных математических моделей сравнением основных теоретических и опубликованных экспериментальных данных. Оценивание погрешности δ при использовании приближенного соотношения для мощности тепловыделения производилось вычислением мощности тепловыделения и эквивалентного сопротивления АБ по опубликованным данным измерения температур и тепловыделения указанной АБ в ходе экспериментов [3] (рис. 2).

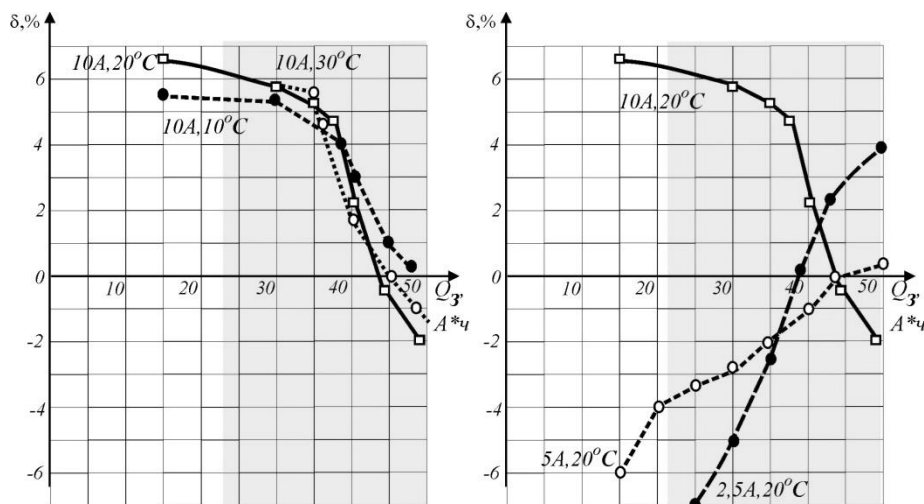


Рис. 2. Влияние температуры и тока на погрешность вычисления тепловыделения по эквивалентному сопротивлению

Результаты для $d_1=0,00037$, $d_2=0,000002$ и $d_3 = 12$ показывают, что в реально используемых (выделенных) областях параметров отклонение расчетных данных от экспериментальных составляет единицы процентов и не превышает погрешность расчетов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, анализ полученных данных дает предварительное обоснование целесообразности перехода от неизменных гладких профилей зарядных токов к ступенчатым (или непрерывно управляемым). Однако моделирование заряда с произвольным выбором ступеней тока показывает, что тепловыделение и температура АБ в зависимости от высоты и длительности ступеней могут как убывать, так и оставаться постоянными или даже возрастать. Поэтому обоснованный выбор и ограничение значений параметров изменяющихся токов требуют решения задачи параметрического синтеза на множестве эксплуатационных ограничений с использованием разработанной модели. Переход на заряд оптимальным током, даже на одной ступени, позволяет повысить количество запасаемой полезной энергии до 14% по сравнению со стандартным зарядом током 10 А.

Список используемых источников

1. Лукьяненко М.В. Энергетическая модель никель-водородных аккумуляторов // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени М.Ф. Решетнева: сб. научных трудов. – 2005. – № 4. – С.67–71.
2. Морозов А.Н. Исследование тепловых и энергетических процессов в никель-водородных аккумуляторах: дисс. ... канд. техн. наук. – Красноярск, 1987. – 256 с.
3. Энергобалансная модель никель-водородной аккумуляторной батареи / А.Н. Морозов, А.Н. Ловчиков, М.В. Лукьяненко, В.С. Кудряшов, Б.И. Центр // Химические источники тока: сб. научных трудов ВНИАИ. – Л., 1983. – С.91–94.
4. Формализованная модель никель-водородной аккумуляторной батареи / А.Н. Морозов, А.Н. Ловчиков, М.В. Лукьяненко, В.С. Кудряшов, Б.И. Центр, А.Г. Козлов // Химические источники тока: сб. научных трудов ВНИАИ. – Л., 1983. – С.87–90.
5. Центр Б.И., Лызлов Н.Ю. Металл-водородные электрохимические системы. Теория и практика. – Л.: Химия, 1989. – 282 с.

С.В. Богдановский;
К.Л. Овчаренко;
А.Н. Симонов,
кандидат техн. наук, доцент

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Рассмотрен метод определения координат источников радиоизлучения на основе поляризационных измерений, основанный на использовании малогабаритных сосредоточенных антенных систем, инвариантных к изменению поляризации радиоизлучения. В разработанном методе определения координат источников радиоизлучения на основе поляризационных измерений в качестве координатно-информативного параметра используется поляризация радиоизлучения.

Ключевые слова: поляризация, определение местоположения, координатно-информативный параметр, пеленгование, беспилотный летательный аппарат.

Вопросы теории и практики измерения координат различных объектов находят широкое применение в различных отраслях науки, техники и промышленности (в радионавигации, радиолокации, радиоуправлении, радиоастрономии, радиогодезии, в военной сфере). Важным направлением в решении этих вопросов является определение местоположения (ОМП) источников радиоизлучений (ИРИ).

Достоинство системы ОМП ИРИ состоит в скрытности определения координат в силу отсутствия активного излучения. Размещение технических средств системы ОМП на летательных аппаратах, в том числе на беспилотных летательных аппаратах (БЛА), позволяет существенно расширить зону мониторинга с возможностью обнаружения и определения координат ИРИ в труднодоступных районах.

Однако использование БЛА в качестве платформы для развертывания средств радиомониторинга приводит к возникновению ряда проблем, снижающих точность ОМП ИРИ, основными из которых являются [1]:

- увеличение уровня помех и связанное с ним снижение отношения сигнал/шум на входе бортового радиоприемного устройства (РПУ);
- ограничение массогабаритных показателей полезной нагрузки на БЛА, которые не позволяют разместить на нем эффективные антенные системы и многоканальные РПУ;
- нестабильность ориентации БЛА в пространстве, которая приводит к резкому увеличению ошибок пеленгования и к снижению точности определения координат ИРИ.

Таким образом, целью опубликования статьи является возможность предложить для рассмотрения разработанный авторами метод определения координат источников радиоизлучения на основе поляризационных измерений с целью повышения точности ОМП ИРИ.

При определении координат ИРИ с борта БЛА используется несколько систем координат, среди которых выделяют геоцентрическую систему координат (СК), топоцентрическую СК и СК БЛА (рис. 1).

В процессе полета измеряются параметры радиоизлучения в СК БЛА $O_{ла}X_{ла}Y_{ла}Z_{ла}$, центр которой связан с центром антенной системы (АС) БЛА. При построении плоскости положения, вычислении линий положения и определении координат ИРИ используется топоцентрическая СК $O_T X_T Y_T Z_T$.

В процессе определения координат ИРИ необходимо учитывать ориентацию АС относительно топоцентрической СК. Наиболее распространенным методом определения ориентации твердого тела в трехмерном пространстве является метод углов Эйлера, согласно которому твердое тело может быть переведено из начального положения в любое конечное положение с помощью трех последовательных поворотов вокруг осей Z , Y , X на соответствующие углы ξ_α , ξ_β , ξ_γ (рис. 2).



Рис 1. Системы координат, используемые при расчетах координат ИРИ

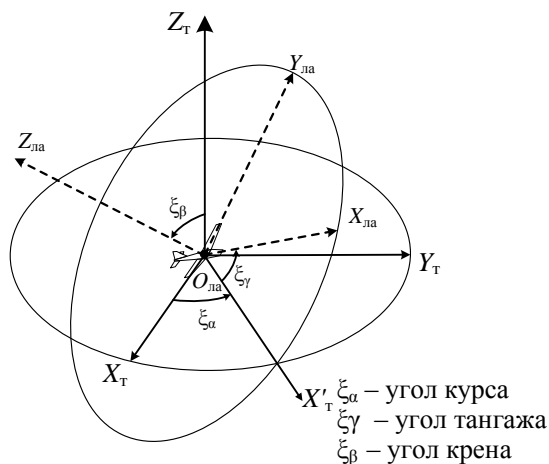


Рис 2. Углы ориентации летательного аппарата в трехмерном пространстве

При пеленговании ИРИ с борта БЛА требуемая точность определения координат достигается за счет сокращения расстояния до ИРИ, однако при этом прием радиосигналов осуществляется при углах места $\beta = 45-90^\circ$, что приводит к уменьшению коэффициента согласования по поляризации между приемной АС и полем проходящей электромагнитной волны. Снижение коэффициента согласования по поляризации вызывает уменьшение точности определения координат ИРИ с борта БЛА.

Радиосигнал, поступающий на вход АС, содержит информацию о пространственном положении ИРИ в виде значений тех или иных параметров, а именно: амплитуды, частоты, фазы, времени запаздывания, углов прихода и поляризационных параметров радиоволны [2].

Традиционно физической основой любого метода радиопеленгования принято считать различие времени прихода лучей в разнесенные точки пространства с использованием распределенной АС. Однако существует возможность определения направления на ИРИ с по-

мощью сосредоточенной антенной системы, способной определить поляризацию радиосигнала в точке приема.

Учет поляризационных параметров радиоволны возможен за счет измерения пространственного положения вектора напряженности электрического поля \vec{E} в пространстве, для чего необходимо определить три ортогональные составляющие вектора напряженности в системе координат БЛА $O_{ла} X_{ла} Y_{ла} Z_{ла}$ [3].

Пространственная ориентация вектора напряженности электрического поля на борту БЛА $\vec{E}_{ла}$ может определяться с помощью триортогональной антенной системы, при использовании которой измеряются три составляющие вектора напряженности электрического поля $E_{ла x}, E_{ла y}, E_{ла z}$ [3, 4] (рис. 3).

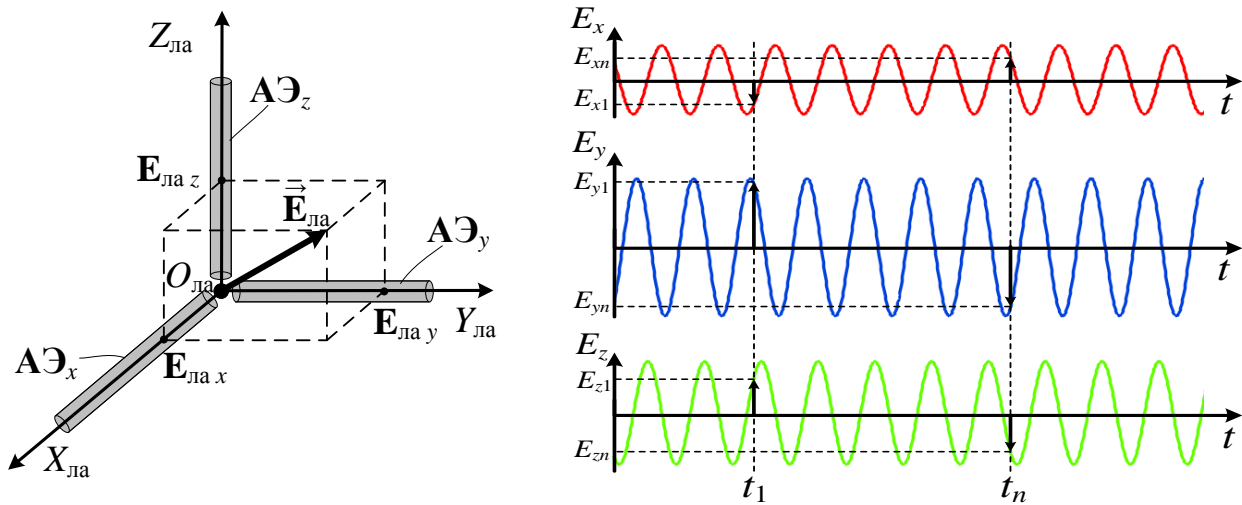


Рис. 3. Пространственная ориентация вектора напряженности электрического поля

Вектор напряженности электрического поля преобразуется в топоцентрическую СК за счет последовательного перемножения измеренного вектора $\vec{E}_{ла}$ на три матрицы поворота $A_3(\xi_\alpha), A_2(\xi_\beta), A_3(\xi_\gamma)$, соответствующие углам Эйлера $\xi_\alpha, \xi_\beta, \xi_\gamma$ [5]:

$$\vec{E}_T = A_3(\xi_\alpha) A_2(\xi_\beta) A_3(\xi_\gamma) \vec{E}_{ла},$$

где

$$A_3(\xi_\alpha) = \begin{pmatrix} \cos(\xi_\alpha) & -\sin(\xi_\alpha) & 0 \\ \sin(\xi_\alpha) & \cos(\xi_\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad A_2(\xi_\beta) = \begin{pmatrix} \cos(\xi_\beta) & 0 & \sin(\xi_\beta) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\xi_\beta) & 0 & \cos(\xi_\beta) \end{pmatrix},$$

$$A_3(\xi_\gamma) = \begin{pmatrix} \cos(\xi_\gamma) & -\sin(\xi_\gamma) & 0 \\ \sin(\xi_\gamma) & \cos(\xi_\gamma) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Плоскость положения, проходящую через центр бортовой АС БЛА с координатами $O_{ла} (x_{ла}, y_{ла}, z_{ла})$ и перпендикулярную вектору напряженности электрического поля в топоцентрической системе координат, который определяется тремя ортогональными составляющими E_{Tx}, E_{Ty}, E_{Tz} , можно описать уравнением [5]

$$Ax + By + Cz + D = 0,$$

где $A = E_{Tx}; B = E_{Ty}; C = E_{Tz}; D = -E_{Tx}x_{ла} - E_{Ty}y_{ла} - E_{Tz}z_{ла}$.

Линия положения ИРИ находится при решении системы линейных уравнений вида

$$\begin{cases} Ax + By + Cz + D = 0, \\ z = f(x, y), \end{cases}$$

где $z = f(x, y)$ – уравнение поверхности Земли.

Если поверхность Земли задается плоскостью, то решением приведенной системы линейных уравнений является выражение для линии положения ИРИ $Ax + By + D = 0$ с измеренными коэффициентами A , B и D .

Координаты ИРИ $M(x_{и}; y_{и}; z_{и})$ определяются как точка пересечения двух или более линий положения (рис. 4).

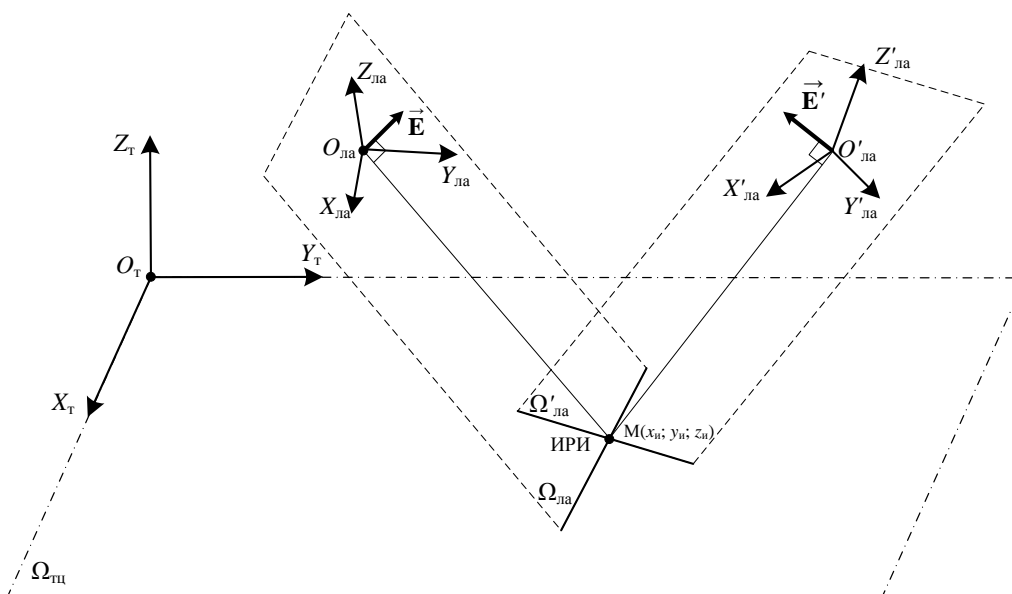


Рис. 4. Графическое представление определения линий положения ИРИ

В процессе полета БЛА производится многократное измерение коэффициентов A , B и D линии положения ИРИ $Ax + By + D = 0$, построение линий положения и определение координат ИРИ в точках пересечения линий положения одним из известных методов, например: путем решения системы уравнений методом Крамера, матричным методом или методом Гаусса [5].

Для ситуации, когда ИРИ находится на поверхности Земли, координаты ИРИ $M(x_{и}; y_{и}; z_{и})$ находятся путем решения системы уравнений вида

$$\begin{cases} A_1x + B_1y + D_1 = 0; \\ A_2x + B_2y + D_2 = 0; \\ \dots\dots\dots \\ A_nx + B_ny + D_n = 0, \end{cases}$$

где n – число линий положения.

Координаты ИРИ $M(x_{и}; y_{и}; z_{и})$ находятся в точке, сумма квадратов расстояний от которой до всех прямых минимальна:

$$S = \sum_{i=1}^n d_i^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(A_i x + B_i y + D_i)^2}{A_i^2 + B_i^2} \Rightarrow \min,$$

где $i=1(1)n$ – номер линии положения.

Для рассматриваемого случая можно составить систему с частными производными вида

$$\begin{cases} \frac{dS}{dx} = \sum_{i=1}^n \frac{2A_i(A_ix + B_iy + D_i)}{A_i^2 + B_i^2} = 0; \\ \frac{dS}{dy} = \sum_{i=1}^n \frac{2B_i(A_ix + B_iy + D_i)}{A_i^2 + B_i^2} = 0. \end{cases}$$

Сгруппировав члены уравнения, можно записать:

$$\begin{cases} x \sum_{i=1}^n \frac{2A_i^2}{A_i^2 + B_i^2} + y \sum_{i=1}^n \frac{2A_iB_i}{A_i^2 + B_i^2} = - \sum_{i=1}^n \frac{2A_iD_i}{A_i^2 + B_i^2}; \\ x \sum_{i=1}^n \frac{2A_iB_i}{A_i^2 + B_i^2} + y \sum_{i=1}^n \frac{2B_i^2}{A_i^2 + B_i^2} = - \sum_{i=1}^n \frac{2B_iD_i}{A_i^2 + B_i^2}. \end{cases}$$

Полученная система уравнений может быть решена методом Крамера:

$$x = \frac{\Delta x}{\Delta}; \quad y = \frac{\Delta y}{\Delta},$$

где

$$\begin{aligned} \Delta &= \sum_{i=1}^n \frac{2A_i^2}{A_i^2 + B_i^2} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{2B_i^2}{A_i^2 + B_i^2} - \sum_{i=1}^n \frac{2A_iB_i}{A_i^2 + B_i^2}; \\ \Delta x &= - \sum_{i=1}^n \frac{2A_iD_i}{A_i^2 + B_i^2} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{2B_i^2}{A_i^2 + B_i^2} + \sum_{i=1}^n \frac{2A_iB_i}{A_i^2 + B_i^2} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{2B_iD_i}{A_i^2 + B_i^2}; \\ \Delta y &= - \sum_{i=1}^n \frac{2A_i^2}{A_i^2 + B_i^2} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{2B_iD_i}{A_i^2 + B_i^2} + \sum_{i=1}^n \frac{2A_iB_i}{A_i^2 + B_i^2} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{2A_iD_i}{A_i^2 + B_i^2}. \end{aligned}$$

Для проверки возможности достижения сформулированного технического результата было проведено математическое моделирование [6].

Методика проверки точности определения координат ИРИ с борта БЛА заключалась в следующем.

Исходными данными является произвольно поляризованное радиоизлучение на входе АС БЛА при различных параметрах сигнала и взаимном расположении БЛА и ИРИ, которое формировалось с помощью программы моделирования произвольно поляризованного радиоизлучения, на основе математического аппарата кватернионов [7].

Расчет координат ИРИ и оценка точности определения координат выполнялись поляризационным и традиционным методами.

Сравнительный анализ полученных результатов показал:

– при дальности до ИРИ $D = 30$ км и ошибке пеленгования $\sigma_\theta = 3^\circ$ традиционный метод обеспечивает ОМП ИРИ с радиусом среднеквадратического отклонения $R_{\text{СК}} = 2,8$ км;

– поляризационный метод – $R_{\text{СК}} = 1,7$ км.

При дальности до ИРИ $D = 35$ км и ошибке пеленгования $\sigma_\theta = 1^\circ$ традиционный метод обеспечивает ОМП ИРИ с $R_{\text{СК}} = 2,5$ км, а поляризационный метод – с $R_{\text{СК}} = 1,25$ км.

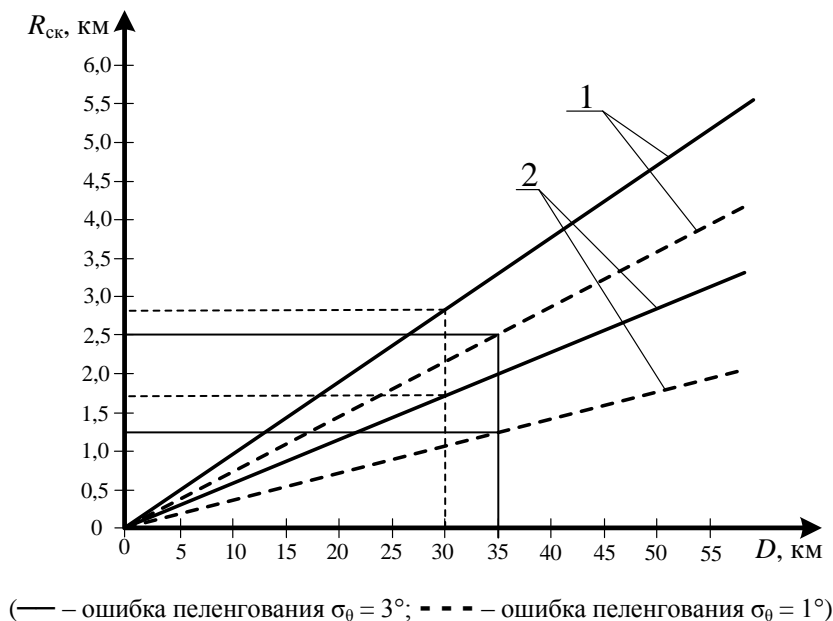


Рис. 5. Эффективность разработанного способа определения координат ИРИ с борта БЛА: 1 – традиционный метод; 2 – поляризационный метод

Таким образом, предлагаемый поляризационный метод позволяет повысить точность определения координат ИРИ с борта БЛА. При проведении компьютерного моделирования точность определения координат ИРИ повысилась от 30 до 50 % в зависимости от условий полета БЛА и параметров радиоизлучения (рис. 5).

Список используемых источников

1. Пространственно-поляризационная обработка радиосигналов при пеленговании источников радиоизлучения с беспилотного летательного аппарата / С.В. Богдановский, А.Н. Симонов, С.Ф. Теслевич, З.Ф. Шайдулин // Научные технологии. – 2015. – Т. 16, № 12. – С. 50–55.

2. Богдановский С.В., Симонов А.Н., Теслевич С.Ф. Поляризационный метод пеленгования источников радиоизлучения в пространстве // Научные технологии. – 2016. – Т. 17, № 12. – С. 40–43.

3. Комарович В.Ф., Никитченко В.В. Методы пространственной обработки радиосигналов. – Л.: ВАС, 1989. – 278 с.

4. Канарейкин Д.Б., Павлов Н.Ф., Потехин В.А. Поляризация радиолокационных сигналов. – М.: Сов. радио, 1966. – 440 с.

5. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1973. – 832 с.

6. Богдановский С.В., Симонов А.Н. Пространственно-поляризационная модель источника радиоизлучения на основе математики кватернионов // Успехи современной радиоэлектроники. – 2016. – № 5. – С. 60–64.

7. Свид. о государственной регистрации программ для ЭВМ 2015661417. Рос. Федерация. – программа моделирования произвольно поляризованного радиоизлучения, на основе математического аппарата кватернионов / С.В. Богдановский, А.Н. Симонов, С.Ф. Теслевич, М.В. Медведев; опублик. 22.10.2015, Бюл. № 11. – 1 с.

И.Д. Кравченко,
кандидат техн. наук;
О.М. Степанюк,
кандидат техн. наук, доцент;
Н.А. Трофимова

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАДАННОЙ КРИПТОСТОЙКОСТИ БЛОЧНОГО ШИФРОВАНИЯ ПРИ АУТЕНТИФИКАЦИИ СООБЩЕНИЙ В УСЛОВИЯХ АДАПТАЦИИ К ИЗМЕНЕНИЮ ДЛИНЫ КЛЮЧА

В статье рассмотрена возможность обеспечения криптостойкости блочного шифрования в режиме сцепления блоков шифротекста при аутентификации сообщений. Представлены результаты численных исследований зависимости объема ключевого пространства от длины ключа и аргумента модуля криптографического сложения в функции шифрования. Предложен модифицированный алгоритм аутентификации передаваемых данных.

Ключевые слова: аутентификация, шифр, ключ, блочное шифрование, криптостойкость, объем ключевого пространства.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время, с целью обеспечения информационной безопасности, большое внимание уделяется решению задачи достоверной передачи сообщений по незащищенным каналам связи. При этом важным элементом структуры обеспечения информационной безопасности в сетях передачи данных является аутентификация сообщений.

Аутентификация сообщения – процедура проверки его подлинности, а целостность сообщения является свойством, позволяющим убедиться в том, что сообщение не было изменено в процессе его передачи или хранения [3].

На практике используются аппаратные, программно-аппаратные и программные средства, реализующие криптографическое преобразование передаваемых данных с целью их аутентификации. Частая смена программно-аппаратных платформ приводит к необходимости решения задачи быстрого проектирования, а также доработки криптоалгоритмов в соответствии с изменившимися условиями их эксплуатации. Для решения этой задачи требуется разработка криптостойких параметризованных алгоритмов, способных эффективно функционировать в условиях адаптации к изменению таких параметров, как длина секретного ключа и размер входного информационного блока. Следует отметить, что особая роль отводится программным средствам защиты информации (ПСЗИ), что обусловлено значительным ростом производительности вычислительных систем, легкостью тиражирования ПСЗИ с целью их массового внедрения, возможностью реализации с их помощью сложных в вычислительном плане криптографических протоколов. [2, 8, 9].

В современных системах ЗИ существуют традиционные схемы аутентификации сообщений, основанные как на криптографических хэш-функциях (МАС, НМАС), так и на применении симметричного блочного шифрования в режиме сцепления блоков шифротекста (СВС-МАС). При этом для подтверждения подлинности сообщения используются аутентификаторы, стойкость которых определяется криптостойкостью функции, лежащей в основе схем аутентификации [4, 10, 11].

Целью публикации статьи является возможность предложить разработанный авторами модифицированный алгоритм, обеспечивающий заданную криптостойкость симметричного блочного

шифрования в режиме сцепления блоков шифротекста (СБШ) при аутентификации сообщений в условиях адаптации к изменению длины ключа.

СПОСОБ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАДАННОЙ КРИПТОСТОЙКОСТИ БЛОЧНОГО ШИФРОВАНИЯ ДЛЯ АУТЕНТИФИКАЦИИ СООБЩЕНИЙ

Рассмотрим более подробно принцип работы блочного шифрования сообщений в режиме сцепления блоков шифротекста.

Сообщение X разбивается на n блоков в виде X_1, X_2, \dots, X_n . Первый блок X_1 шифруется по правилу $Y_1 = E_k(X_1)$, где E_k – функция криптопреобразования, k – ключ шифрования. Вторым блоком сообщения X_2 складывается по модулю 2 с ранее зашифрованным блоком Y_1 , и результат сложения шифруется с помощью функции E_k в виде $Y_2 = E_k(Y_1 \oplus X_2)$, где \oplus – операция криптографического сложения по модулю 2. В дальнейшем процедура шифрования каждого блока в режиме СБШ выполняется в соответствии с выражением $Y_n = E_k(Y_{n-1} \oplus X_n)$ и продолжается до тех пор, пока не будет зашифрован последний блок сообщения. Таким образом, изменение любого блока открытого сообщения влияет на результат шифрования последующих блоков (эффект сцепления блоков). При этом последний блок шифротекста зависит от всех блоков открытого текста и его можно использовать в качестве кода аутентификации сообщения (КАС) для контроля целостности передаваемых данных. Сформированный таким образом КАС не предназначен для обеспечения конфиденциальности сообщений, а позволяет выявить факт их несанкционированных изменений [12].

Криптостойкость блочного шифра в режиме СБШ и степень защищенности сформированного с его помощью КАС определяются затрачиваемым временем на его раскрытие, которое зависит как от количества всех возможных перебираемых ключей, составляющих объем ключевого пространства, так и сложностью проверки каждого ключа в процессе выполнения процедуры сцепления блоков. При этом будем полагать, что объем ключевого пространства K является верхней границей показателя криптостойкости используемого шифра [1].

Использование многоалфавитного шифрования, где каждому символу алфавита ставится в соответствие вещественное число, возможно при программной реализации криптопреобразования. Причем ключ шифрования состоит из определенного набора вещественных чисел, ограниченных по $\text{mod } z$, где z представляет собой мощность алфавита и используется в качестве аргумента модуля при формировании ключа для функции шифрования, а также модуля криптографического сложения в процедуре сцепления блоков шифротекста [7].

Рассмотрим возможность обеспечения необходимой величины K за счет адаптации длины ключа l (количества символов) относительно изменения аргумента модуля z , используемого для функции шифрования. В данной статье предлагается производить вычисление значений КАС для каждого сообщения на основе программной реализации блочного шифрования в режиме СБШ по следующему модифицированному алгоритму:

$$\begin{aligned} Y_1 &= E_k(X_1); \\ Y_2 &= E_k((X_2 + Y_1) \text{ mod } z); \\ &\dots \\ Y_n &= E_k((X_n + Y_{n-1}) \text{ mod } z); \\ \text{КАС}(X) &= Y_n, \end{aligned}$$

где X_1, \dots, X_n – блоки сообщения;
 Y_1, \dots, Y_n – блоки зашифрованного сообщения;
 n – количество блоков сообщения;
 E_k – функция шифрования;
 k – ключ шифрования, где $k = k_1 \text{ mod } z, \dots, k_l \text{ mod } z$;
 z – аргумент модуля криптографического сложения;
 $((X_n + Y_{n-1}) \text{ mod } z)$ – процедура сцепления блоков шифротекста.

Необходимо иметь в виду, что криптостойкость блочного шифра при аутентификации сообщений определяет степень защищенности формируемого КАС, а его вычисление при криптоанализе невозможно без знания ключа шифрования k , длину которого l рекомендуется выбирать больше длины блока сообщения m , т.е. $l > m$ [5, 6]. Это означает, что при одном и том же z количество всех возможных ключей (z^l) больше количества всех возможных КАС (z^m), иными словами, значение КАС для одного передаваемого сообщения может быть вычислено с помощью нескольких ключей. Поэтому для нахождения единственного правильного ключа криптоаналитику потребуется перехватить несколько пар сообщений и соответствующих им КАС.

Следует отметить, что затраты времени на проверку каждого перебираемого ключа в процессе проведения процедуры сцепления блоков, влияющие на общую величину показателя криптостойкости шифра, могут быть получены аналитическим способом или на основе результатов экспериментальных исследований и в настоящей работе не рассматриваются. Поэтому ограничимся рассмотрением возможности обеспечения необходимого объема ключевого пространства (показателя криптостойкости) блочного шифрования на основе численных расчетов.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ АЛГОРИТМА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННЫХ РАСЧЕТОВ

В математическом представлении ключевым пространством является множество ключей k , состоящих из l символов, количество которых задается объемом K . Данное ключевое пространство может быть представлено в виде матрицы с элементами $k_{ij} \in \{0, \dots, z-1\}$, где $i = 1, \dots, K$; $j = 1, \dots, l$, в которой каждая строка является отдельным ключом длиной l .

Проведем исследования взаимозависимости значений K , z и l в соответствии с выражением $K = z^l$, где z – аргумент модуля для функции шифрования, l – длина ключа, которыми мы можем варьировать для обеспечения заданного объема ключевого пространства.

Выберем в качестве заданной криптостойкости объем ключевого пространства $K = 2^{256}$ ($z = 2$, $l = 256$). Тогда для данного K при $z = 3$ длина ключа (количество символов) l может быть определена из условия $2^{256} = 3^l$ и составит $l = \log_3 2^{256} \approx 162$, а при $z = 4$ длина ключа $l = \log_4 2^{256} = 128$ и т.д.

В общем случае длина ключа l при изменении z для одного и того же K может быть вычислена по формуле $l = \log_z K$.

Очевидно, что имеет место решение следующей задачи: при заданной длине ключа повышением значения z увеличивать объем ключевого пространства. Так, значение K при неизменной длине ключа $l = 256$ составляет $K = 3^{256}$ (при $z = 3$); $K = 4^{256}$ (при $z = 4$) и т.д.

Проведенные численные расчеты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты численных расчетов взаимозависимости значений аргумента модуля z , длины ключа l и объема ключевого пространства K

Значение аргумента модуля z														
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Зависимость длины ключа (количество символов) l от величины z (при заданном $K = 2^{256}$)														
256	162	128	111	100	92	86	81	78	75	72	70	68	66	64
Зависимость объема ключевого пространства K от величины z (при заданной длине ключа (количество символов) $l = 256$)														
2^{256}	3^{256}	4^{256}	5^{256}	6^{256}	7^{256}	8^{256}	9^{256}	10^{256}	11^{256}	12^{256}	13^{256}	14^{256}	15^{256}	16^{256}

Анализ полученных результатов показал, что заданный объем ключевого пространства можно обеспечить за счет повышения значения аргумента модуля, что приводит к уменьшению длины ключа. При этом длина ключа в зависимости от аргумента модуля изменяется по логарифмическому закону. Более того, при заданной длине ключа с помощью повышения значений аргумента модуля можно получить значительные по величине объемы ключевого пространства.

Возможность обеспечения заданного объема ключевого пространства (показателя криптостойкости) K за счет адаптации длины ключа l к изменению аргумента модуля z при использовании блочного шифрования для аутентификации сообщений рассмотрим с помощью схемы алгоритма, представленной на рис.1. При этом правило выбора значения аргумента z предлагается задавать подключом (сессионным ключом), являющимся дополнительным параметром алгоритма.

Криптографическая стойкость данной схемы алгоритма обеспечения заданной криптостойкости блочного шифрования для аутентификации сообщений основывается на сложности решения задачи дискретного логарифмирования при выборе в качестве значения аргумента модуля простых чисел, а также на стойкости используемой функции шифрования.

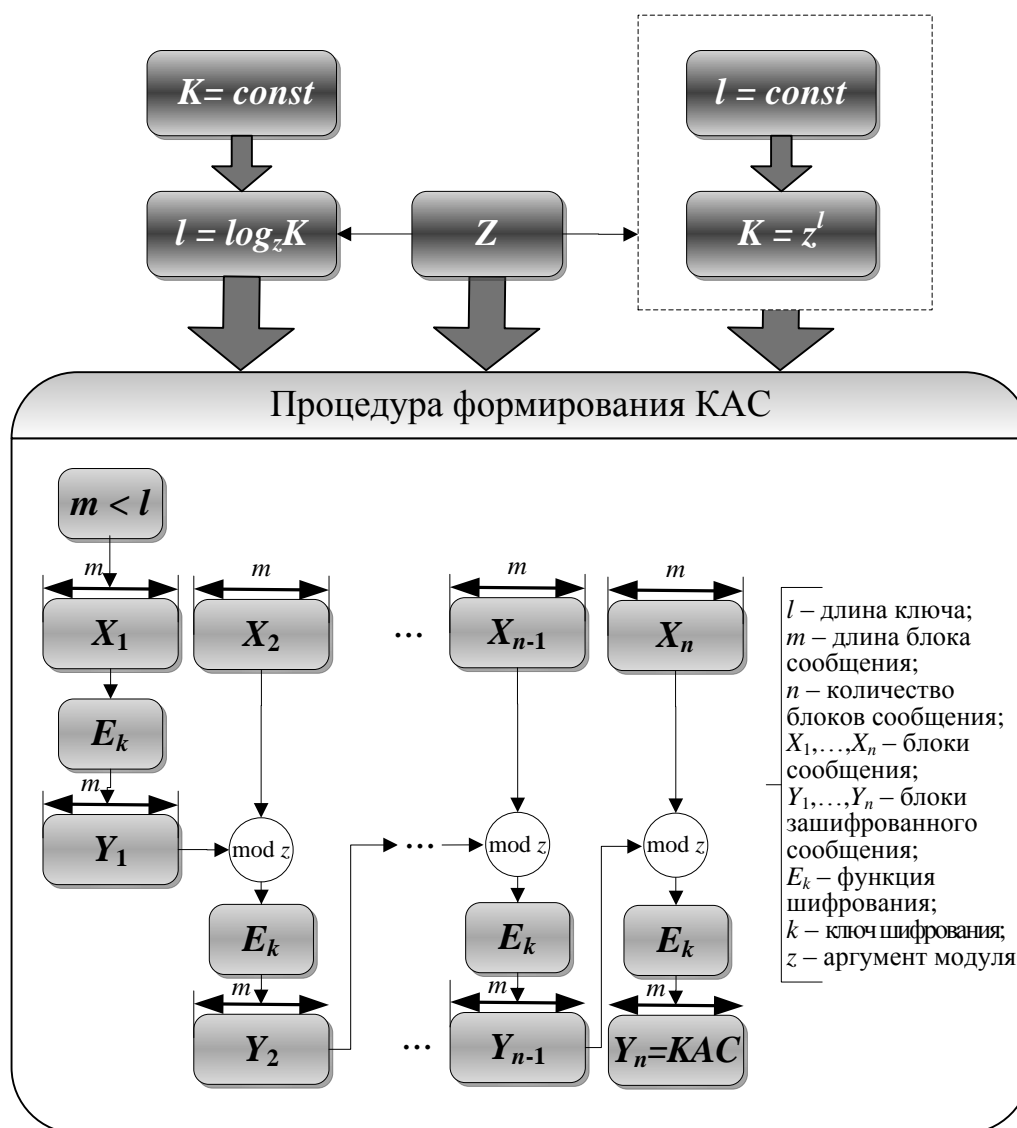


Рис.1. Схема алгоритма обеспечения заданной криптостойкости блочного шифрования при аутентификации сообщений

Алгоритм обеспечения заданной криптостойкости блочного шифрования при аутентификации сообщений позволяет решать следующие задачи:

1. Обеспечение заданной криптостойкости используемого шифра за счет адаптации длины ключа l к выбранному аргументу модуля z , применяемого для функции шифрования.
2. Повышение криптостойкости используемого шифра за счет адаптации аргумента модуля z к заданной длине ключа l .

При решении первой задачи задается требуемый объем ключевого пространства K , значение которого обеспечивается вычислением зависимости длины ключа l от выбранного аргумента z , который вместе с соответствующим ему значением l передается в процедуру формирования КАС для определения длины блока сообщения m ($m < l$) и в качестве параметров функции шифрования E_k .

При решении второй задачи задается требуемая длина ключа l и в зависимости от выбранного аргумента z вычисляется K , повышение которого обеспечивается увеличением z . Для определения длины блока сообщения и обеспечения работы функции шифрования E_k длина ключа l и соответствующий ей аргумент z передаются в процедуру формирования КАС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате использования предложенного подхода к построению алгоритма обеспечения заданной криптостойкости блочного шифрования при аутентификации сообщений путем вариации длины ключа и аргумента модуля для функции шифрования можно решить поставленную задачу.

На основе вышеизложенного сформулируем следующие выводы:

1. Применение блочного шифрования в режиме СБШ позволяет формировать КАС передаваемых данных для контроля их целостности. При этом степень защищенности КАС зависит от криптостойкости используемого алгоритма блочного шифрования.
2. Программная реализация предлагаемого подхода к обеспечению заданной криптостойкости блочного шифрования при аутентификации сообщений расширяет возможности ее тиражирования в зависимости от производительности используемой вычислительной техники, выбранной операционной системы и требований по ЗИ с незначительными ресурсными затратами.
3. Результаты проведенных исследований показали, что увеличение аргумента модуля для функции шифрования позволяет либо обеспечить заданную криптостойкость шифрования при существенном уменьшении длины ключа, либо увеличить криптостойкость шифрования при заданной длине ключа.
4. Предлагаемое решение задачи получения требуемой криптостойкости программной реализации блочного шифрования позволяет повысить гибкость и оперативность используемого при формировании КАС шифра, что дает возможность автоматизировать процесс выбора необходимых параметров криптоалгоритма, исходя из функциональных требований к программным средствам, реализующим обеспечение достоверности и целостности информации в КС, и возможных ресурсных ограничений по их применению.

Таким образом, рассмотренный алгоритм позволяет повысить эффективность обеспечения необходимой криптостойкости блочных шифров, используемых при формировании КАС и ориентированных на программную реализацию.

Кроме того, коллектив авторов полагает, что значительный интерес для повышения степени защищенности КАС представляет дальнейшая модернизация данного алгоритма в плане исследования возможности применения динамического изменения аргумента модуля криптографического сложения в процедуре СБШ по заранее выбранному правилу непосредственно в процессе сцепления одного или нескольких последовательно расположенных блоков шифротекста при оставлении статическим значения длины ключа в функции шифрования. Успешная реализация такого подхода может привести к значительному увеличению сложности вычисления криптоаналитиком кода аутентификации сообщения за счет дополни-

тельного многократного пересчета каждого ключа с перебором всех возможных значений аргумента модуля криптографического сложения.

Однако наиболее перспективным направлением в условиях современных требований по повышению криптостойкости шифрования передаваемых данных является разработка алгоритмов криптопреобразований на основе совместного использования аппаратных и программных средств защиты информации.

Список используемых источников

1. Блочные криптосистемы. Основные свойства и методы анализа стойкости / А.А. Варфоломеев, А.Е. Жуков, А.Б. Мельников, Д.Д. Устюжанин. – М.: МИФИ, 1998.
2. Диффи У., Хеллман Н. Защищенность и имитостойкость: введение в криптографию // ТИИЭР. – 1979. – Т.67, №3 – С. 71–109.
3. Аутентификация. Теория и практика обеспечения доступа к информационным ресурсам / под ред. А.А. Шелупанова, С.Л. Груздева, Ю.С. Нахаева. – М.: Горячая линия-Телеком, 2009. – 552 с.
4. Ричард Э. Смит Аутентификация: от паролей до открытых ключей. – М.: Вильямс, 2002. – 432 с.
5. Соколов А.В., Степанюк О.М. Методы информационной защиты объектов и компьютерных сетей. – М.:ООО «Фирма «Издательство АСТ»; СПб.: Полигон, 2000. – 272 с.
6. Программирование алгоритмов защиты информации / А.В. Домашев, В.О. Попов, Д.И. Правиков, И.В. Прокофьев, А.Ю. Щербаков. – М.: Нолидж, 2000.
7. Степанюк О.М., Трофимова Н.А. Алгоритм аутентификации сообщений на основе использования режима сцепления блоков шифротекста // Сборник алгоритмов и программ прикладных задач. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2016. – Вып.33. – С.141–147.
8. Жданов О.Н., Золотарев В.В. Методы и средства криптографической защиты информации: учеб. пособие. – Красноярск: СибГАУ, 2007. – 217 с.
9. Духан Е.И., Синадский Н.И., Хорьков Д.А. Программно-аппаратные средства защиты компьютерной информации. Практический курс: учеб. пособие. – Екатеринбург: УрГУ, 2008. – 240 с.
10. Biham E. and Shamir A. Differential Cryptanalysis of DES-like Cryptosystems // Journal of Cryptology, 1991. – Vol. 4, № 1. – P. 3–32.
11. Введение в криптографию и шифрование. – URL: <http://www.habrahabr.ru> (дата обращения: 15.03.20017).
12. Проблема аутентификации данных и блочные шифры. – URL: <http://www.mirznanii.com> (дата обращения: 28.03.20017).

К.А. Крупский,
кандидат техн. наук;
К.К. Успенский,
кандидат техн. наук

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОЦЕНОК ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТА НАБЛЮДЕНИЯ

Рассмотрен разработанный методический подход к определению систематических составляющих погрешностей оценок параметров движения объекта наблюдения для учета систематических погрешностей измерений в задачах оценивания готовности полигонного измерительного комплекса испытательного полигона, состоящего из разнотипных средств измерений, к обеспечению испытаний образцов вооружения, а также в задачах формирования оптимальных планов наблюдений систем контроля воздушного (космического) пространства.

Ключевые слова: объект наблюдения, параметры движения, показатель точности, полигонный измерительный комплекс, средства измерений.

ВВЕДЕНИЕ

В задачах планирования работы средств измерений (СИ) из состава полигонного измерительного комплекса (ПИК) испытательного полигона Минобороны России или СИ из состава системы контроля воздушного (космического) пространства, а также в задачах оценивания готовности таких средств к решению функциональных задач, прежде всего, необходимо оценить влияние состава и расположения разнородных СИ, точности их работы, состава измеряемых параметров, а также других факторов на точность получаемых оценок параметров движения объекта наблюдения (ОН) [1].

Под ОН понимается летательный аппарат (ЛА), испытываемый на полигонах Минобороны России, а также ЛА, сопровождаемый системами контроля воздушного (космического) пространства.

Случайный вектор оценок параметров движения ОН в заданной точке пространства может быть записан в следующем виде:

$$\hat{\theta} = [\hat{q}_1 \mid \hat{q}_2 \mid \dots \mid \hat{q}_K]^T, \quad (1)$$

где $\hat{q}_1, \hat{q}_2, \dots, \hat{q}_K$ – оценки параметров движения ОН;

K – количество оцениваемых параметров движения ОН.

При нормальном законе распределения вектора $\hat{\theta}$ случайные составляющие погрешностей оценок параметров движения ОН характеризуются ковариационной матрицей $\gamma_{\hat{\theta}}$ вида [2]

$$\gamma_{\hat{\theta}} = \begin{pmatrix} \sigma^2 \hat{q}_1 & \text{cov}(\hat{q}_1, \hat{q}_2) & \dots & \text{cov}(\hat{q}_1, \hat{q}_K) \\ \text{cov}(\hat{q}_2, \hat{q}_1) & \sigma^2 \hat{q}_2 & \dots & \text{cov}(\hat{q}_2, \hat{q}_K) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \text{cov}(\hat{q}_K, \hat{q}_1) & \text{cov}(\hat{q}_K, \hat{q}_2) & \dots & \sigma^2 \hat{q}_K \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где $\sigma^2 \hat{q}_1, \sigma^2 \hat{q}_2, \dots, \sigma^2 \hat{q}_K$ – дисперсии оценок параметров движения ОН;

$\text{cov}(\hat{q}_1, \hat{q}_2), \text{cov}(\hat{q}_2, \hat{q}_1), \dots, \text{cov}(\hat{q}_1, \hat{q}_K)$ – ковариации оценок параметров движения ОН.

Смещение вектора $\hat{\theta}$ относительно истинного значения можно записать в виде [2]

$$\mathbf{M}_{\hat{\theta}} = [\delta\hat{q}_1 \mid \delta\hat{q}_2 \mid \dots \mid \delta\hat{q}_K]^T, \quad (3)$$

где $\delta\hat{q}_1, \delta\hat{q}_2, \dots, \delta\hat{q}_K$ – математические ожидания оценок параметров движения ОН.

Для расчета погрешностей оценок параметров движения объекта наблюдения могут использоваться апробированные методы статистической обработки результатов измерений без линеаризации нелинейной зависимости измеряемых параметров движения ОН от оцениваемых [3].

Однако в задачах априорного оценивания точности отсутствует реальная измерительная информация, также неизвестна траектория полета ОН. В таком случае получение погрешностей оценок параметров движения ОН возможно за счет избыточности различных измеряемых параметров движения ОН [1, 4].

В составе погрешностей измерений кроме случайных составляющих присутствуют систематические, вызванные неточной привязкой результатов измерений ко времени, погрешностями геодезической привязки СИ, ухода шкалы времени аппаратуры системы единого времени и т.д. Для расчета систематических составляющих погрешностей оценок параметров движения ОН разработан методический подход, в основе которого лежит метод максимального правдоподобия [1].

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОЦЕНОК ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТА НАБЛЮДЕНИЯ

Исходными данными для определения систематических составляющих погрешностей оценок параметров движения ОН являются:

- количество СИ и их координаты в местной топоцентрической системе координат $OXYZ$, тип СИ;
- характеристики точности измерений для каждого СИ σ_{r_i} ;
- источники систематических погрешностей измерений.

Погрешности измерений, как правило, распределены по нормальному закону, соответственно применение метода максимального правдоподобия в таких условиях приводит к вычислительной схеме – методу наименьших квадратов при условии равной точности измерений и отсутствии корреляции [5].

Тогда для получения систематических составляющих погрешностей оценок параметров движения ОН без учета его модели движения (оценивание параметров недетерминированной траектории) необходимо составить матрицу коэффициентов системы нормальных уравнений вида [4]

$$\mathbf{Ka} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1K} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2K} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{K1} & a_{K2} & \dots & a_{KK} \end{vmatrix}. \quad (4)$$

Элементы матрицы \mathbf{Ka} рассчитываются с использованием матрицы частных производных размерностью $L \times K$ вида

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \dots & h_{1K} \\ h_{21} & h_{22} & \dots & h_{2K} \\ \vdots & & & \vdots \\ h_{L1} & h_{L2} & \dots & h_{LK} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial r_1}{\partial q_1} & \frac{\partial r_1}{\partial q_2} & \dots & \frac{\partial r_1}{\partial q_K} \\ \frac{\partial r_2}{\partial q_1} & \frac{\partial r_2}{\partial q_2} & \dots & \frac{\partial r_2}{\partial q_K} \\ \vdots & & & \vdots \\ \frac{\partial r_L}{\partial q_1} & \frac{\partial r_L}{\partial q_2} & \dots & \frac{\partial r_L}{\partial q_K} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где $\frac{\partial r_L}{\partial q_1} \dots \frac{\partial r_L}{\partial q_K}$ – частные производные от измеряемых параметров по оцениваемым параметрам движения ОН;

L – количество измеряемых параметров движения ОН.

Необходимо отметить, что размерность матрицы \mathbf{H} зависит от количества СИ и измеряемых ими параметров движения ОН, а также от количества оцениваемых параметров движения ОН.

При формировании матрицы \mathbf{H} проверяется условие соответствия дальности действия СИ, зоны видимости, угловых скоростей (ускорений) сопровождения ОН оцениваемым параметрам его движения.

Элементы матрицы \mathbf{Ka} в соответствии с исходными данными рассчитываются с помощью выражения

$$a_{nm} = \sum_{l=1}^L h_{ln} \cdot p_l^2 \cdot h_{lm}; \quad n, m = \overline{1, K}; \quad p_l^2 = \frac{1}{\sigma^2 r_l}; \quad l = \overline{1, L}, \quad (6)$$

где h_{ln}, h_{lm} – элементы матрицы \mathbf{H} ;

p_l^2 – весовой коэффициент l -го измеряемого параметра;

$\sigma^2 r_l$ – дисперсия l -го измеряемого параметра.

Далее составляется правая часть системы нормальных уравнений для каждого вида систематических погрешностей измерений δr_l следующего вида [1]

$$\mathbf{V} = [b_1 \mid b_2 \mid \dots \mid b_K]^T. \quad (7)$$

Элементы вектор-столбца \mathbf{V} определяются выражением

$$b_k^j = \sum_{l=1}^L h_{lk} \cdot p_l^2 \cdot \delta^j r_l, \quad p_l^2 = \frac{1}{\sigma^2 r_l}, \quad k = \overline{1, K}, \quad l = \overline{1, L}, \quad j = \overline{1, J}, \quad (8)$$

где h_{lk} – элементы матрицы \mathbf{H} ;

$\delta^j r_l$ – систематическая погрешность l -го измеряемого параметра j -го вида;

J – количество видов систематических погрешностей измерений.

Для определения систематических составляющих погрешностей оценок параметров движения ОН $[\delta \hat{q}_1 \mid \delta \hat{q}_2 \mid \dots \mid \delta \hat{q}_K]^T$ необходимо решить систему нормальных уравнений с использованием выражения вида

$$\mathbf{D} = \mathbf{Ka}^{-1} \cdot \mathbf{V}, \quad (9)$$

где \mathbf{D} – вектор-столбец систематических составляющих погрешностей оценок параметров движения ОН.

Результатом решения системы нормальных уравнений будут являться систематические составляющие погрешностей оценок параметров движения ОН, вызванные j -источником систематических погрешностей измерений.

В результате обобщения вышеизложенного разработанный методический подход к определению систематических составляющих погрешностей оценок параметров движения ОН будет включать следующие основные этапы:

- определение количества оцениваемых параметров движения ОН и видов систематических погрешностей измерений для каждого СИ;
- определение области оценивания параметров движения ОН;
- формирование матрицы **Н** с учетом тактико-технических характеристик (ТТХ) СИ;
- определение уравнений связи источников систематических погрешностей с погрешностями измерений;
- формирование матрицы **Ка** и матриц **В** для каждого вида систематических погрешностей измерений;
- расчет значений систематических составляющих погрешностей оценок параметров движения ОН для каждого вида систематических погрешностей измерений;
- формирование полей точности оценивания параметров движения ОН по систематической составляющей погрешности для заданной области пространства.

АПРОБАЦИЯ РАЗРАБОТАННОГО МЕТОДИЧЕСКОГО ПОДХОДА

Для проверки работоспособности разработанного методического подхода произведен расчет систематических составляющих погрешностей оценок параметров движения ОН для заданной области пространства при следующих исходных данных:

- в оценивании параметров движения ОН участвуют три однотипных СИ, измеряющие наклонную дальность R , азимут α и угол места β ;
- координаты местоположения СИ в топоцентрической системе координат $OXYZ$, м:
 - первое средство измерений (СИ 1) – в начале системы координат;
 - второе средство измерений (СИ 2) – (40 000, 150, 0);
 - третье средство измерений (СИ 3) – (0, 300, 60 000);
- средние квадратические отклонения измеряемых параметров движения ОН: $\sigma R_n = 5$ м, $\sigma \alpha_n = 5'$, $\sigma \beta_n = 5'$, $n = \overline{1, 3}$;
- предельная погрешность определения местоположения СИ $\delta x_n = \delta y_n = \delta z_n = 3$ м, $n = \overline{1, 3}$;
- область оценивания параметров движения ОН (рис. 1) размером $15\,000 \times 15\,000$ м на высоте $100\,000$ м с координатами левого нижнего угла в плоскости OXZ , м – (10 000, 10 000).

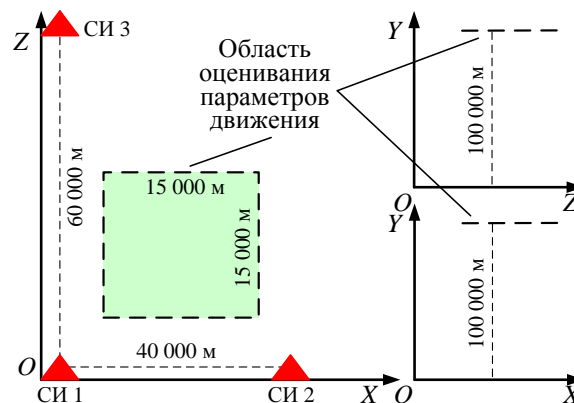


Рис. 1. Геометрическое расположение СИ и области оценивания параметров движения объекта наблюдения

Погрешности измерений δr_i , обусловленные погрешностями геодезической привязки СИ, определяются выражением [1]

$$\delta r_i (\delta x_n, \delta y_n, \delta z_n) = \frac{\partial r_i}{\partial x_n} \cdot \delta x_n + \frac{\partial r_i}{\partial y_n} \cdot \delta y_n + \frac{\partial r_i}{\partial z_n} \cdot \delta z_n, \quad (10)$$

где $\delta x_n, \delta y_n, \delta z_n$ – погрешность геодезической привязки местоположения n -го СИ.

С учетом уравнения (10) и номенклатуры измеряемых параметров движения ОН для расчета погрешностей измерений, обусловленных погрешностями геодезической привязки СИ, воспользуемся уравнениями вида:

$$\delta R(x_{OH}, y_{OH}, z_{OH}) = \left[\frac{1}{\left[(x_{OH} - x_n)^2 + (y_{OH} - y_n)^2 + (z_{OH} - z_n)^2 \right]^{1/2}} \right] \times \\ \times \left[(x_{OH} - x_n) \cdot \delta x_n + (y_{OH} - y_n) \cdot \delta y_n + (z_{OH} - z_n) \cdot \delta z_n \right], \quad (11)$$

$$\delta \alpha(x_{OH}, y_{OH}, z_{OH}) = \left[\frac{1}{\left[(x_{OH} - x_n)^2 + (z_{OH} - z_n)^2 \right]} \right] \cdot \left[(x_{OH} - x_n) \cdot \delta z_n - (z_{OH} - z_n) \cdot \delta x_n \right], \quad (12)$$

$$\delta \beta(x_{OH}, y_{OH}, z_{OH}) = \left[\frac{1}{\left[(x_{OH} - x_n)^2 + (y_{OH} - y_n)^2 + (z_{OH} - z_n)^2 \right]} \cdot \left[(x_{OH} - x_n)^2 + (z_{OH} - z_n)^2 \right]^{1/2} \right] \times \\ \times \left[-(x_{OH} - x_n) \cdot (y_{OH} - y_n) \cdot \delta x_n + q^2 \cdot \delta y_n - (y_{OH} - y_n) \cdot (z_{OH} - z_n) \cdot \delta z_n \right], \quad (13)$$

где x_n, y_n, z_n – координаты местоположения n -го СИ;

x_{OH}, y_{OH}, z_{OH} – координаты центра масс ОН, принадлежащие заданной области оценивания;

$\delta R_n, \delta \alpha_n, \delta \beta_n$ – систематические погрешности измерений n -го СИ;

$\delta x_n, \delta y_n, \delta z_n$ – предельная погрешность определения местоположения n -го СИ.

Матрица частных производных \mathbf{H} , необходимая для составления матриц \mathbf{Ka} и \mathbf{B} при расчете систематических составляющих погрешностей оценок координат ОН одним СИ, имеет вид

$$\mathbf{H}(x_{OH}, y_{OH}, z_{OH}) = \begin{vmatrix} \frac{\partial R_n}{\partial x} & \frac{\partial R_n}{\partial y} & \frac{\partial R_n}{\partial z} \\ \frac{\partial \alpha_n}{\partial x} & \frac{\partial \alpha_n}{\partial y} & \frac{\partial \alpha_n}{\partial z} \\ \frac{\partial \beta_n}{\partial x} & \frac{\partial \beta_n}{\partial y} & \frac{\partial \beta_n}{\partial z} \end{vmatrix}. \quad (14)$$

С учетом количества СИ, измеряемых ими параметров движения ОН и количества оцениваемых параметров движения ОН матрицы \mathbf{H} для составления элементов матриц \mathbf{Ka} и \mathbf{B} для приведенных исходных данных будут иметь размерность 3×3 , 6×3 и 9×3 .

Тогда с учетом уравнений (4)–(9) и (11)–(13) с целью расчета систематических составляющих погрешностей оценок координат ОН для заданной области воспользуемся выражением

$$\begin{bmatrix} \delta \hat{x} \\ \delta \hat{y} \\ \delta \hat{z} \end{bmatrix}^T = \left[\mathbf{Ka}(x_{OH}, y_{OH}, z_{OH}) \right]^{-1} \cdot \mathbf{B}(x_{OH}, y_{OH}, z_{OH}, \delta R_n, \delta \alpha_n, \delta \beta_n), \quad n=1, 3. \quad (15)$$

На рис. 2–4 представлены рассчитанные значения систематических составляющих погрешностей оценок координат ОН для заданной области, полученные с применением 1-го СИ, совместно 1-го и 2-го СИ и совместно 1-го и 3-го СИ, при шаге расчета 100 м по осям OX и OZ .

Расчет систематических составляющих погрешностей оценок параметров движения ОН может быть осуществлен заранее для заданной области любой размерности с учетом различных типов СИ, количества оцениваемых параметров движения ОН и любых источников систематических погрешностей измерений, для которых устанавливаются уравнения связи по аналогии с уравнением (10). Следовательно, для каждого источника систематических погрешностей измерений могут быть рассчитаны систематические составляющие погрешностей оценок параметров движения ОН.

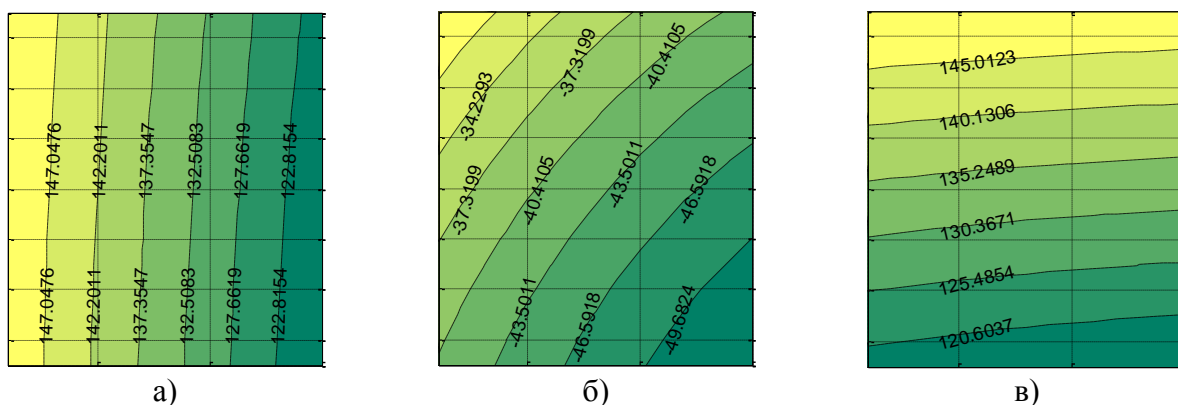


Рис 2. Значения $\delta\hat{x}$ (а), $\delta\hat{y}$ (б) и $\delta\hat{z}$ (в) при оценивании координат ОН 1-м СИ

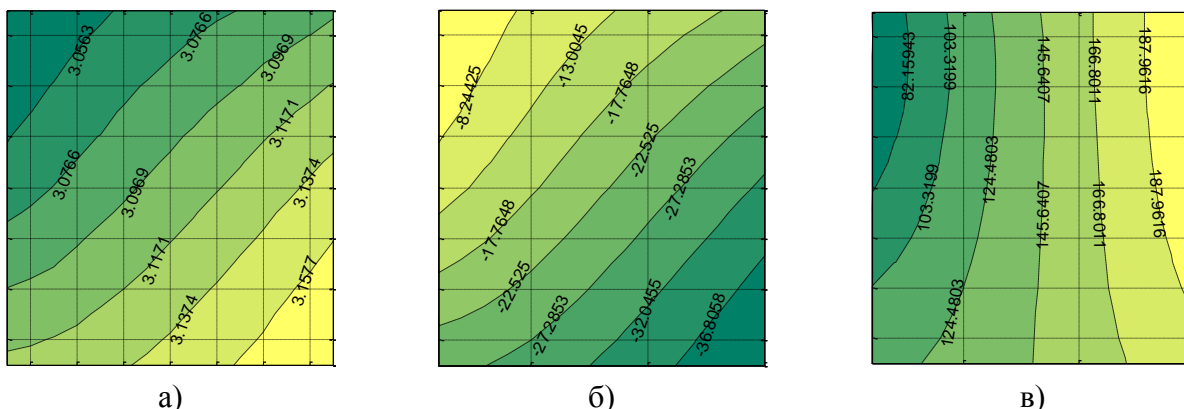


Рис 3. Значения $\delta\hat{x}$ (а), $\delta\hat{y}$ (б) и $\delta\hat{z}$ (в) при оценивании координат ОН 1-м и 2-м СИ

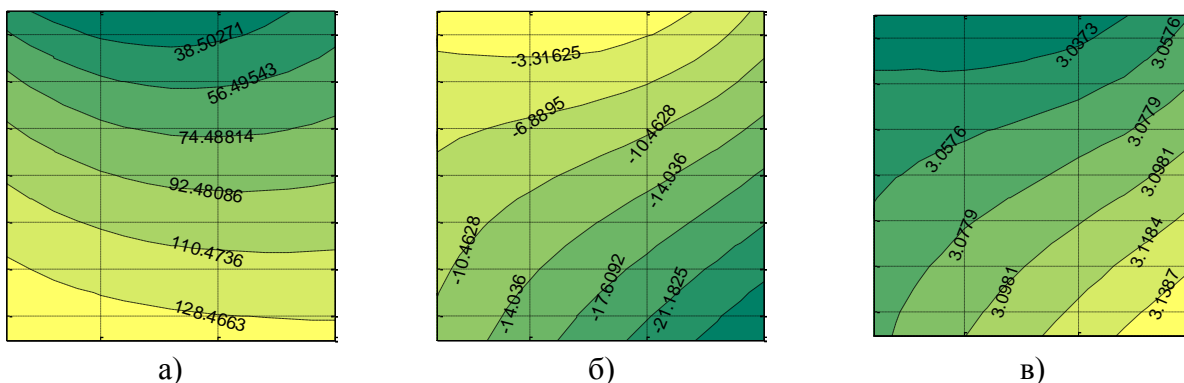


Рис 4. Значения $\delta\hat{x}$ (а), $\delta\hat{y}$ (б) и $\delta\hat{z}$ (в) при оценивании координат ОН 1-м и 3-м СИ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, разработанный методический подход к определению систематических составляющих погрешностей оценок параметров движения ОН может применяться при математическом моделировании функционирования СИ в составе ПИК или систем контроля воздушного (космического) пространства, а рассчитанные с его использованием значения систематических составляющих погрешностей оценок параметров движения ОН позволяют определить влияние различных факторов на точность оценивания параметров его движения.

Кроме того, полученные результаты могут использоваться в задачах оценивания готовности ПИК к обеспечению испытаний образцов вооружения с использованием комплексного показателя точности [2, 6].

Результаты анализа градиентов рассчитанных систематических составляющих погрешностей оценок параметров движения ОН для заданных областей могут являться исходными данными при решении оптимизационных задач формирования планов наблюдений с учетом состава и расположения разнородных СИ, точности их работы, состава измеряемых параметров, а также с учетом видов систематических погрешностей измерений, вызванных различными источниками.

Список используемых источников

1. Космические траекторные измерения. Радиотехнические методы измерений и математическая обработка данных / под ред. П.А. Агаджанова, В.Е. Дулевича, А.А. Коростелева. – М.: Сов. радио, 1969. – 411 с.
2. Буренок В.М., Найденов В.Г., Поляков В.И. Математические методы и модели в теории информационно-измерительных систем. – М.: Машиностроение, 2011. – 336 с.
3. Жданюк Б.Ф. Основы статистической обработки траекторных измерений. – М.: Сов. радио, 1978. – 384 с.
4. Основы радионавигационных измерений / под ред. Н.Ф. Ключева. – М.: МО СССР, 1987. – 429 с.
5. Мудров В.И., Кушко В.Л. Методы обработки измерений – М.: Радио и связь, 1983. – 303 с.
6. Крупский К.А., Лабецкий П.В., Успенский К.К. К вопросу оценивания готовности траекторного измерительного комплекса испытательного полигона к обеспечению испытаний образцов вооружения // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2016. – Вып. 652. – С. 83–90.

Д.Р. Абсалямов,

доктор техн. наук;

Р.Н. Аитов;

П.В. Дружинин,

доктор техн. наук, профессор

Военный институт (инженерно-технический) ВА МТО имени генерала армии А.В. Хрулева,

г. Санкт-Петербург

ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОНОМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЗА СЧЕТ ОПТИМАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ДИЗЕЛЬ- ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ С АСИНХРОНИЗИРОВАННЫМ СИНХРОННЫМ ГЕНЕРАТОРОМ

Предлагается подход энергоресурсосбережения на автономных источниках электроснабжения наземных комплексов космического назначения за счет оптимального регулирования частоты вращения дизель-генераторов с асинхронизированным синхронным генератором в зависимости от нагрузки. Рассматриваются технико-экономические показатели автономных источников электроснабжения, характеризующие их работу при переходе на использование генераторов с переменной частотой вращения в технических системах наземных комплексов. Представлены впервые полученные регрессионные модели, характеризующие зависимость технико-экономических показателей от частоты вращения и эффективной мощности. Новизна метода заключается в использовании новой модели энергоресурсопотребления дизель-генераторной установкой с генератором на основе машины двойного питания, полученной экспериментальным путем и позволившей разработать адаптивную систему управления удельным эффективным расходом топлива, обеспечивающую минимальный расход топлива при переменной нагрузке.

Ключевые слова: дизель-электрическая установка, переменная частота вращения, энергоэффективность.

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее эффективный способ улучшения технико-экономических показателей дизель-генераторов (ДГ) на долевых нагрузках, как известно [1–3], – это уменьшение частоты вращения n при снижении нагрузки p . Стабилизация частоты вырабатываемой энергии f в такой дизель-электрической установке (ДЭУ) может быть достигнута при использовании автономного асинхронно-полупроводникового каскада (ААПК) [1].

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК С ПЕРЕМЕННОЙ ЧАСТОТОЙ ВРАЩЕНИЯ

Для подтверждения возможности использования ААПК в ДЭУ авторами была создана экспериментальная установка (рис. 1). Установка выполнена на базе ДГ-25/1-2 с дизелем типа 4Ч10,5/13 и ААПК, оборудована необходимыми контрольно-измерительными приборами и нагрузочным устройством, которое позволяло изменять нагрузку плавно и скачком.

Базовый ДГ был испытан с синхронным генератором (СГ) по нагрузочной характеристике при синхронной частоте вращения 1500 об/мин. Результаты исследования базового ДГ использовались только для сравнения с результатами, полученными при исследовании ДГУ с ААПК.

В ААПК в качестве электромеханического преобразователя (генератора) применялась асинхронная машина с фазным ротором, возбуждаемая со стороны ротора переменным током с частотой скольжения. В настоящее время промышленностью специально для генера-

торного режима асинхронные машины не выпускаются, поэтому в экспериментальной установке использовался переоборудованный собственными силами выпускаемый серийно асинхронный двигатель типа АОК-2-72-4, в котором были выполнены следующие изменения: на место контактных колец была установлена полумуфта для соединения ротора генератора с валом возбудителя, сверху на полумуфте закреплены контактные кольца. Это потребовало изменить конструкцию соединения контактных колец с обмотками ротора.

Для возбуждения асинхронизированного генератора (АГ) использовалась полупроводниковая система формирования частоты скольжения в роторе АГ, структурная схема которой представлена на рис. 1. В качестве секционированного синхронного возбудителя (ССВ) использовали синхронный генератор типа ЕСС-62-4, статорная обмотка которого секционирована и состоит из шести трехфазных обмоток (секций). Каждая секция одними выводами подключена к соответствующему полупроводниковому ключу, а другими (с учетом требуемой очередности следования фаз) – к кольцам ротора АГ.

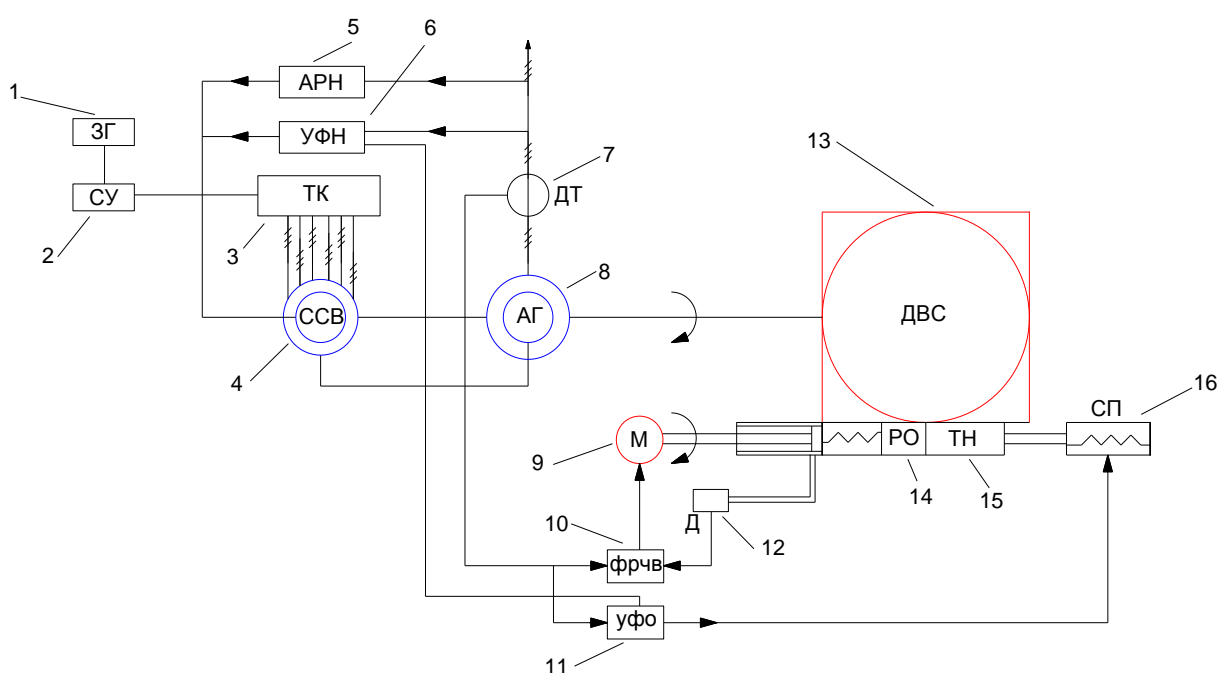


Рис. 1. Структурная схема экспериментальной ДЭУ с ААПК:

1 – задающий генератор; 2 – схема управления; 3 – тиристорный коммутатор; 4 – секционированный синхронный возбудитель; 5 – автоматический регулятор напряжения; 6 – устройство форсировки напряжения; 7 – датчик тока; 8 – асинхронизированный генератор; 9 – сервомотор; 10 – функциональный регулятор частоты вращения; 11 – устройство форсировки напряжения; 12 – датчик положения; 13 – двигатель внутреннего сгорания; 14 – регулятор оборотов; 15 – топливный насос; 16 – соленоидный привод

Каждый полупроводниковый ключ представляет собой трехфазный диодный мост с силовым тиристором в диагонали моста и служит для периодических замыканий и размыканий нулевых точек звезд (секций). Полупроводниковые ключи и устройство искусственной коммутации, служащее для выключения тиристоров, составляют полупроводниковый тиристорный коммутатор (ТК).

Управление ТК осуществляется схемой управления (СУ), состоящей из задающего генератора (ЗГ), вырабатывающего сигналы с требуемой частотой следования, и пересчетного устройства, распределяющего сигналы управления в требуемой последовательности по рабочим тиристорам ТК.

Особенность данной системы возбуждения состоит в том, что на ее выходе при любой частоте вращения вала генератора автоматически образуется частота скольжения. При этом система автоматического регулирования частоты вращения дизеля получается разомкнутой, а частота вырабатываемой электроэнергии поддерживается стабильной, с точностью, обеспечиваемой задающим генератором схемы управления.

Стабильность выходного напряжения АГ обеспечивалась с помощью автоматического регулятора напряжения (АРН); помимо АРН в динамических режимах при набросах больших нагрузок (более половины номинальной) на малых частотах вращения применялось устройство форсировки напряжения (УФН). Регулирование частоты вращения осуществлялось функциональным регулятором частоты вращения (ФРЧВ). ФРЧВ, получая сигналы от датчика положения (Д) регулятора оборотов (РО) и датчика тока (ДТ), формировал сигнал управления на сервомотор (М). Для обеспечения устойчивости регулирования частоты вращения ДВС при набросах нагрузки применено устройство форсировки оборотов (УФО), формирующее сигналы управления на устройство форсировки напряжения (УФН) и соленоидный привод (СП) рейки топливного насоса (ТН).

В исследованиях использовалась новая энергоустановка, генераторная часть которой имеет характеристики, отличные от СГ, а ДВС – более широкие возможности изменения частоты вращения и регулирования. Основная задача экспериментальных исследований – определение оптимального закона регулирования $n = f(N)$. Эта задача значительно усложнялась многофакторностью эксперимента, так как для ДВС и генераторной части оптимальный вид характеристик $n = f(p)$ несколько различен. Для получения объективной информации и большей достоверности последующих обобщений был использован метод математического планирования эксперимента, позволивший значительно сократить объем исследований.

Учитывая задачи экспериментальных исследований, определение характеристик ДЭУ с АГ в возможно более широком диапазоне изменения мощности и частоты вращения, за основу принят метод двухфакторного математического планирования.

Надо отметить, что на параметры работы дизеля при переменных мощности и частоте вращения может существенно влиять установочный угол опережения $\Phi_{оп}$ подачи топлива. Однако для практической реализации улучшения технико-экономических показателей ДГУ путем изменения $\Phi_{оп}$ необходима доработка конструкции дизеля, участвующего в экспериментальных исследованиях, т.е. установка муфты автоматического изменения угла опережения подачи топлива. В процессе экспериментальных исследований прежде всего преследовалась цель – показать, что даже при минимальных изменениях в конструкции дизеля или даже без его изменения применение ААПК в ДЭУ позволяет существенно улучшить их технико-экономические показатели.

ПОРЯДОК ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРАХ С ПЕРЕМЕННОЙ ЧАСТОТОЙ ВРАЩЕНИЯ

Для выполнения исследований был принят ортогональный центральный композиционный план (ОЦКП) двухфакторного эксперимента:

- первый фактор x_1 – частота вращения;
- второй x_2 – мощность ДГ с АГ.

Результаты расчета определялись в виде полинома второго порядка [4]

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2. \quad (1)$$

При построении плана эксперимента для факторов в центре плана x_{0i} и интервалов их варьирования Δx_i , были приняты следующие значения: $x_{01} = 1400$ об/мин, $\Delta x_1 = 200$ об/мин. Верхний предел частоты вращения ДГУ (1600 об/мин) выбран из-за максимальной паспортной частоты вращения дизеля, нижний (1200 об/мин) – из-за резкого насыщения железа воз-

будителя при снижении частоты вращения ниже 1200 об/мин, что приводит к ухудшению качества напряжения. Значит,

$$\begin{aligned}x_{02} &= 11,5 \text{ кВт}; \\ \Delta x_2 &= 9,5 \text{ кВт}.\end{aligned}$$

План эксперимента со значениями факторов в некодированном виде и средние значения результатов его реализации будут приведены в табл. 1.

Для вычисления коэффициентов регрессии была использована программа, разработанная для ЭВМ. В качестве исходных данных для расчетов по разработанной программе использовались среднеарифметические значения контролируемых параметров по данным трех измерений на установившемся режиме. В результате расчетов получены уравнения регрессии следующих видов:

– удельный расход топлива

$$g_{eДГУ} = 0,475 + 0,052x_1 + 0,676x_2 + 0,069x_1x_2 + 0,015x_1^2 + 0,587x_2^2; \quad (2)$$

– температура выхлопных газов

$$t_T = 247,1 - 21,7x_1 + 119,7x_2 + 36,0x_1x_2 + 8,3x_1^2 + 3,4x_2^2; \quad (3)$$

– коэффициент избытка воздуха

$$\alpha = 2,182 + 0,158x_1 - 1,039x_2 + 0,054x_1x_2 - 0,088x_1^2 + 0,276x_2^2; \quad (4)$$

– КПД АДГ

$$\eta_{eДГУ} = 18,02 - 0,35x_1 + 8,35x_2 + 0,43x_1x_2 - 0,21x_1^2 - 4,41x_2^2; \quad (5)$$

– механический КПД дизеля

$$\eta_M = 66,957 - 2,381x_1 + 20,931x_2 + 1,347x_1x_2 - 0,1x_1^2 - 14,85x_2^2; \quad (6)$$

– цикловая подача топлива

$$g_{Ц} = 33,090 - 4,317x_1 + 15,030x_2 + 2,417x_1x_2 + 0,833x_1^2 + 1,665x_2^2; \quad (7)$$

где

$$x_1 = \frac{n - 1400}{200}; \quad x_2 = \frac{p_H - 11,5}{9,5}.$$

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ В ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРАХ С ПЕРЕМЕННОЙ ЧАСТОТОЙ ВРАЩЕНИЯ

Полученные математические модели позволяют построить различные универсальные характеристики и проанализировать показатели ДГУ в широких интервалах варьирования факторов. На рис. 2 представлена универсальная характеристика экспериментальной ДГУ, описанная линиями постоянного удельного эффективного расхода топлива $g_{eДГУ}$, построенная по уравнению регрессии (2).

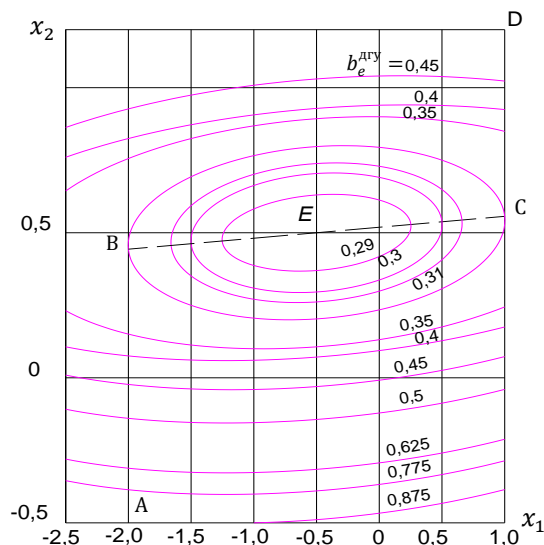


Рис.2. Универсальные характеристики ДГУ с АГ мощностью $P_H = 22$ кВт

Исследование уравнения (2) на экстремум показывает, что поверхность отклика (изменения $g_{eDГУ}$) представляет собой эллиптический параболоид с экстремальной точкой E (рис. 2) с координатами $x_1 = -0,47$, $x_2 = 0,55$. В этой экстремальной точке $g_{eDГУ} = 0,278$ кг/(кВт*ч).

При любой нагрузке минимальный удельный расход топлива имеет место при определенной частоте вращения (табл. 1). Для обеспечения минимального эксплуатационного расхода топлива следует частоту вращения изменять по зависимости

$$x_1 = 14,52x_2 - 8,46. \quad (8)$$

Таблица 1

**План эксперимента со значениями факторов в некодированном виде
и средние значения результатов эксперимента**

Уровни факторов		Измеряемые величины									
Частота вращения, об/мин	Нагрузка, кВт	$g_{eDГУ}$, кг/(кВт*ч)	$t_{г}$, °C	$\bar{\alpha}$	$\bar{\eta}_H$	$\bar{\eta}_e$	$\bar{\eta}_{eDГУ}$	$\bar{\eta}_Г$	$\bar{\eta}_I$	$\bar{\eta}_M$	$g_{II} 10^{-3}$, мг/цикл
1200	2,0	1,625	160	3,32	0,79	11,6	5,7	49,0	34,0	34,0	22,6
1600	2,0	1,900	174	3,50	0,76	10,6	4,5	45,0	34,0	29,4	19,8
1200	21,0	0,400	480	1,14	0,73	16,86	21,5	80,0	37,0	72,6	58,4
1600	21,0	0,399	350	1,54	0,72	27,16	22,0	81,0	37,0	73,4	44,0
1200	11,5	0,465	260	1,90	0,73	24,67	18,5	75,0	34,5	71,5	37,2
1600	11,5	0,508	246	2,27	0,75	22,57	17,1	76,0	37,0	61,0	30,5
1400	2,0	1,725	168	3,50	0,77	10,50	5,2	50,0	35,0	30,0	20,5
1400	21,0	0,391	390	1,40	0,75	27,00	22,0	81,5	37,0	73,0	48,8
1400	11,5	0,485	252	2,20	0,75	24,48	18,0	73,5	36,0	68,0	33,2

С учетом ограничения минимальной частоты вращения по условию обеспечения требуемого качества электроэнергии при набросах нагрузки и максимальной частоты по условиям прочности дальнейший анализ рабочих параметров проводится в предположении, что ДГУ имеет следующее регулируемые частоты вращения:

- 1) при $0 \leq P_H \leq 15$ кВт ($-1,21 \leq x_2 \leq 0,42$) $n=1000$ об/мин=const ($x_1 = -2$);
- 2) при $15 \leq P_H \leq 18$ кВт ($0,42 \leq x_2 \leq 0,68$) $n = \text{var}$;
- 3) при $P_H \geq 18$ кВт $n=1600$ об/мин=const ($x_1 = +1$).

При таком регулировании частоты вращения приведенные в уравнениях (2)–(7) параметры будут иметь следующие зависимости от x_2 :

– при $1,21 \leq x_2 \leq 0,42$ ($x_1 = -2$)

$$g_{eДГУ} = 0,431 - 0,538x_2 + 0,587x_2^2, \quad (9)$$

$$t_{Г} = 324 + 192x_2 + 34,4x_2^2, \quad (10)$$

$$\alpha = 1,5 - 1,15x_2 + 0,28x_2^2, \quad (11)$$

$$\eta_{eДГУ} = 17,9 + 7,5x_2 - 4,4x_2^2, \quad (12)$$

$$\eta_{М} = 71,3 + 18,2x_2 - 14,8x_2^2, \quad (13)$$

$$g_{Ц} = 45 + 19,9x_2 + 1,7x_2^2; \quad (14)$$

– при $0,42 \leq x_2 \leq 0,68$ (когда $x_1 = -14,52, x_2 = 8,46$)

$$g_{eДГУ} = 1,1 - 3x_2 - 2,75x_2^2, \quad (15)$$

$$t_{Г} = 1025 - 1930x_2 + 1261x_2^2, \quad (16)$$

$$\alpha = -5,5 + 22,4x_2 - 17,5x_2^2, \quad (17)$$

$$\eta_{eДГУ} = 6 + 51,2x_2 - 42x_2^2, \quad (18)$$

$$\eta_{М} = 79,9 - 0,5x_2 - 16,3x_2^2, \quad (19)$$

$$g_{Ц} = 130 - 0,745x_2 + 141x_2^2; \quad (20)$$

– при $0,68 \leq x_2 \leq 1,34$ ($x_1 = +1 = \text{const}$)

$$g_{eДГУ} = 0,542 - 0,745x_2 + 0,587x_2^2, \quad (21)$$

$$t_{Г} = 234 - 84x_2 + 34,4x_2^2, \quad (22)$$

$$\alpha = 2,25 - 0,98x_2 + 0,28x_2^2, \quad (23)$$

$$\eta_{eДГУ} = 17,64 + 8,78x_2 - 4,4x_2^2, \quad (24)$$

$$\eta_{М} = 64,48 - 22,28x_2 - 14,85x_2^2, \quad (25)$$

$$g_{Ц} = 29,6 + 12,6x_2 + 1,7x_2^2. \quad (26)$$

По уравнениям (2)–(4) построены графики изменения параметров в зависимости от нагрузки (на рис.3 – пунктирные линии). Для сравнения на этом же рисунке сплошными линиями показаны изменения соответствующих параметров ДГУ с СГ, работающей по нагрузочной характеристике при $n = 1500$ об/мин = const.

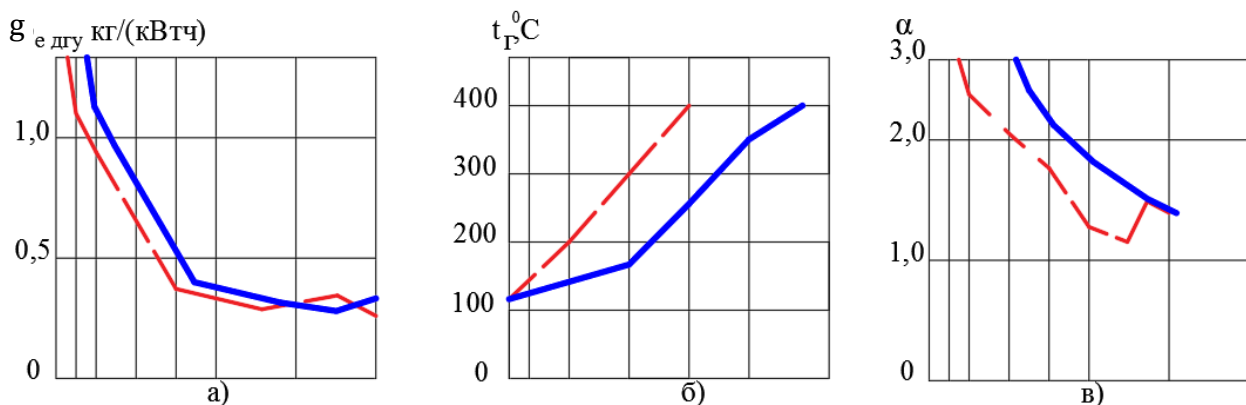


Рис.3. Зависимости $g_{eДГУ}$ (а), $t_{Г}$ (б), α (в) от нагрузки при $n = \text{var}$

Как видно из рис. 3,а, на абсолютном большинстве нагрузочных режимов ДГУ с АГ оказываются экономичнее ДГУ с СГ, причем разница в $g_e^{\text{ДГУ}}$ составляет десятки единиц.

Основная причина повышения экономичности ДГУ с АГ – увеличение механического КПД (13, 19, 25) вследствие уменьшения мощности механических потерь из-за снижения частоты вращения. Кроме того, благодаря меньшему изменению цикловой подачи (14, 20, 26) и коэффициента избытка воздуха (11, 17, 23) на средних нагрузках наблюдаются меньшие изменения индикаторного КПД и теплового состояния деталей двигателя. Последнее косвенно подтверждается характером изменения температуры отработавших газов (10, 16, 22).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При нагрузках, близких к номинальной, удельный расход топлива ДГУ с АГ несколько больше, чем у ДГУ с СГ. Однако если учесть, что суммарное время работы ДГУ на этих режимах очень мало, то это не приведет к увеличению расхода топлива во время эксплуатации. Расчеты показывают, что при интегральных распределениях относительного времени работы ДГУ при различных нагрузках, принятых в работе [1], применение АГ, позволяющего обеспечить требуемое качество электроэнергии при функциональном регулировании частоты вращения по оптимальной зависимости $n = f(p_e)$ (по линии *ABCD* на рис. 2), дает возможность:

- уменьшить расход топлива во время эксплуатации на 8,5–22%;
- снизить на 15% расход масла на угар и увеличить расчетный ресурс дизеля в 1,2–1,5 раза.

Испытания экспериментальной установки в динамических режимах (сброс и наброс нагрузки) показали, что переходные процессы таких ДГУ имеют удовлетворительные показатели.

Список используемых источников

1. Дружинин П.В., Чмилъ В.П. Перспективы развития энергоисточников транспортных средств. – СПб.: ВИТУ, 2004. – 110 с.
2. Абсалямов Д.Р., Литвинов А.А., Теряшов А.И. Применение дизель-генераторных установок с переменной частотой вращения в системах гарантированного электропитания наземных комплексов космического назначения // Труды всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы создания и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники». – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2012. – Т.1.– С.120–124.
3. Обеспечение надежности систем гарантированного электропитания наземных комплексов космического назначения методом формализации поиска отказов и выбора минимального множества контролируемых признаков / Д.Р. Абсалямов., Р.Н. Аитов, М.А. Марченко, А.А. Левчук // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 1. – С. 9–14.
4. Винарский М.С., Лурье М.В. Планирование эксперимента в технологических исследованиях. – Киев: Техника, 1975. – 167 с.

А.П. Алёшкин,

доктор техн. наук, профессор;

Р.Ю. Бородулин,

кандидат техн. наук

Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного,

г. Санкт-Петербург;

В. М. Гусаков,

кандидат техн. наук

МЕТОДИКА КОНСТРУКЦИОННОГО СИНТЕЗА ЭЛЕКТРИЧЕСКИ МАЛЫХ АНТЕНН

Рассмотрены примеры конструкционного синтеза антенн малых электрических размеров исходя из физических принципов излучения данного типа антенн. Приводятся результаты численного анализа входных сопротивлений и коэффициента стоячей волны синтезированных антенн на примере антенн плоскостного типа, поясняются причины увеличения широкополосных свойств. Раскрываются особенности конструкционного синтеза антенн малых электрических размеров, проводимого за счет управления их амплитудно-фазовым распределением токов. Рассмотрен пример практической реализации с экспериментальным подтверждением заявленных характеристик.

Ключевые слова: конструкционный синтез, антенны малых электрических размеров, емкость антенны, конструкционные параметры, входное сопротивление, коэффициент стоячей волны.

Электрически короткие антенны играют крайне важную роль в технике радиосвязи. По определению Щелкунова [1] короткими называют антенны, у которых длина намного превосходит ширину и толщину, оставаясь значительно меньше длины волны λ .

Другими словами, короткие антенны можно назвать антеннами электрически малых размеров, меньших длины волны. К данному классу антенн можно отнести любые антенны, являющиеся, например, элементами антенных решеток, излучателями подвижных и переносных радиостанций, и даже стационарные мачтовые антенны нижних диапазонов.

Исходя из современных представлений, антеннами малого электрического размера можно считать излучатели, для которых радиус окружающей их сферы меньше половины длины возбуждающей волны [2].

Конструкционный синтез (КС) антенн, активно развивающийся в настоящее время, заключается в формировании конструкционных параметров выбранного прототипа антенны малого электрического размера, подборе подходящего оптимизационного алгоритма и задании физически обоснованных ограничений допустимой области поиска значений данных параметров [3–7 и др.].

Конструкционный синтез – процесс решения многопараметрической оптимизационной задачи, заключающейся в направленном поиске выгодных амплитудно-фазовых распределений токов за счет частично контролируемого управляющего воздействия оптимизационным алгоритмом на выделенные специальным образом конструкционные параметры излучающей поверхности синтезируемой антенны малых электрических размеров.

При помощи КС ищется решение обратной внутренней задачи электродинамики, заключающейся в нахождении неявных функций амплитудно-фазового распределения токов антенны.

Излучающая поверхность синтезируемых антенн, за счет их малых размеров, оказывается частично совмещенной с «согласующим устройством» и с «распределителем». За счет этого рациональное воздействие на выделенные конструкционные параметры позволяет реализовать дополнительные возможности согласования и возбуждения токов.

Для пояснения процесса КС рассмотрим эквивалентную схему несимметричной вибраторной антенны в виде цепочки колебательных контуров, каждый из которых настроен на свою резонансную частоту и имеет свою полосу пропускания (рис. 1).

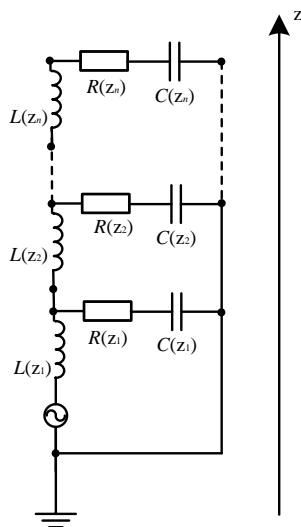


Рис. 1. Эквивалентная схема несимметричной вибраторной антенны

В диапазоне рабочих частот положение вдоль оси z наибольшей концентрации токов определяется совпадением конкретной частоты данного диапазона с резонансной частотой конкретного колебательного контура. При этом возбуждаться будут и соседние, близкие к резонирующему, контуры, поскольку поверхность антенны сплошная.

Для нижних частот диапазона резонирующие «контур» располагаются в верхней части антенны, для верхних частот – в нижней. Как показывает практика, для достаточно широких рабочих полос частот взаимодействие между удаленными верхними и нижними «контурами» относительно слабое.

Следуя работе Щелкунова [1], общую емкость антенны C_A можно представить в виде произведения распределенных емкостей контуров $C(z)$ на общую высоту h антенны:

$$C_A = C(z)h \approx \frac{\pi\epsilon h}{\ln(2h/a)}, \quad (1)$$

где a – эквивалентный радиус антенны.

Выражение (1) показывает, что общая емкость антенны малых электрических размеров зависит от распределенной емкости и определяется, в том числе, эффективным радиусом антенны. Более толстые антенны имеют большую общую емкость.

Докажем следующее теоретическое положение. Изменение радиуса антенны в конкретном ее сечении приводит к эквивалентному изменению емкостей, входящих в состав соответствующего определенной высоте сечения контура. Автоматически изменяются емкости и соседних с ним контуров. Назовем данный процесс частично контролируемым управляющим воздействием на амплитудно-фазовое распределение токов излучающей поверхности антенны. Частичность контроля определяется невозможностью предсказания характера изменения емкостей соседних контуров, что требует применения оптимизационного управления ими. Тем не менее даже частичное «ручное» управление концентрацией токов в нужном месте антенны приводит к возможности реализации качественно новых свойств антенн малых размеров: миниатюризации, улучшения согласованности, реализации необходимой направленности излучения в широкой полосе рабочих частот. В этом заключается процесс КС.

В качестве общего примера рассмотрим плоскостную несимметричную антенну малых электрических размеров с постоянной шириной L антенного полотна. Назовем данную антенну исходной. Пусть антенна будет изначально склонна к широкополосности за счет своих

конструкционных особенностей. Для этого выберем ее ширину практически равной высоте $h = 0,8L$.

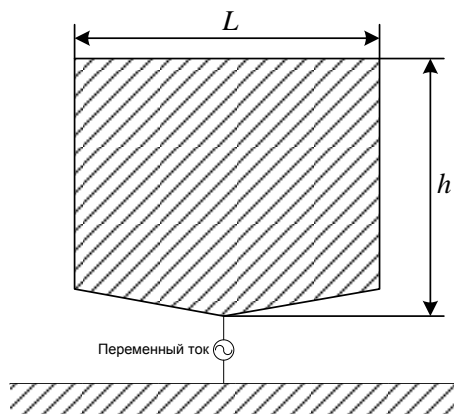


Рис. 2. Общий вид исходной антенны

Произведем электродинамический анализ данной антенны любым подходящим методом в некоторой полосе рабочих частот. Полученное входное сопротивление Z_A антенны имеет емкостной характер во всем рассматриваемом диапазоне частот (рис. 3).

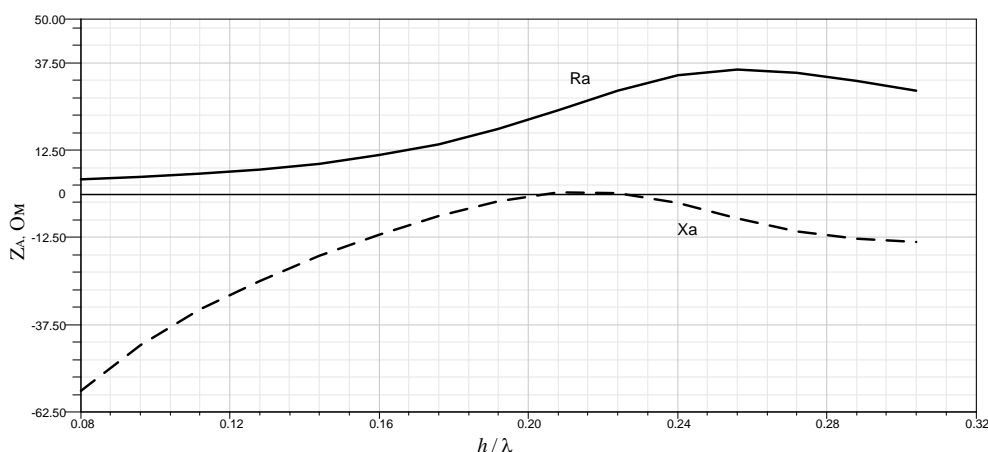


Рис. 3. Зависимости входного сопротивления

Видно, что в рассматриваемом диапазоне активная составляющая входного сопротивления не достигает больших значений: она плавно увеличивается до величины порядка 37,5 Ом вплоть до частоты, соответствующей длине волны $\lambda = 3,9 h$. Для обычного тонкого несимметричного вибратора данный «пик» имел бы большие значения и соответствовал бы половине длины волны, однако большая ширина излучающей поверхности рассматриваемой антенны сдвинула его в нижнюю часть частотного диапазона.

При таком входном сопротивлении коэффициент стоячей волны (КСВ) антенны относительно 50 Ом фидера не является приемлемым: если руководствоваться граничной его величиной, равной 2, то рабочая полоса частот антенны будет лежать в пределах $h/\lambda = 0,2 \div 0,3$, что в принципе соответствует области первого резонанса обычного несимметричного вибратора увеличенной толщины (рис. 4).

Данный факт говорит о необходимости снижения волнового сопротивления фидера либо подключении согласующего устройства, трансформирующего волновое сопротивление подключаемого 50 Ом фидера к более низким его значениям в широкой полосе рабочих частот антенны. Проверим это обстоятельство. Снижение волнового сопротивления фидера до 30 Ом привело к сдвигу нижней границы частотного диапазона до $h/\lambda = 0,19$ при частотном

перекрытии больше 2. Дальнейшее уменьшение волнового сопротивления фидера до 20 Ом позволило снизить нижний предел границы частотного диапазона до $h/\lambda = 0,173$ при предельном достижении допустимого КСВ в средней части диапазона. Дальнейшее снижение волнового сопротивления фидера приводит к полному рассогласованию антенны.

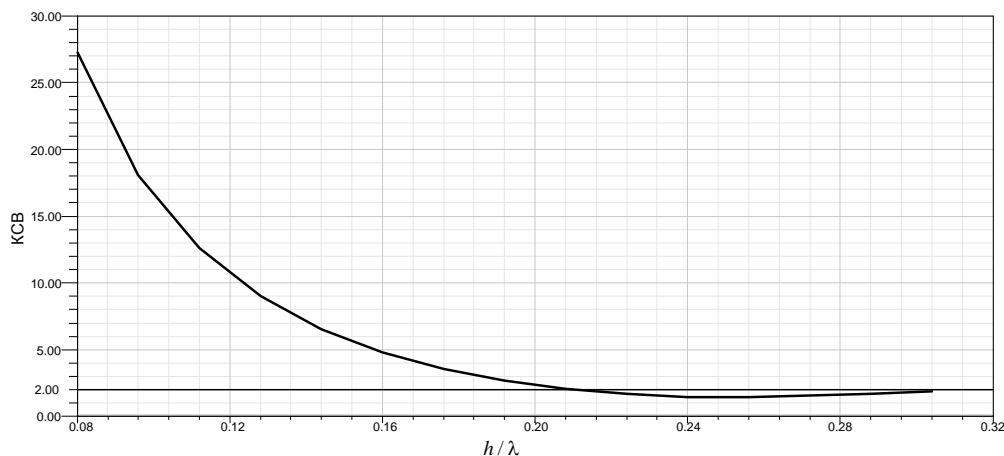


Рис. 4. График КСВ исходной антенны относительно 50 Ом

Таким образом, снижение волнового сопротивления фидера позволяет переместить рабочую полосу данной антенны в область более низких частот, не увеличивая ее общей высоты и ширины. Значение нижней границы рабочего диапазона $h/\lambda = 0,173$ является предельным для данного соотношения ширины и высоты антенны. Однако имеется возможность добиться похожего результата без использования согласующего устройства, в котором обязательно будут тепловые потери, снижающие КПД антенны. Для этого необходимо воспользоваться принципами КС.

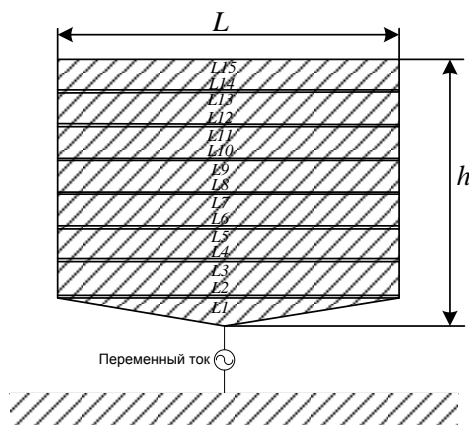


Рис. 5. Начальная сегментация исходной антенны

Разобьем полотно антенны на восемь сегментов одинаковой высоты (рис. 5). Сформируем конструкционные параметры излучающей поверхности антенны в виде взятых на выбранных высотах ширин сегментов, соответствующих эквивалентным радиусам сечений полотна антенны. Ширину антенны в нижней части ограничим минимумом, позволяющим сохранить неразрывную целостность полотна, в верхней части — величиной, равной $3h$ (порядка четверти длины волны, соответствующей нижней частоте рассматриваемого диапазона). С целью перемещения диапазона рабочих частот антенны в более низкую область осуществим управляющее воздействие, например на верхние четыре параметра $L1-L15$, подходящим оптимизационным алгоритмом. Число параметров может быть иным, главное, чтобы было

реализовано управляющее воздействие на соседние «контуры». Оптимизационный алгоритм должен учитывать в сформулированных специальным образом элементах целевой функции значения составляющих входного сопротивления рассматриваемого диапазона частот.

Если оптимизационный алгоритм выбран корректно, то в процессе синтеза будет наблюдаться контролируемая сходимость выбранных параметров к некоторому постоянному значению. В результате будет найден локальный экстремум целевой функции, который при рационально выбранных ограничениях управляемых параметров будет являться глобальным. Для рассматриваемого прототипа при 50 Ом питающей линии были получены следующие значения конструктивных параметров: $L_{12} / h = 0,98$; $L_{13} / h = 2$; $L_{14} / h = 2,18$; $L_{15} / h = 0,95$. Синтезированная антенна приняла форму модифицированной Т-образной антенны (рис. 6).

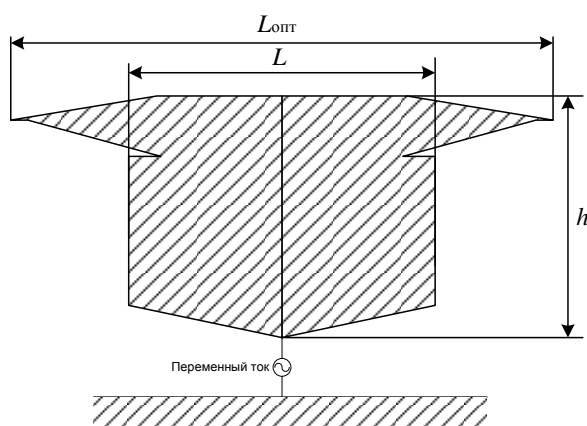


Рис. 6. Синтезированная антенна

Безусловно, общая ширина антенны $L_{\text{опт}}$ увеличилась почти в 2 раза. Однако при этом рабочая полоса частот антенны переместилась в более низкую область $h / \lambda = 0,18 \div 0,27$. Это видно при сравнении графиков КСВ (рис. 7).

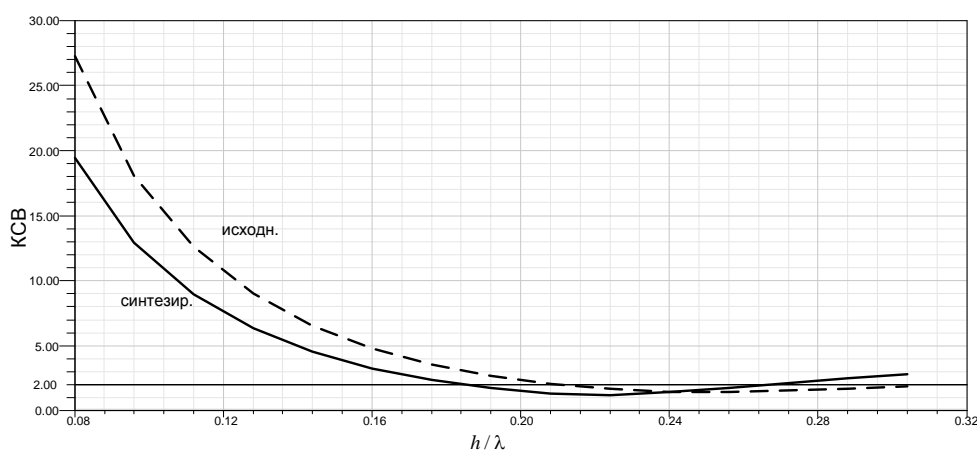


Рис. 7. Графики КСВ исходной и синтезированной антенн относительно 50 Ом

Перекрытие по частоте из-за фидера 50 Ом увеличилось незначительно. Оно стало равным 1,5 против 1,42 для исходного прототипа, что недостаточно для того, чтобы считать данную антенну широкополосной. Для широкополосных антенн данный параметр должен быть не менее 3. Анализ графиков входных сопротивлений исходной и синтезированной антенн показал сдвиг резонансного «пика» в нижнюю часть диапазона рабочих частот при увеличении значений активной составляющей R_A (рис. 8).

Данная составляющая стала ближе к волновому сопротивлению питающей линии 50 Ом, что положительно сказалось на величине перекрытия. Реактивная составляющая входного сопротивления X_A получила в некоторой части диапазона индуктивный характер, присущий более длинным антеннам, но эта индуктивность привела к снижению верхней граничной частоты диапазона за счет увеличения резонансности.

Сдвиг полосы рабочих частот данной антенны закономерен: полученная верхняя часть антенны является верхней емкостной нагрузкой, что приводит к увеличению действующей длины антенны, характерной для антенн вибраторного типа.

Похожие результаты можно получить утолщением цилиндрических вибраторов, однако их высота будет существенно больше высоты рассмотренной антенны за счет меньшего эквивалентного радиуса.

С помощью оптимизационного алгоритма получены постоянные значения выбранных конструктивных параметров. Оптимум оказался внутри допустимой области значений переменных ($L_{\text{опт}} < 3h$), а не на ее границе, что говорит о нелинейной зависимости широкополосных свойств данного типа антенн от выбранных конструктивных параметров (емкостей контуров).

Самый верхний «контур» был автоматически «подстроен» с учетом влияния нижних, поэтому ширина антенны в данной части оказалась меньше, чем ширина более низких частей.

Самый нижний «контур» дал отсечку токов за счет «ступеньки» в кромке антенны, что также диктуется автоматическим учетом влияния соседних «контуров». Такая отсечка позволила сохранить ширину полосы рабочих частот, даже немного ее увеличив, скомпенсировав при этом увеличившуюся индуктивность нижней части антенны.

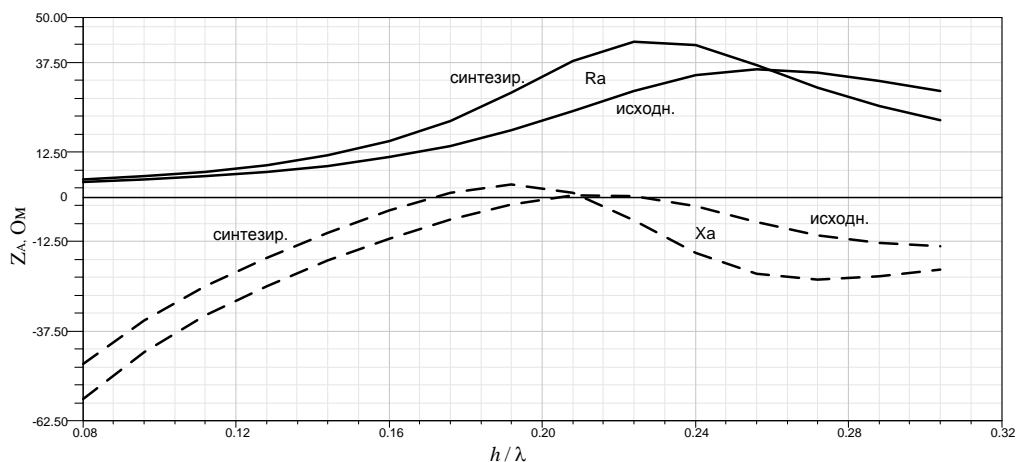


Рис. 8. Графики входных сопротивлений исходной и синтезированной антенн

Несколько расширить диапазон рабочих частот данного прототипа можно путем управления параметрами нижних «контуров». При этом необходимо учитывать нелинейность влияния управляемых параметров на соседние «контур».

По аналогии с предыдущим примером для управления амплитудно-фазовым распределением токов оптимизированной в предыдущем примере антенны выберем четыре нижних параметра $L1-L4$ (тем самым выбрав нижние «контур») [см. рис. 5].

Если оптимизационный алгоритм подобран корректно, то в процессе синтеза будет наблюдаться сходимость выбранных параметров к некоторому их постоянному значению. В результате будет найден глобальный экстремум целевой функции при конкретных значениях переменных конструктивных параметров, которые приняли следующий вид: $L1/h = 0,5$; $L2/h = 1$; $L3/h = 1,48$; $L4/h = 1,88$. Синтезированная антенна предстает в форме совмещен-

ных модифицированных Т-образных антенн, образующих единую излучающую поверхность (рис. 9).

Несмотря на то, что верхняя граница всех конструктивных параметров была принята равной $3h$, оптимум оказался внутри допустимой области ($L_{\text{опт1}} < 3h$), что доказывает нелинейность зависимости широкополосности антенны от заданных параметров.

Частотная зависимость входного сопротивления и КСВ также изменились (рис. 10).

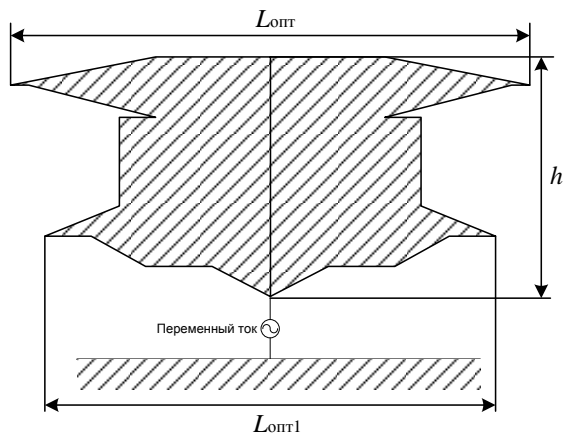


Рис. 9. Синтезированная антенна

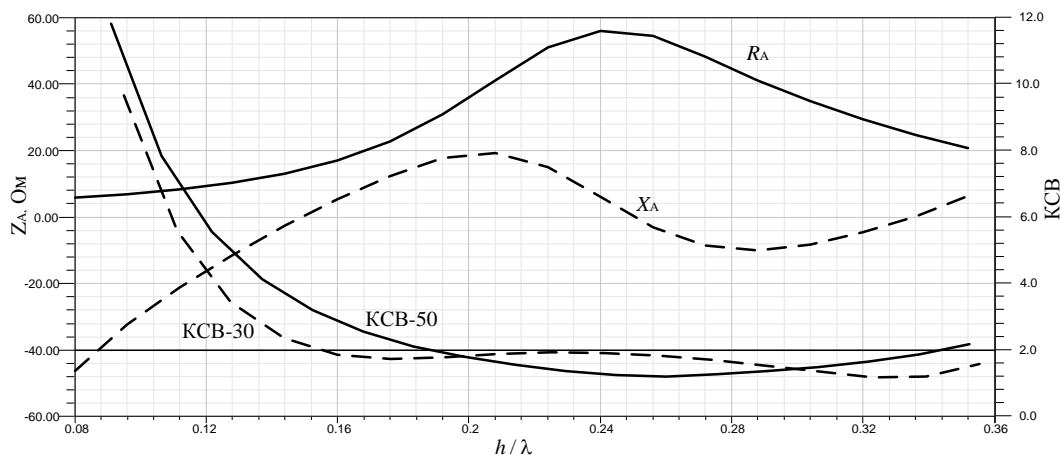


Рис. 10. Графики входных сопротивлений и КСВ синтезированной антенны

В процессе КС была задействована нижняя часть антенны, ближняя к области питания. Отсечка тока, характерная для верхней части не наблюдается: форма кромки нижней части пластины стала близка к конической, что существенно повлияло на ее широкополосные свойства. Активная составляющая R_A стала еще ближе к волновому сопротивлению питающей линии 50 Ом, что положительно сказалось на величине перекрытия. Реактивная составляющая входного сопротивления X_A получила более выраженный индуктивный характер и в верхней и в нижней части рабочего диапазона частот. Это кардинально повлияло на величину перекрытия по частоте. Для питающей линии с волновым сопротивлением 50 Ом (на рисунке обозначено как КСВ-50) величина перекрытия стала равной 1,75. Путем понижения волнового сопротивления линии питания до 30 Ом (на рисунке обозначено как КСВ-30) было получено перекрытие больше 3, что соответствует перекрытию широкополосных антенн. Данный результат достигнут в условиях неизменности общей ширины антенны. Удалось «повысить» волновое сопротивление питающего фидера при снижении граничной частоты рабочего диапазона антенны до предела $h/\lambda = 0,1475$.

В случае сплошной пластины с постоянной шириной $L/h = 2,18$ достигается тот же предел, однако при этом перекрытие составляет 2,5 при 20 Ом питающей линии, что является худшим результатом по сравнению с данными, полученными конструкционным синтезом. Более высокие или более низкие значения волнового сопротивления фидера приводят к снижению полосы рабочих частот. Переход к треугольной форме пластины увеличивает ее высоту [5].

В случае управления конструкционными параметрами средней части антенны можно улучшить ее согласованность, увеличив коэффициент перекрытия по частоте. Принятие дополнительных мер для повышения емкости антенны (например, использование горизонтальной пластины большой площади, припаянной к верхней части антенны) также может снизить ее общую высоту, однако необходимо понимать, что существуют физические ограничения, преодолеть которые можно только с использованием согласующих устройств, к сожалению, снижающих КПД антенны. Другими словами, возможности согласования совмещенной с «согласующим устройством» излучающей поверхности за счет изменения ее конфигурации имеют некий теоретический предел.

Широкополосность синтезируемой антенны обеспечивается наличием «верхних» емкостных нагрузок для ее отдельных частей, «номиналы» которых регулируются шириной сечений антенны на разных высотах. Поскольку полотно антенны неразрывно, «контуры» влияют друг на друга нелинейно. Общая емкость такой антенны увеличивается, что приводит к необходимости снижения волнового сопротивления питающей линии. Если бы антенна была выше, то и согласованность ее относительно 50 Ом была бы лучше за счет меньшей общей емкости антенны, как видно из формулы (1). При этом общая ширина антенны $L_{\text{опт}}$ была бы меньше.

Известно, что для описания работы электрически малых антенн часто используется искусственно вводимый параметр действующей (эффективной) длины l_d , который определяется выражением

$$l_d = \frac{1}{I_A} \int_0^h I(z) dz = \frac{hI_h}{I_A} - \frac{1}{I_A} \int_0^h z \frac{dI}{dz} dz, \quad (2)$$

где I_h – ток, близкий к концу антенны.

Следуя работе Щелкунова, члены, входящие в выражение (2), можно записать как

$$I_A = j\omega C_A U; \quad (3)$$

$$I_h = j\omega C_h U; \quad (4)$$

$$\frac{dI}{dz} = -j\omega C(z)U, \quad (5)$$

где U – напряжение генератора;

C_h – торцевая емкость.

Формула для действующей длины, выраженной через емкости, имеет следующий вид:

$$l_d = \frac{hC_h + \int_0^h zC(z)dz}{C_A} = \frac{hC_h + \int_0^h zC(z)dz}{C_h + \int_0^h C(z)dz}. \quad (6)$$

При анализе выражения (6) можно сделать вывод о том, что помимо общей высоты антенны решающую роль в формировании действующей длины играет распределенная емкость, поскольку торцевая емкость, как известно, имеет довольно малое значение в сравнении с распределенной. Другими словами, там, где не хватает длины антенны, может помочь распределенная емкость.

Примером удачной реализации КС плоскостных антенн является физический макет элемента фазированной антенной решетки, предназначенной для нужд радиоконтроля [8]. Антенна представляет собой несимметричный вибратор плоскостного типа, аналогичный рассмотренным выше (рис. 11).

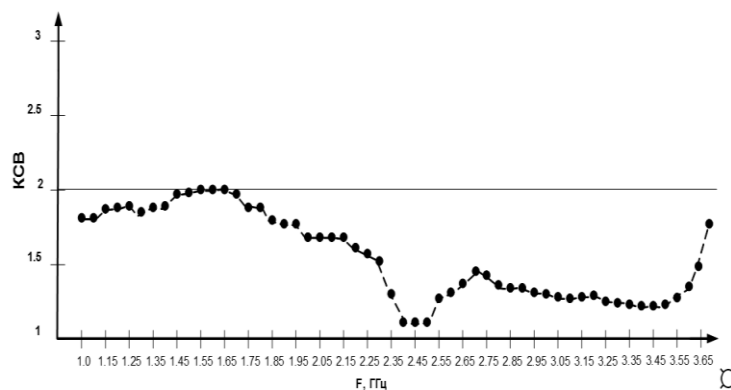


Рис. 11. Макет синтезированной антенны и ее КСВ в диапазоне частот относительно 50 Ом

Высота синтезированной антенны составила величину $0,375\lambda_{\text{сред}}$, максимальная ширина – $0,4\lambda_{\text{сред}}$. Диаграмма направленности в верхней части частотного диапазона оказалась близкой к обычной тороидальной форме, характерной для несимметричных антенн, что при таком размере антенны было вполне ожидаемо.

Большая высота антенны привела к уменьшению ее максимальной ширины, что позволило разместить большее число однотипных элементов в узлах решетки, уменьшив уровень боковых лепестков. Измеренное перекрытие по частоте данной антенны оказалось больше 3, что вполне достаточно для решетки, диаграмма которой имеет достаточно низкий уровень боковых лепестков.

В качестве общих выводов необходимо отметить следующее. Обоснована возможность управления амплитудно-фазовым распределением тока антенны малых электрических размеров, исходя из электродинамических свойств прототипа и рационального вычленения его конструкционных параметров. До настоящего времени управление амплитудно-фазовым распределением токов было доступно только для фазированных антенных решеток, т. е. антенн большого электрического размера.

Получены теоретические результаты, свидетельствующие о том, что общая емкость антенны влияет на ток на ее входе, который, в свою очередь, определяет вид частотной зависимости входного сопротивления. Эффективная длина антенны малых электрических размеров зависит от отношения совокупности распределенных емкостей к общей емкости антенны. Распределенные емкости играют роль распределенных емкостных нагрузок, работающих каждая в своем поддиапазоне рабочего диапазона антенны. Они влияют на величину действующей длины антенны, т. е. на распределение токов по ее излучающей поверхности.

Несмотря на то, что действующая длина антенны в большей степени зависит от ее общей высоты, распределенные емкости могут играть вспомогательно-корректирующую роль, направленную на получение улучшенных, качественно новых свойств электрически малых антенн.

Распределенные емкости зависят от эффективного радиуса в сечении антенны. Оптимальное варьирование радиусами приводит к «подстройке» распределенных емкостей и получению различного рода выигрышей для антенн малого электрического размера.

Главными этапами конструкционного синтеза являются [9]: подбор подходящего прототипа антенны, постановка ограничений на пространство поиска исходя из физической реализуемости амплитудно-фазового распределения токов; определение конструкционных

параметров, рациональный выбор их числа; формирование элементов целевой функции исходя из требуемых электрических характеристик синтезируемой антенны; выбор метода анализа и метода оптимизации; контроль сходимости оптимизационного процесса.

Список используемых источников

1. Фрикс Г. Антенны: Теория и практика / пер. с англ. С. Щелкунова; под ред. Л.Д. Бахраха. – М.: Сов. радио, 1955.
2. Stutzman W.L., Thiele G.A. Antenna Theory and Design – 3-rd ed. – N.Y.: John Wiley & Sons Inc, 2012.
3. Johnson J.M., R.-Samii Y. Genetic Algorithms and Method of Moments (GA/MOM) for the Design of Integrated Antennas // IEEE Trans. Ant. & Prop. – 1999. – Vol. 47, № 10. – P. 1606–1614.
4. A PSO-Driven Spline-Based Shaping Approach for Ultrawideband (UWB) Antenna Synthesis / L. Lizzi, F. Viani, R. Azaro, A. Massa // IEEE Trans. Ant. & Prop. – August 2008. – Vol. 56, № 8. – P. 2613–2621.
5. Бородулин Р.Ю., Сосунов Б.В. Конструкционный синтез элементов фазированных антенных решеток // Радиотехника, антенны, СВЧ-устройства. Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2013. – Вып. 2 (169). – С. 47–53.
6. Сосунов Б.В., Шеянов Д.Ю. Конструкционный синтез планарных излучателей // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований 2012». – Одесса: Черноморье, 2012. – Т. 6: Технические науки. – С. 44–46.
7. Бородулин Р.Ю., Лукьянов Н.О., Сосунов Б.В. Конструкционный синтез низкопрофильного излучателя метрового диапазона волн для железнодорожного транспорта // Информация и космос: научно-технический журнал. – 2015. – № 1. – С. 4–8.
8. Бородулин Р.Ю., Лукьянов Н.О., Сосунов Б.В. Конструкционный синтез плоскостного широкополосного излучателя генетическим алгоритмом // Информация и космос: научно-технический журнал. – 2014. – № 4. – С. 4–8.
9. Borodulin R.U., Sosunov B.V., Makarov S.B. Principles of Constructive Synthesis of Electromagnetic Wave Radiators // Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems. – 2016. – Vol. 9870 of the series Lecture Notes in Computer Science: Springer, 2016. – P. 717–730.

А.В. Бондарев,

кандидат техн. наук

ВА МТО имени генерала армии А.В. Хрулёва, г. Санкт-Петербург;

М.В. Кошечкин,

кандидат техн. наук

ВА МТО имени генерала армии А.В. Хрулёва, г. Санкт-Петербург

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕСУРСА СТЕНКИ СТАЛЬНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ПРИ МАЛОЦИКЛОВОМ НАГРУЖЕНИИ

Представлены результаты исследования по использованию методики прогнозирования ресурса стальных вертикальных резервуаров. На основании полученных результатов дано обоснование возможности применения способа прогнозирования ресурса стенки стальных вертикальных резервуаров при малоцикловом нагружении.

Ключевые слова: прогнозирование ресурса, резервуар, цикловое нагружение.

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшим условием, обеспечивающим сохранность нефтепродуктов на объектах нефтепродуктообеспечения, является безаварийная работа средств хранения горючего и смазочных материалов. Одним из эффективных способов поддержания высокой надежности технических средств службы горючего и увеличения времени их эксплуатации является обязательное применение на этапе эксплуатации различных методов контроля технического состояния стальных вертикальных резервуаров и методов определения остаточного ресурса.

В настоящее время разработано большое количество способов и методик диагностики состояния и прогнозирования ресурса стальных вертикальных резервуаров, каждый из которых используется для решения определенных задач. Для контроля за состоянием стенок резервуаров применяется визуальный и инструментальный контроль с последующим определением остаточного ресурса расчетным методом [1].

Для повышения эффективности метода прогнозирования ресурса стенки резервуара при эксплуатации предлагается использовать относительный коэффициент внутреннего трения материала, который определяется с использованием площади петли гистерезиса при заполнении и опорожнении резервуара [2, 3].

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Разрабатываемый метод решает задачу определения остаточного ресурса стенок стальных вертикальных резервуаров по параметрам малоциклового нагружения. В процессе эксплуатации, при заполнении и опорожнении, стенки резервуаров испытывают малоцикловые нагрузки. Цикл напряжений, действующий на стенку резервуара, приближается к экспоненциальному закону. Величины деформаций стенок резервуара при заполнении топливом и при опорожнении не совпадают, в результате возникает петля гистерезиса, по площади которой можно определить накопленную энергию в единице объема материала [4].

В зависимости от количества циклов величина площади петли гистерезиса вначале уменьшается до определенного значения, затем возрастает со стабилизацией и незначительным ростом микротрещин. Угол, образованный между касательной к функции $A=f(N_{ц})$ и

осью абсцисс, характеризует образование и рост микротрещин с последовательным изменением внутреннего трения в материале (рис. 1).

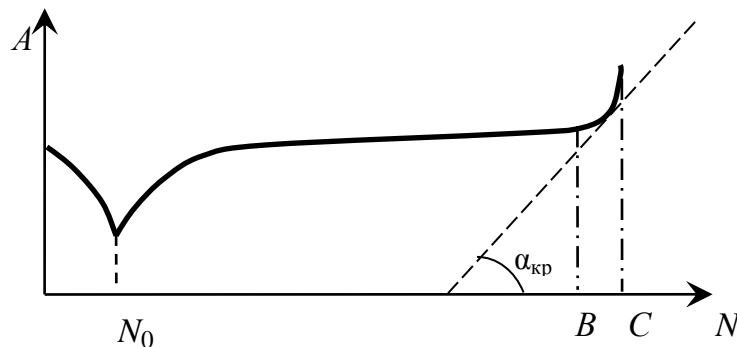


Рис. 1. Изменение площади петли гистерезиса $A=f(N_{ц})$:

A – площадь петли гистерезиса; N – количество циклов нагружения-разгрузки;
 N_0 – момент образования микротрещин; N_0-B – развитие трещин в толще металла; $B-C$ – лавинообразное раскрытие трещин; $\alpha_{кр}$ – критический угол

Процесс измерения величины деформации стенки стального вертикального резервуара проводится с помощью инструментальных методов диагностики при различных циклах нагружения-разгрузки путем наполнения и опорожнения резервуара в процессе эксплуатации. По измеряемому уровню жидкости вычисляется напряжение изгиба стенки стального вертикального резервуара, т.е. нагрузка, действующая на единицу площади, строятся петли гистерезиса, вычисляется их площадь и по ним определяются энергозатраты из выражения

$$J = f(A_{г}) = 2^{\pi} A_{г} \mu^{\sigma} \Phi V_{м} \kappa_{п} , \quad (1)$$

где $A_{г}$ – площадь петли гистерезиса;
 μ^{σ}, Φ – масштабные коэффициенты;
 $V_{м}$ – объем материала;
 $\kappa_{п}$ – коэффициент пропорциональности.

На рис.1 представлена характеристика $A_{г}=f(N_{ц})$. По данной зависимости определяем начало зарождения микротрещин N_0 и фон внутреннего трения φ при деформации металла:

$$\varphi = \frac{\Delta J_i}{J_{\max}} , \quad (2)$$

где ΔJ_i – текущее значение энергозатрат при деформации стенки резервуара;
 J_{\max} – максимальное значение энергозатрат для данного материала.

Точка N_0 (рис.1) характеризует начало зарождения первых микротрещин в толще металла стенки резервуара. На отрезке N_0-B происходит их развитие без угрозы аварии. Участок $B-C$ показывает увеличение энергозатрат, определяемых по площади петли гистерезиса, и снижение относительного коэффициента внутреннего трения λ материала, определяемого выражением вида

$$\lambda = 1 - \frac{\varphi_i}{\varphi_0} , \quad (3)$$

где φ_i, φ_0 – соответственно текущие и допускаемые значения фона внутреннего трения материала.

Оценивая зависимости функции, когда $J=f(N_{ц}) \rightarrow \max$ и $\lambda=f(N_{ц}) \rightarrow 0$, находят угол наклона кривой изменения площади петли гистерезиса, определяющий скорость образования и развития микротрещин в структуре металла, относительный коэффициент внутреннего трения λ . По ним прогнозируется остаточный ресурс стенки стального вертикального резервуара по

параметрам малоциклового нагружения. При достижении углом $\alpha_{кр}$, образованным касательной к функции и осью абсцисс, значения более 65° и приближении $\lambda=f(N_{ц})$ к нулю на стенке резервуара возникают лавинообразные микротрещины, при наличии которых резервуар необходимо вывести из эксплуатации для дальнейшей углубленной диагностики и ремонта.

На основе выполненных теоретических исследований можно проводить прогнозирование остаточного ресурса резервуара.

ЭКСПЕРИМЕНТ

В ходе исследований был проведен эксперимент по применению метода прогнозирования ресурса стенки стальных вертикальных резервуаров при малоцикловоом нагружении. В качестве тестовых образцов были использованы пластины из стали СтЗсп, нагружаемые с помощью кулачка Архимеда до образования усталостных трещин и разрушения.

Суть эксперимента заключается в получении данных, подтверждающих зависимость между возникновением циклических усталостных напряжений, развитием микротрещин и изменением площади петли гистерезиса. В ходе исследований были выявлены момент (количество циклов) до зарождения микротрещин N_0 и граница, выше которой рост трещин становился лавинообразным ($B - C$). Кроме того, определено экспериментальным путем значение критического угла $\alpha_{кр}$ при дальнейшем увеличении которого происходит раскрытие трещин.

Явление возникновения микротрещин обнаружено по изменению площади петли гистерезиса в точке N_0 (рис. 1), которое было зафиксировано на партии испытуемых образцов с помощью электронного микроскопа (рис. 2).

В критической точке (N_0) потеря энергии приводит к двойникованию кристаллической решетки, в результате которого часть энергии освобождается (совершает работу по деформированию кристаллической решетки). Это свидетельствует о начале появления микротрещин.



Рис. 2. Изменение внутренней структуры стали СтЗсп в зависимости от количества циклов нагружения и разгрузки: начало эксплуатации (а) – $N_{ц}=1$ и образование микротрещин (б) – $N_{ц}=2100$

Точка N_0 является началом зарождения первых микротрещин в толще металла стенки РВС. На отрезке $N_0 - B$ происходит их развитие без угрозы аварии. Участок $B - C$ характеризуется резким увеличением площади петли гистерезиса, образованием макротрещин и их дальнейшим лавинообразным раскрытием до разрушения в точке C .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценивая график функции $A=f(N)$, можно прогнозировать остаточный ресурс стенки стального вертикального резервуара по малоцикловоу усталости. При достижении углом $\alpha_{кр}$,

образованным касательной к функции и осью абсцисс, критического значения резервуар необходимо выводить из эксплуатации для дальнейшей углубленной диагностики.

Изложенный метод оценки ресурса может быть применен и для других объектов, испытывающих цикловые нагрузки.

Список используемых источников

1. РД 153-112-017-97. Инструкция по диагностике и оценке остаточного ресурса стальных вертикальных резервуаров. – М.: Нефтемонтаждиагностика, 1997.

2. Пат. № 2008146120. Российская Федерация. Способ прогнозирования ресурса стенки стальных вертикальных резервуаров при малоцикловом нагружении / Дьяков И.Ф., Кошечкин М.В. – От 20 ноября 2008 г.

3. Ваганов Р.Д. Вероятностно-детерминистская механика усталости. – М.: Наука, 2003. – 254 с.

4. Дьяков И.Ф., Садриев Р.М., Беляков А.В. Метод суммирования усталостных повреждений с учетом предела выносливости // Автомобиль и техносфера: труды 3-й Международ. науч.-практ. конф., 17–20 июня. – Казань: Казанский гос. техн. ун-т, 2003. – С. 218–220.

А.В. Бондарев,

кандидат техн. наук

ВА МТО имени генерала армии А.В. Хрулёва, г. Санкт-Петербург;

П.А. Семёнов,

ВИ(ИТ) ВА МТО имени генерала армии А.В. Хрулёва, г. Санкт-Петербург;

А.В. Смирнов,

доктор техн. наук

ВИ(ИТ) ВА МТО имени генерала армии А.В. Хрулёва, г. Санкт-Петербург

ОБЗОР СОСТОЯНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РАЗРАБОТОК И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ СИСТЕМ КОМПЛЕКСНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ УГОЛЬНЫХ КОТЕЛЬНЫХ С КОТЛАМИ КИПЯЩЕГО СЛОЯ НА ОБЪЕКТАХ МО РФ

В статье представлен анализ технического состояния котельных в муниципальных и ведомственных образованиях РФ. Выполнен обзор состояния научно-технических разработок систем автоматизации в котлах малой мощности с топками кипящего слоя. Дана краткая характеристика экспериментального теплоэнергетического комплекса с предложениями по модернизации системы автоматизации для проведения дальнейших исследований.

Ключевые слова: высокотемпературный кипящий слой, котлоагрегат КВП-1,74 ВТКС.

Бесперебойное и эффективное теплоснабжение военно-технических комплексов видов Вооруженных Сил Российской Федерации является важной составляющей обеспечения их жизнедеятельности. Источниками теплоснабжения на объектах общего и специального назначения, как правило, являются автономные отопительные и технологические котельные, вырабатывающие горячую воду для отопления, хозяйственного и технологического водоснабжения.

Число таких котельных, по данным Департамента эксплуатационного содержания и обеспечения коммунальными услугами МО РФ (ДЭС и ОКУ), составляет 3928. Из них 2642 котельни приходятся на низкоэффективные угольные и жидкотопливные котельные, которые работают на твердом топливе (каменные и бурые угли низкого качества) и жидком топливе (высоковязкие сернистые обводненные мазуты и дорогостоящее дизельное топливо).

Из общего числа твердотопливных и жидкотопливных котельных 515 котельных не подлежит передаче в муниципальную собственность, переводу работы на электродотоплы, а также переводу на квалифицированное высокоэкологичное газообразное топливо, вследствие отсутствия технической возможности подвода природного газа от магистральных газопроводов. В зависимости от единичной мощности можно условно котельные разделить на две группы:

- 418 котельных с диапазоном мощностей до 2 Гкал/час;
- 97 котельных с диапазоном мощностей от 2 до 44 Гкал/час.

Такие котельные, как правило, характеризуются низким эксплуатационным КПД (менее 40–50%), тяжелым ручным трудом и антисанитарными условиями работы эксплуатационного персонала, повышенным содержанием в дымовых газах вредных окислов, серы, азота, золы и сажи.

Большинство из указанных котельных не имеет каких-либо систем механизации топливоподготовки, топливоподдачи и шлакозолоудаления, газоочистки; хранение угля в них осуществляется на открытых площадках.

Приоритетным направлением модернизации систем теплоснабжения является строительство автоматизированных котельных с технологией сжигания топлива в кипящем слое. Существуют разные виды такого способа сжигания твердого топлива: низкотемпературный, высокотемпературный.

В настоящее время кафедрой двигателей и тепловых установок ВИ(ИТ) ВА МТО имени генерала армии А.В. Хрулёва совместно с рядом организаций г. Санкт-Петербурга разработаны основные принципы построения котлов малой мощности с топками кипящего слоя. На кафедре активно проводятся исследования рабочих процессов котлов с топками кипящего слоя и выполняются конструкторские разработки современных котлов малой мощности, работающих по технологии сжигания топлива в высокотемпературном кипящем слое (ВТКС). Разработаны и запатентованы котлоагрегаты для сжигания твердого топлива в кипящем слое.

Технология низкотемпературного кипящего слоя (НТКС) предусматривает горение твердого топлива в слое инертного материала (кварцевый песок, шамотный порошок, зола топлива и др.), обладающего большой теплоаккумулирующей способностью. Это, совместно с отбором теплоты в погружных поверхностях нагрева, обеспечивает поддержание температуры горения топлива в пределах $800\text{--}850^{\circ}\text{C}$ с образованием в качестве очаговых остатков только летучей золы без каких-либо шлаковых спеков. Технология требует жесткого соблюдения указанного температурного режима, фракционного состава топлива с крупностью кусков не более 13–15 мм и влажности не более 20% [2].

Практические работы по исследованию системы автоматического управления котлов малой мощности низкотемпературного кипящего слоя проводились в Военном инженерно-техническом университете в учебно-исследовательской лаборатории (пос. Стрельна, Санкт-Петербург) кафедры теплосиловых установок под руководством профессора А.В. Смирнова.

В данной лаборатории была смонтирована система автоматики, которая позволяет осуществлять работу котельной установки в ручном и автоматическом режимах, при использовании следующих способов и средств регулирования:

- регулирования расхода жидкого топлива при розжиге котла;
- регулирования расхода воздуха при розжиге котла;
- измерения и регулирования температуры кипящего слоя;
- регулирования теплопроизводительности.

Другой разновидностью сжигания угля в псевдоожиженном слое является высокотемпературный кипящий слой.

Во всех конструкциях котлов с топкой ВТКС основным элементом является узкая наклонная подвижная решетка прямого или обратного хода. Для создания кипящего слоя колосниковая решетка должна быть шириной 250–400 мм в зависимости от мощности котла, а для исключения перетекания топлива в шлаковый бункер уклон ее должен быть в пределах $10\text{--}15^{\circ}$ к горизонту.

Колосниковая решетка предназначена для распределения подаваемого в слой воздуха и удаления осаждающегося шлака, образующегося в процессе горения. Ввиду того, что сжигание большей части топлива происходит не на самой решетке, а над ней, в объеме топки, решетка может быть в 5–10 раз уже обычной колосниковой.

Для предотвращения образования шлака в топке необходимо использовать охлаждаемые водой панели из труб, установленные по обеим сторонам топки вдоль решетки. При этом панели защищают кладкой из огнеупорного кирпича, выполненной под углом 30° к плоскости решетки.

Максимальная высота кипящего слоя должна находиться над зоной первичного дутья, где обеспечивается наибольшее значение давления воздуха. Так как над следующими зонами высота кипящего слоя уменьшается, постепенно понижается давление воздуха в зонах для обеспечения одинаковой скорости охижения по всей решетке. Последняя зона находится вне кипящего слоя и служит для выжигания шлака.

В самом кипящем слое находится только раскаленный кокс, сгорающий при контакте с воздухом, и крупные золовые частицы. Сгорание выделившихся горючих газов происходит над кипящим слоем в зоне повышенной турбулентности, создаваемой потоком вторичного воздуха.

Подачу воздуха для псевдооживления и поддержания необходимой температуры слоя рекомендуется осуществлять от высоконапорного вентилятора под колосниковую решетку, снабженную дутьевыми зонами (отсеками). Разделение подрешеточного пространства на отсеки с независимой подачей воздуха позволяет обеспечить распределение воздуха по всей площади решетки и регулирование турбулентности слоя в каждой из зон горения до необходимой величины.

Вторичный воздух, необходимый для сжигания образующихся окиси углерода и летучих веществ, подается над слоем. Величина подачи зависит от ряда параметров: содержания летучих веществ, количества тонкодисперсных частиц в угле и др.

Таким образом, при высокотемпературном кипящем слое создаются оптимальные условия для эффективного сжигания топлива за счет постоянного контакта твердых частиц с окислителем при строго фиксированном времени их пребывания на движущейся решетке.

В топочных устройствах с решетками обратного хода коэффициент использования теплоты топлива выше в результате более полного сгорания крупных его фракций, находящихся в зонах горения более продолжительное время.

Как показали исследования на кафедре «Двигатели и теплосиловые установки» ВИ(ИТ) г. Санкт-Петербурга, наиболее адаптивной к условиям коммунальной энергетики является технология высокотемпературного кипящего слоя.

По данной технологии с участием авторов настоящей статьи запатентованы конструкции ряда котлов с топками ВТКС (КВП-1,74-ВТКС, котлоагрегата Братск-ВТКС, котлоагрегата КВДО-1,5-ВТКС для древесных отходов, котла Е-1/9-ВТКС, котла Э5-Д2-ВТКС и др.) [3–6].

В настоящее время в нашей стране практические результаты по разработке систем автоматического регулирования топочных процессов для котлов малой мощности высокотемпературного кипящего слоя получены только в работах Военного института (инженерно-технического) на кафедре двигателей и тепловых установок.

В ходе проведенных теоретических и экспериментальных исследований были выполнены следующие основные задачи:

- проведены экспериментальные исследования переходных процессов на нескольких типах котлов с топками высокотемпературного кипящего слоя;
- проведены теоретические исследования по определению вида передаточных функций и дифференциальных уравнений, описывающих динамику изменения параметров регулирования на переходных процессах [1];
- разработаны принципиальные схемные решения системы автоматического регулирования на базе программируемых логических контроллеров [7].

Выполненный обзор позволяет сформулировать цель дальнейших исследований, которая заключается в разработке теоретических и экспериментальных исследований систем автоматизации для котлов малой мощности с кипящим слоем. Цель исследований достигается решением частных научных задач, к которым относятся:

- разработка концептуальных основ по созданию систем автоматизации котлов малой мощности с кипящим слоем;
- разработка новых схемных технических решений по созданию систем автоматизации в котлах малой мощности с топками кипящего слоя;
- создание экспериментальных установок котлов с кипящим слоем, оснащенных системами автоматизации и современным измерительным комплексом;

- проведение теоретических и экспериментальных исследований работы котлов с кипящим слоем на переходных режимах;
- разработка математических моделей процесса горения топлива во времени, алгоритма и программного обеспечения для автоматизации котлов малой мощности с топками кипящего слоя на основе программируемых логических контроллеров;
- получение новых результатов экспериментальных исследований работы систем автоматизации в котлах малой мощности с топками кипящего слоя;
- составление рекомендаций по изготовлению, проектированию, пусконаладке систем автоматизации в котлах малой мощности с топками кипящего слоя;
- разработка современных методов оценки эффективности капитальных вложений при реконструкции и строительстве тепловых сетей и угольных котельных с автоматизированными котлами с кипящим слоем.

Решить сформулированные задачи по перспективным исследованиям представляется возможным с использованием экспериментальной базы в теплоэнергетическом комплексе кафедры с двумя котлоагрегатами ВТКС на полигоне в пос. Приветненское Ленинградской области. Указанная база представляет собой уникальный, единственный в России теплоэнергетический комплекс с котлами кипящего слоя малой мощности на всех видах низкосортного твердого топлива, к которому относятся: каменные и бурые угли, фрезерный торф и древесные отходы.

Новый теплоэнергетический комплекс показан на рис. 1, он представляет собой современное здание общей площадью 900 м², пристроенное к зданию существующей угольной котельной, обеспечивающей теплоснабжение всех потребителей теплоты на полигоне. Здание комплекса разделено на три части.

В первой части размещены два автоматизированных котлоагрегата с топками высокотемпературного кипящего слоя, один из которых КВП-1,74-ВТКС мощностью 1,74 МВт предназначен для сжигания каменных и бурых углей (1), а второй (2) КВП-Д-1,5-ВТКС мощностью 1,5 МВт – для сжигания торфа и древесных отходов. В этой же части здания расположены вспомогательные помещения и учебный класс.

Во второй части расположены два котла с низкотемпературным кипящим слоем: угольный котел 3 марки УКС-1,25-НТКС и котел 4 для сжигания торфа и древесных отходов марки УКС-Д-1,25-НТКС.

Третья часть комплекса представляет собой укрытый механизированный угольный склад с мостовым краном 9, грейферным ковшом и винтовой дробилкой 8. Помимо котлов в комплексе установлено вспомогательное оборудование: транспортер углеподачи 6 и транспортер шлакозолоудаления 7, блок батарейных циклонов газоочистки 13, бункер для сбора шлака 14, дутьевой вентилятор 10, дымосос 11, воздухоподогреватель 16, теплообменники и насосы 17. Внешний вид котлов с топками высокотемпературного и низкотемпературного кипящего слоя представлен на рис. 2.

Оборудование теплоэнергетического комплекса оснащено современными средствами теплотехнических измерений и автоматизации: частотно-регулируемыми приводами для колосниковых решеток и скребковых питателей, термopарами с выводом показаний на промышленный компьютер, однооборотными МЭО для регулирования расходов первичного и вторичного воздуха, установкой Альнера для измерения уноса в уходящих газах, термометрами, манометрами, тягонапоромерами и другими контрольно-измерительными приборами.

В комплексе планируется проведение следующих экспериментальных исследований:

- теоретических и экспериментальных исследований систем автоматизации в котлах малой мощности с топками низкотемпературного кипящего слоя;

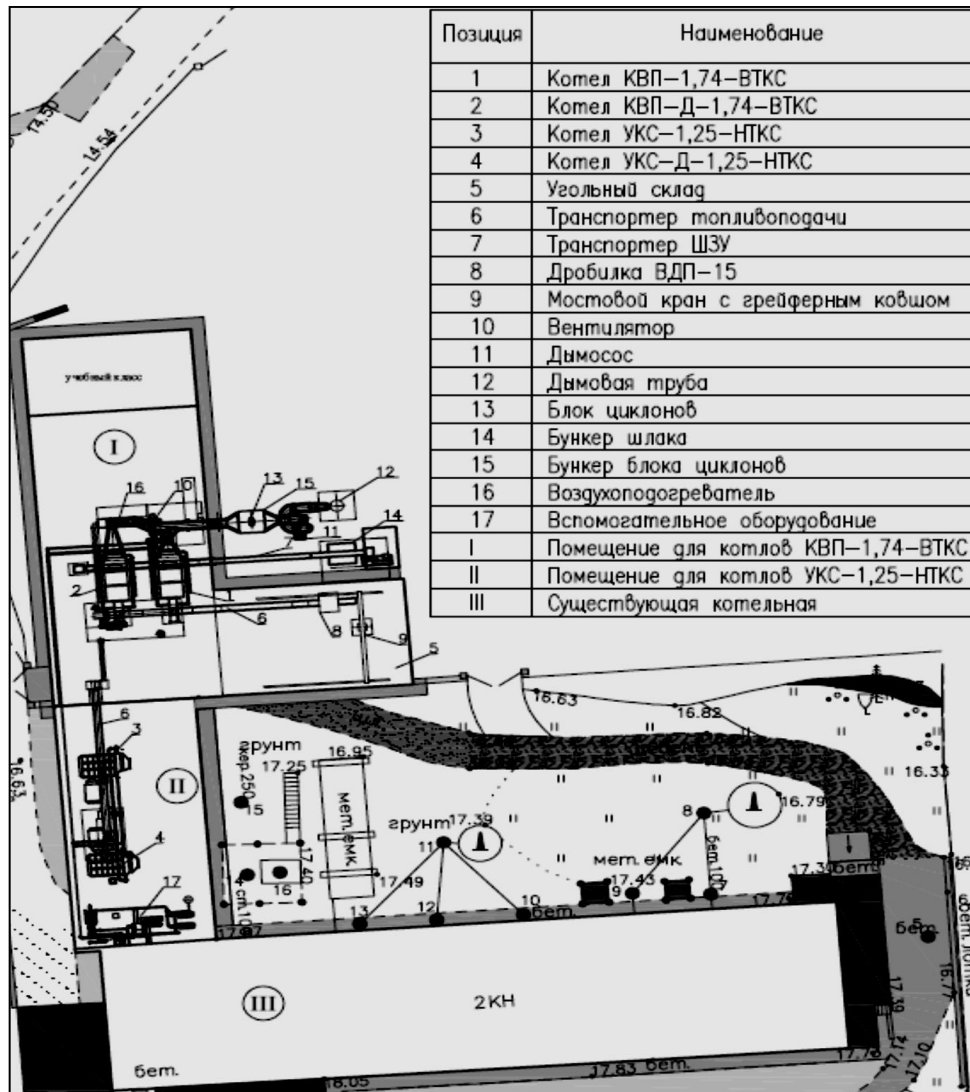


Рис. 1. План учебно-экспериментального комплекса



Рис 2. Внешний вид котлов с топками НТКС и ВТКС

– теоретических и экспериментальных исследований систем автоматизации в котлах малой мощности с топками высокотемпературного кипящего слоя при сжигании твердого топлива (уголь, торф, древесные отходы);

- исследования пускоманевренных характеристик котлов кипящего слоя с автоматическим розжигом;
- теоретических и экспериментальных исследований систем автоматизации котлов малой мощности с кипящим слоем на двух видах топлива (твердое и жидкое).

Для проведения данных экспериментальных работ необходимо произвести модернизацию системы автоматизации по следующим направлениям.

1. Установка комплектного устройства управления топочными процессами котлов ВТКС и НТКС. В составе комплектного устройства управления необходимы дискретные и аналоговые блоки ввода сигналов, релейные модули управления исполнительными механизмами, источники бесперебойного питания для программируемых логических контроллеров, цифровые датчики контроля параметров технологических сред, программно-аппаратный комплекс для визуализации и управления работы котлоагрегатов.

2. Установка соответствующих средств измерения теплотехнических параметров рабочих сред в котле, в том числе установка первичных датчиков в системе автоматического регулирования (контроля уровня кислорода, разрежения в газовоздушном тракте котла, давления, температуры газов и др.).

3. Установка розжиговой горелки.

Модернизированная система комплексной автоматизации позволит провести весь комплекс теоретических и экспериментальных исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что проведение дальнейших исследований систем автоматизации котлов малой мощности с ВТКС и НТКС в модернизированном теплоэнергетическом комплексе позволит решить вопрос комплексной автоматизации угольных котельных с котлами кипящего слоя на объектах МО РФ.

Список используемых источников

1. Экспериментальные исследования переходных процессов в топке высокотемпературного кипящего слоя котла малой мощности при сжигании торфа для разработки системы автоматического регулирования / А.Г. Киревнин, А.В. Смирнов, М.А. Карпов, Р.В. Васильев // *Новости теплоснабжения*. – 2011. – № 10. – С.37–40.

2. Юферев Ю.В., Балабан А.В. Применение котлоагрегатов с топками НТКС при реконструкции котельных // *Энергонадзор – Информ.* – 1999. – №8. – С.52–55.

3. Пат. на полезную модель № 38041. Котлоагрегат для сжигания угля в кипящем слое. – Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей РФ 20.05.2004, Бюл. № 14.

4. Пат. на полезную модель № 41837. Комбинированный котел для сжигания угля в высокотемпературном кипящем слое. – Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей РФ 10.11.2004, Бюл. № 31.

5. Пат. на полезную модель № 38217. Котлоагрегат для сжигания фрезерного торфа и древесных отходов в кипящем слое. – Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей РФ 27.05.2004, Бюл. № 15.

6. Пат. на полезную модель № 41838. Двухбарабанный котел малой мощности с топкой высокотемпературного кипящего слоя. – Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей РФ 10.11.2004, Бюл. №31.

7. Пат. на полезную модель № 49603. Система автоматического регулирования процесса горения в топке с высокотемпературным кипящим слоем котла малой мощности. – Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей 27.11.2005, Бюл. № 33.

М.П. Буюнкин;
М.А. Ватутин,
кандидат техн. наук, доцент;
Ю.А. Кузьмичев,
кандидат техн. наук, доцент;
И.А. Трофимов,
кандидат техн. наук

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА

Рассматривается имитационная модель интеллектуального акселерометра, реализующая функции метрологического самоконтроля и адаптации к априорно-неопределенным возмущающим факторам орбитального полета. Учитывая, что дрейф параметров датчика момента акселерометра вносит наибольший вклад в составляющую погрешности его коэффициента преобразования, предлагается методика метрологического самоконтроля, в основе которой лежит взаимосвязь резонансной частоты датчика и его коэффициента преобразования. Адаптация акселерометра к возмущающим факторам осуществляется введением в его структуру регулирующего устройства.

Ключевые слова: маятниковый акселерометр компенсационного типа, самоконтроль, адаптация.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из приоритетных задач развития космической деятельности РФ является увеличение сроков активного существования космических аппаратов (КА). Для достижения данной цели необходимо сохранение метрологических характеристик датчиков первичной информации (ДПИ) систем управления КА в заданном диапазоне.

Известно, что в процессе эксплуатации ДПИ (акселерометра) на борту КА в процессе длительного орбитального полета по различным причинам происходит дрейф некоторых его параметров, который в конечном счете приводит к изменению значений метрологических характеристик [1, 2]. Охват чувствительного элемента (ЧЭ) акселерометра отрицательной обратной связью (ООС) позволяет значительно снизить погрешность измерений за счет реализации уравнивающего принципа компенсации входного воздействия [3]. Несмотря на это, получить высокие метрологические характеристики средств измерений возможно только при условии высокой стабильности как геометрических размеров подвижной (механической) части акселерометра – маятника, так и высокой стабильности параметров датчика, создающего компенсирующий момент, – датчика момента (ДМ).

На современном этапе пути улучшения стабильности метрологических характеристик акселерометров, в частности за счет уменьшения нестабильности параметров датчика момента, достигли некоторого предела. Дальнейшее увеличение затрат материальных средств на ужесточение технологического процесса производства, применение новых механически и электрически более стабильных материалов, создание различных вариаций в конструкции чувствительного элемента и его подвесе и прочее, не всегда приводят к ожидаемым результатам. Поэтому в настоящее время существует необходимость совершенствования принципов работы датчиков первичной информации. На сегодняшний день востребовано создание интеллектуальных датчиков первичной информации, т. е. адаптивных датчиков с функцией метрологического самоконтроля [4].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В качестве исходных данных возьмем математическую модель маятникового акселерометра компенсационного типа с емкостным датчиком угла и магнитоэлектрическим датчиком момента (рис. 1).

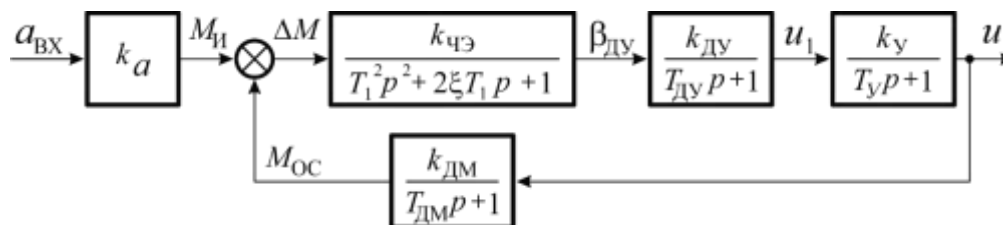


Рис. 1. Структурная схема маятникового акселерометра компенсационного типа

На рис. 1 введены обозначения: $a_{ВХ}$ – измеряемое ускорение; k_a – коэффициент передачи ЧЭ по ускорению; $M_{ЧЭ}$ – момент, обусловленный измеряемым ускорением; $M_{ОС}$ – момент обратной связи, создаваемый датчиком момента; ΔM – разность моментов; $k_{ЧЭ}$, $k_{ДУ}$, $k_{У}$, $k_{ДМ}$ – коэффициенты передачи чувствительного элемента акселерометра (ЧЭ), датчика угла (ДУ), усилителя (У), датчика момента (ДМ) соответственно; $T_{ЧЭ}$, $T_{ДУ}$, $T_{У}$, $T_{ДМ}$ – постоянная времени ЧЭ, ДУ, У и ДМ соответственно; ξ – коэффициент затухания ЧЭ акселерометра; $\beta_{ДУ}$ – угол отклонения ЧЭ акселерометра; u_1 – напряжение на выходе электромеханической части акселерометра; u – напряжение на выходе акселерометра (замкнутой системы).

Передаточная функция чувствительного элемента акселерометра имеет вид:

$$W_{ЧЭ}(p) = \frac{k_{ЧЭ}}{T_{ЧЭ}^2 p^2 + 2\xi T_{ЧЭ} p + 1}. \quad (1)$$

Динамическими свойствами датчика угла, усилителя и датчика момента для рассматриваемой задачи можно пренебречь:

$$W_{ДУ}(p) = k_{ДУ}; W_{У}(p) = k_{У}; W_{ДМ}(p) = k_{ДМ}. \quad (2)$$

Прямая цепь преобразования измеряемого сигнала состоит из ЧЭ, ДУ и У. Обозначим $k_{ЧЭ} \cdot k_{ДУ} \cdot k_{У} = k_{\Pi}$. Тогда передаточная функция прямой цепи преобразования примет вид:

$$W_{\Pi}(p) = \frac{k_{ЧЭ} k_{ДУ} k_{У}}{T_{ЧЭ}^2 p^2 + 2\xi T_{ЧЭ} p + 1} = \frac{k_{\Pi}}{T_{ЧЭ}^2 p^2 + 2\xi T_{ЧЭ} p + 1}. \quad (3)$$

При охвате акселерометра отрицательной обратной связью передаточная функция замкнутой системы определяется выражением [1, 2, 5]

$$\Phi(p) = \frac{W_{\Pi}(p)}{1 + W_{\Pi}(p)W_{ОС}(p)}, \quad (4)$$

где $W_{ОС}(p)$ – передаточная функция цепи обратной связи, $W_{ОС}(p) = W_{ДМ}(p)$.

При функционировании акселерометра в процессе орбитального полета его составные элементы подвержены воздействию различных возмущающих факторов, основным из которых является изменение температуры окружающей среды, что приводит к дрейфу его параметров.

Требуется определить влияние дрейфа параметров составных элементов акселерометра на погрешность выходного сигнала и разработать модель акселерометра, реализующую функцию метрологического самоконтроля его параметров в процессе орбитального полета.

АНАЛИЗ ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ АКСЕЛЕРОМЕТРА

Для анализа частотной характеристики получим передаточную функцию акселерометра как замкнутой системы. Для этого, подставив (3) в (4), получим:

$$\Phi(p) = \frac{\frac{k_{\Pi}}{T_{\text{чЭ}}^2 p^2 + 2\xi_{\text{чЭ}} T_{\text{чЭ}} p + 1}}{1 + \frac{k_{\Pi}}{T_{\text{чЭ}}^2 p^2 + 2\xi_{\text{чЭ}} T_{\text{чЭ}} p + 1} k_{\text{ДМ}}} = \frac{k_{\Pi}}{T_{\text{чЭ}}^2 p^2 + 2\xi_{\text{чЭ}} T_{\text{чЭ}} p + (1 + k_{\Pi} k_{\text{ДМ}})}. \quad (5)$$

Обозначим $\beta_{\text{ОС}} = (1 + k_{\Pi} k_{\text{ДМ}})$, тогда

$$\Phi(p) = \frac{\left(\frac{k_{\Pi}}{\beta_{\text{ОС}}}\right)}{\left(\frac{T_{\text{чЭ}}}{\sqrt{\beta_{\text{ОС}}}}\right)^2 p^2 + 2 \frac{\xi_{\text{чЭ}}}{\sqrt{\beta_{\text{ОС}}}} \frac{T_{\text{чЭ}}}{\sqrt{\beta_{\text{ОС}}}} p + 1}. \quad (6)$$

Из выражения (6) следует, что в замкнутой системе коэффициент преобразования уменьшается в $\beta_{\text{ОС}}$ раз:

$$k_{\text{ПР}} = \frac{k_{\Pi}}{\beta_{\text{ОС}}} = \frac{k_{\Pi}}{1 + k_{\Pi} k_{\text{ДМ}}}. \quad (7)$$

Постоянная времени и коэффициент затухания замкнутой системы уменьшаются в $\sqrt{\beta_{\text{ОС}}}$ раз:

$$T_{\text{ОС}} = \frac{T_{\text{чЭ}}}{\sqrt{\beta_{\text{ОС}}}} = \frac{T_{\text{чЭ}}}{\sqrt{1 + k_{\Pi} k_{\text{ДМ}}}}, \quad \xi_{\text{ОС}} = \frac{\xi_{\text{чЭ}}}{\sqrt{\beta_{\text{ОС}}}} = \frac{\xi_{\text{чЭ}}}{\sqrt{1 + k_{\Pi} k_{\text{ДМ}}}}. \quad (8)$$

Резонансная (собственная) частота замкнутой системы, соответственно, будет равна:

$$\omega_{\text{ОС}} = \frac{1}{T_{\text{ОС}}} = \frac{\sqrt{\beta_{\text{ОС}}}}{T_{\text{чЭ}}} = \frac{\sqrt{1 + k_{\Pi} k_{\text{ДМ}}}}{T_{\text{чЭ}}}. \quad (9)$$

Частотная характеристика прямой цепи акселерометра $W_{\Pi}(\omega)$ и акселерометра, охваченного отрицательной обратной связью $\Phi(\omega)$, показаны на рис. 2.

Анализ разложения передаточной функции (4) в ряд Тейлора для определения изменения передаточной функции замкнутой системы под влиянием изменений параметров $W_{\Pi}(p)$ и $W_{\text{ОС}}(p)$ показывает [6], что относительное изменение параметров передаточной функции маятникового акселерометра, охваченного ООС, вызванное относительным изменением параметров передаточной функции прямой цепи преобразования, уменьшается в $[1 + W_{\Pi}(p)W_{\text{ОС}}(p)]$ раз, а относительное изменение параметров передаточной функции цепи обратной связи непосредственно влияет на выходной сигнал акселерометра.

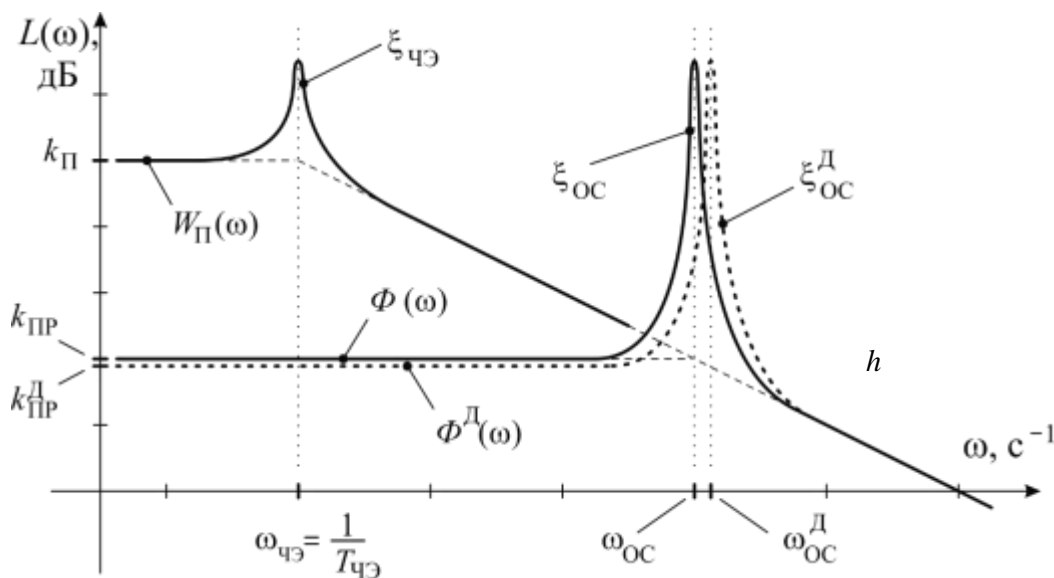


Рис. 2. Частотная характеристика акселерометра

Под изменением параметров передаточной функции (4) подразумевается, что значения параметров ПФ $\omega_{\text{ОС}}$, $k_{\text{ПР}}$ и $\xi_{\text{ОС}}$ изменяются под воздействием возмущающих факторов и принимают новые значения: $\omega_{\text{ОС}}^{\text{Д}}$, $k_{\text{ПР}}^{\text{Д}}$ и $\xi_{\text{ОС}}^{\text{Д}}$ (рис. 2). Это изменение необходимо учитывать при осуществлении измерений.

МЕТОДИКА МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО САМОКОНТРОЛЯ АКСЕЛЕРОМЕТРА

Одной из основных метрологических характеристик акселерометра является его коэффициент преобразования $k_{\text{ПР}}$.

Известно, что на нестабильность параметров ДМ приходится большая часть суммарной погрешности измерения компенсационного акселерометра, так как составляющая погрешности, вносимая датчиком момента, цепью ООС не охватывается [1, 2, 5, 6]. По этой причине повышению стабильности параметров датчика момента как конструктивному элементу при проектировании и производстве акселерометра уделяется особое внимание. Кроме отмеченных выше способов улучшения стабильности точностных характеристик акселерометров существуют способы [6, 7], позволяющие по косвенным признакам определить изменение значений параметров, указанных выше, с целью исключения из результатов измерений систематической погрешности.

Определим коэффициент передачи датчика момента из выражения (9):

$$k_{\text{ДМ}} = \frac{\left(\frac{\omega_{\text{ОС}}}{\omega_{\text{ЧЭ}}}\right)^2 - 1}{k_{\text{П}}} \quad (10)$$

Подставив данное выражение в (7), получим зависимость коэффициента преобразования акселерометра от его частотных параметров:

$$k_{\text{ПР}} = \frac{k_{\text{П}}}{\left(\frac{\omega_{\text{ОС}}}{\omega_{\text{ЧЭ}}}\right)^2} \quad (11)$$

Так как дрейф прямой цепи акселерометра значительно меньше дрейфа всей замкнутой системы [6], выражение (11) при дрейфе параметров акселерометра примет вид

$$k_{\text{ПР}}^{\text{Д}} = \frac{k_{\text{П}}}{\left(\frac{\omega_{\text{ОС}}^{\text{Д}}}{\omega_{\text{ЧЭ}}}\right)^2}. \quad (12)$$

Данное выражение показывает, что, измеряя фактическую (дрейфовую) резонансную частоту, можно определить фактическое (дрейфовое) значение коэффициента преобразования акселерометра.

Данные положения подтверждаются математическим моделированием (рис. 3) процесса функционирования маятникового акселерометра компенсационного типа с магнитоэлектрическим датчиком момента и емкостным датчиком угла. В качестве исходных данных для моделирования были выбраны значения параметров маятникового акселерометра из [2, 8].

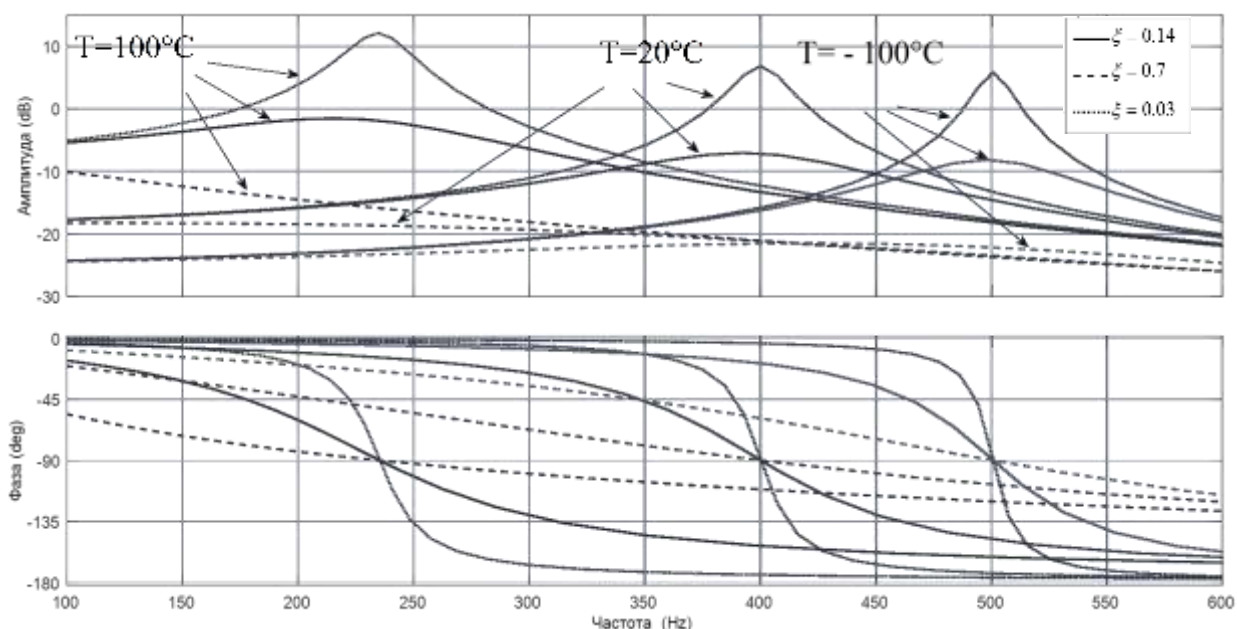


Рис. 3. Резонансная частота акселерометра при различных температурах функционирования и ее взаимосвязь с фазочастотной характеристикой

Из графиков (рис. 3) видно, что на резонансной частоте независимо от коэффициента затухания системы ξ фаза выходного сигнала акселерометра осуществляет переход через -90° [5].

Наиболее точное определение резонансной частоты акселерометра и соответственно его коэффициента преобразования возможно идентификацией перехода фазы выходного сигнала относительно входного через -90° при воздействии по цепи обратной связи синусоидальным сигналом с наименьшим шагом дискретности установки частоты.

Зависимость фазового сдвига выходного сигнала от параметров системы и частоты задающего генератора ω имеет вид [5]:

$$\varphi = -\arctg \frac{2\xi \frac{\omega^2}{\omega_{\text{ОС}}}}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_{\text{ОС}}^2}}. \quad (13)$$

Современные средства электронно-компонентной базы позволяют идентифицировать фазовый сдвиг с наименьшим шагом дискретности $\Delta\varphi = 3 \cdot 10^{-6}$ радиан [9].

Определим предельную абсолютную погрешность $|\Delta\omega|$, которую позволяет определить данное значение шага дискретности $\Delta\varphi$ [10]:

$$|\Delta\varphi| = |\varphi'(\omega)| |\Delta\omega| \Rightarrow |\Delta\omega| = |\Delta\varphi| / |\varphi'(\omega)|. \quad (14)$$

Дифференцируя выражение (13), получим:

$$\varphi'(\omega) = -2 \frac{(\omega^2 + \omega_{OC}^2) \omega_{OC} \xi}{4\xi^2 \omega^2 \omega_{OC}^2 + \omega^4 - 2\omega^2 \omega_{OC}^2 + \omega_{OC}^4}. \quad (15)$$

При частоте задающего генератора, равной резонансной частоте системы $\omega = \omega_{OC}$, данное выражение примет вид:

$$\varphi'(\omega) \Big|_{\omega=\omega_{OC}} = -\frac{1}{\omega_{OC} \xi}. \quad (16)$$

Подставив числовые значения параметров резонансной частоты акселерометра ω_{OC} , коэффициента затухания ξ из [2] и $\Delta\varphi$ в (14), получим, что необходимый минимальный шаг дискретности $|\Delta\omega|$ задающего генератора определяется значением $|\Delta\omega| = 1,28 \cdot 10^{-5}$ рад/с. Данное значение соответствует максимальной возможной точности определения $\Delta\omega_{OC}$ аппаратными средствами.

Определим относительную погрешность идентификации $|\Delta k_{ГПР}|$ с помощью разработанной методики:

$$\delta k_{ГПР} = \frac{|\Delta k_{ГПР}|}{k_{ГПР}} \cdot 100\% \approx \frac{|dk_{ГПР}|}{k_{ГПР}} \cdot 100\% = \frac{|k'_{ГПР}(\omega_{OC})| |\Delta\omega_{OC}|}{k_{ГПР}} \cdot 100\%. \quad (17)$$

Дифференцируя выражение (11), получим:

$$k'_{ГПР}(\omega_{OC}) = -2 \frac{k_{П} \omega_{ЧЭ}^2}{\omega_{OC}^3}. \quad (18)$$

Подставив числовые значения параметров резонансной частоты акселерометра ω_{OC} , резонансной частоты чувствительного элемента $\omega_{ЧЭ}$, коэффициента преобразования акселерометра $k_{ГПР}$ [2] и $\Delta\omega_{OC}$ в (17), получим, что относительная предельная погрешность идентификации $\delta k_{ГПР} = 0,00042\% = 4,2 \cdot 10^{-4}\%$.

АДАПТАЦИЯ АКСЕЛЕРОМЕТРА К АПРИОРНО НЕОПРЕДЕЛЕННЫМ ВОЗМУЩАЮЩИМ ФАКТОРАМ

Адаптация акселерометра к условиям воздействия возмущающих факторов с использованием рассмотренного выше метрологического самоконтроля может быть осуществлена двумя способами: аппаратным изменением параметров акселерометра и введением в результат измерений поправок, рассчитанных на основе предложенной методики.

Рассмотрим более подробно аппаратный способ автоматической коррекции параметров акселерометра (рис. 4).

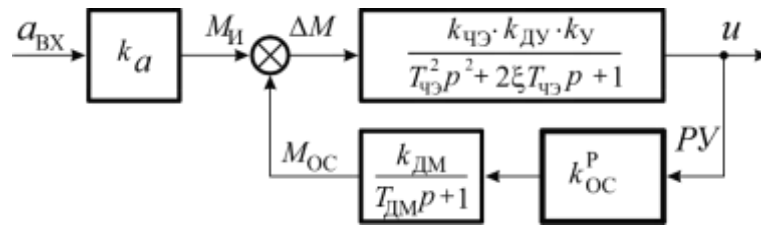


Рис. 4. Структурная схема маятникового акселерометра с регулирующим устройством

В общем виде аппаратный способ осуществляется путем введения в структурную схему акселерометра регулирующего устройства $PУ$ и осуществления в нем регулирования уровня сигнала с коэффициентом $k_{ОС}^P$.

Выражение (7) в данном случае примет вид:

$$k_{ПР}^Д = \frac{k_{П}}{1 + k_{П} \cdot k_{ДМ}^Д \cdot k_{ОС}^P} \tag{19}$$

Здесь значение коэффициента регулирования $k_{ОС}^P$ зависит от отклонения дрейфовой (фактической) частоты $\omega_{ОС}^Д$ от номинального значения $\omega_{ОС}$ ($\Delta\omega = \omega_{ОС}^Д - \omega_{ОС}$):

$$k_{ОС}^P = F(\Delta\omega),$$

и принимает следующее значение:

$$k_{ОС}^P(\Delta\omega) = \left(1 + \frac{\omega_{ОС}^Д - \omega_{ОС}}{\omega_{ОС}} \right) \tag{20}$$

Для определения значения $\omega_{ОС}^Д$ в структурную схему акселерометра вводятся генератор прямого синтеза (ГПС), устройство определения резонансной частоты (УОРЧ), управляющий микроконтроллер (МК) и регулятор (Р) коэффициента передачи датчика момента для аппаратной коррекции параметров акселерометра (рис. 5).

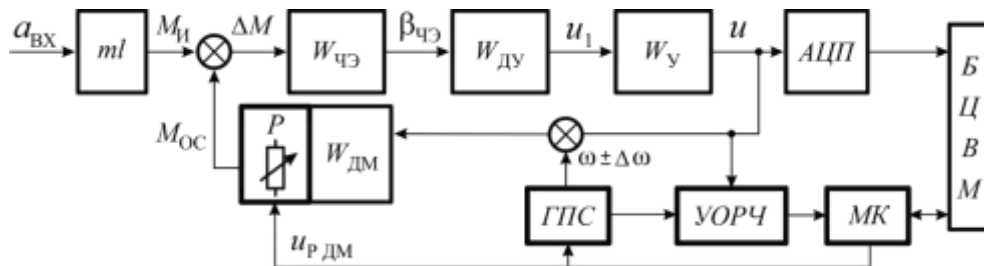


Рис. 5. Структурная схема акселерометра с устройством определения $\omega_{ОС}^Д$ и регулирования $k_{ПР}^Д$

Аппаратная коррекция осуществляется следующим образом:

1. По команде из БЦВМ генератор прямого синтеза, управляемый микроконтроллером, вырабатывает синусоидальный сигнал с частотой $\omega \pm \Delta\omega$, который подается на обмотку датчика момента. Диапазон перестройки частоты ω охватывает диапазон изменения частоты $\omega_{ОС}$.
2. Под воздействием сигнала ГПС чувствительный элемент акселерометра совершает механические колебания.

3. При колебании чувствительного элемента на выходе усилителя появляется напряжение переменного тока, значение которого связано с амплитудно-частотной характеристикой акселерометра, являющегося замкнутой системой.

4. В устройстве УОРЧ определяется дрейфовая (фактическая) резонансная частота ω_{OC}^D акселерометра.

5. В микроконтроллере МК осуществляется сравнение дрейфового значения резонансной частоты ω_{OC}^D с эталонной частотой ω_{OC} .

6. Выходной сигнал МК управляет коэффициентом передачи регулятора P датчика момента, пока значение резонансной частоты не достигнет значения эталонной частоты: $\omega_{OC}^D = \omega_{OC}$.

7. В МК вырабатывается сигнал об окончании самоконтроля и автоматической коррекции параметров акселерометра.

АПРОБАЦИЯ МОДЕЛИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА

На рис. 6 показана модель интеллектуального акселерометра в среде моделирования MATLAB, реализующая описанные выше функции метрологического самоконтроля и автоматической коррекции параметров.

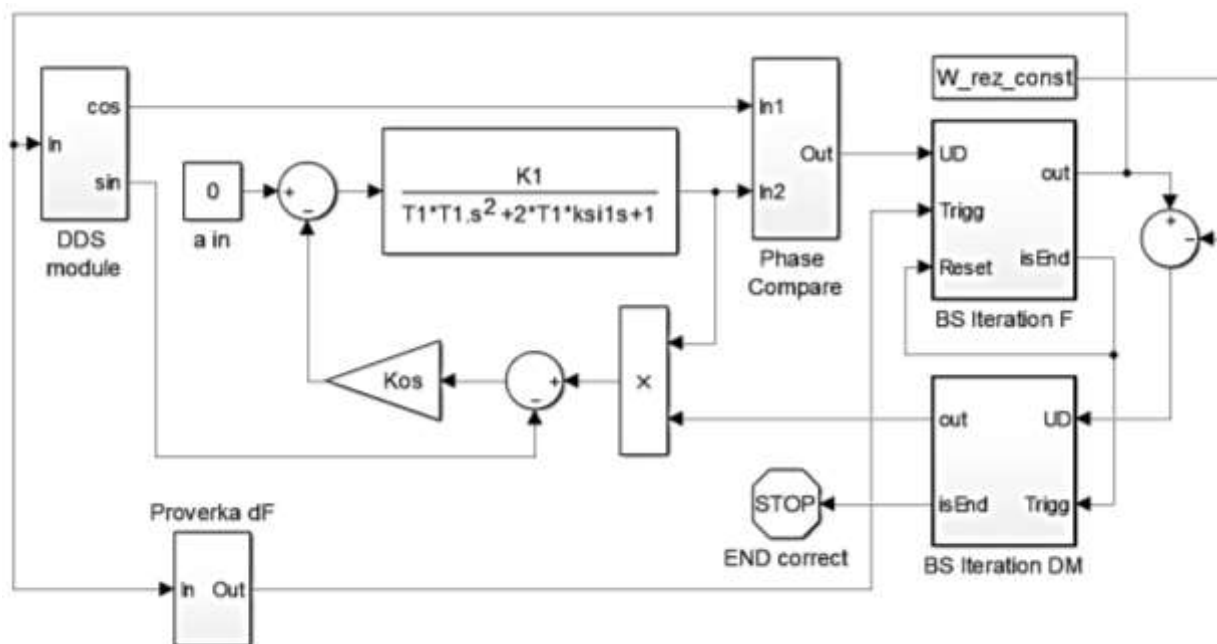


Рис. 6. Модель интеллектуального акселерометра в среде моделирования MATLAB

Идентификация фазового сдвига $\varphi = -90^\circ$ выходного сигнала акселерометра относительно задающего генератора прямого синтеза (DDS module) с предельной абсолютной погрешностью $|\Delta\varphi| = 3 \cdot 10^{-6}$ радиан осуществляется фазовым компаратором (Phase Compare). При несоответствии резонансной частоты акселерометра номинальному значению происходит идентификация текущей дрейфовой резонансной частоты. Учитывая монотонность фазочастотной характеристики акселерометра, целесообразно организовать поиск резонансной частоты методом двоичного поиска (блок BS Iteration F) [11]. После окончания метрологического самоконтроля акселерометра с помощью методики идентифи-

кации резонансной частоты запускается процесс адаптации параметров акселерометра, т. е. их автоматической коррекции.

Регулирующее устройство (см. рис. 4) в процессе орбитального полета, так же как и составные элементы акселерометра, подвержено деградационным изменениям. В связи с тем, что коэффициент k_{OC}^P монотонно связан с $\Delta\omega$ (20), подбор необходимого значения регулирующего сигнала (блок BS Iteration DM) осуществляется также методом двоичного поиска.

Циклограмма работы интеллектуального акселерометра, а также изменение значения регулирующего сигнала (при внешнем температурном воздействии $T=100^\circ\text{C}$) показаны на рис. 7.

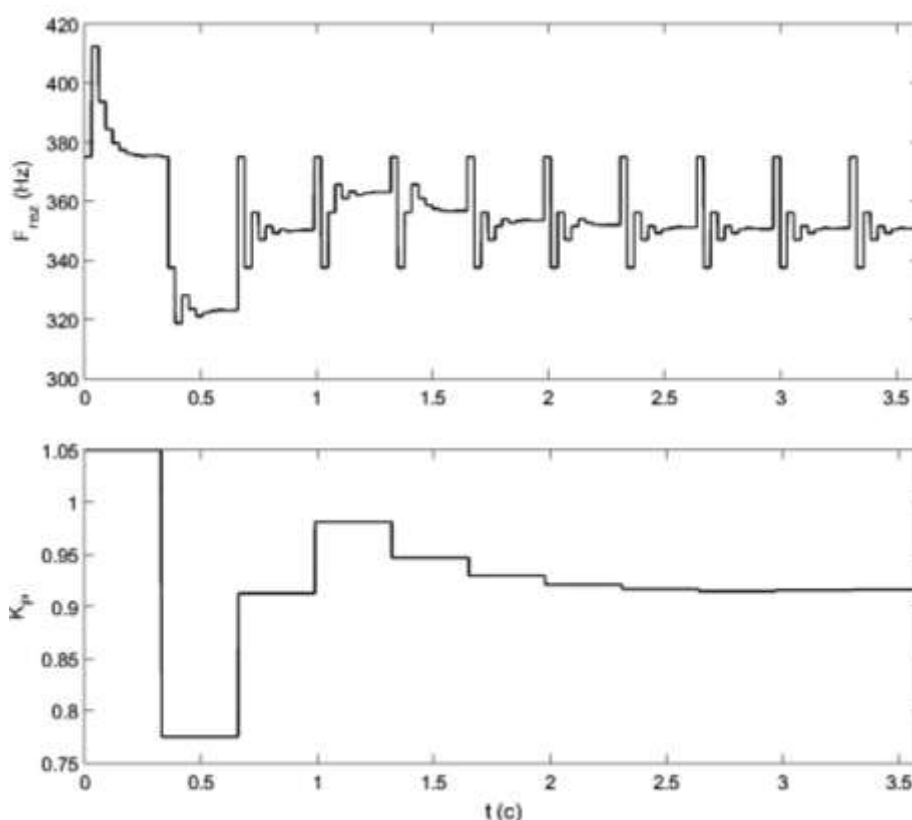


Рис. 7. Процесс функционирования интеллектуального акселерометра

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Допускаемое значение приведенного среднеквадратического отклонения коэффициента преобразования от запуска к запуску маятниковых компенсационных акселерометров навигационного класса составляет порядка 0,05–0,07 %/год, а влияние коэффициента изменения температуры окружающей среды на коэффициент преобразования – порядка $\pm 0,002\%/^\circ\text{C}$ [1]. Поскольку в процессе орбитального полета акселерометр подвержен воздействию априорно неопределенных возмущающих факторов, построение интеллектуального акселерометра позволяет исключить дрейф коэффициента преобразования с относительной точностью $\delta k_{\text{ДР}} = 0,00042\% = 4,2 \cdot 10^{-4}\%$.

Важнейшими блоками акселерометра, увеличивающими его массогабаритные характеристики, являются встроенные схемы компенсации погрешностей и нелинейностей. Применение в составе БИНС интеллектуальных акселерометров позволит значительно снизить ее массогабаритные характеристики.

Список используемых источников

1. *Мокров Е.А., Папко А.А.* Статико-динамические акселерометры для ракетно-космической техники. – Пенза: ПАИИ, 2004. – 164 с.
2. *Распопов В.Я.* Микромеханические приборы: учеб. пособие. – М.: Машиностроение, 2007. – 400 с.
3. Электрические измерения неэлектрических величин / А.М. Туричин, П.В. Новицкий, Е.С. Левшина и др.; под ред. П.В. Новицкого. – Л.: Энергия, 1975. – 576 с.
4. ГОСТ 8.673-2009. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. – М: Стандартиформ, 2010. – 12 с.
5. *Бесекеерский В.А., Попов Е.П.* Теория систем автоматического регулирования. – М.: Наука, 1975. – 768 с.
6. Контроль параметров маятникового акселерометра / М.А. Ватутин, А.Б. Петухов, М.П. Буянкин, А.И. Ключников // Сборник докладов IX научно-технической конференции молодых специалистов по радиоэлектронике. – СПб.: ОАО «Авангард», 2016. – С. 15–19.
7. *Мионов В.И., Фоминов И.В., Малетин А.Н.* Метод автономной косвенной идентификации коэффициента преобразования маятникового компенсационного акселерометра в условиях орбитального полета космического аппарата // Труды СПИИРАН. – 2015. – Вып. 3(40). – С. 93–109.
8. *Джашитов В. Э, Панкратов В. М.* Датчики, приборы и системы авиакосмического и морского приборостроения в условиях тепловых воздействий. – СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ “Электроприбор”», 2005. – 404 с.
9. Кварцевые генераторы, фильтры, резонаторы, кристаллические элементы: справочник. – СПб.: ОАО «Морион», 2012.
10. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1978. – 831 с.
11. *Левитин А.В.* Алгоритмы. Введение в разработку и анализ. – М.: Вильямс, 2006. – 576 с.

В.А. Власов,
кандидат техн. наук, доцент;
Е.Н. Маленин,
кандидат техн. наук

АВТОНОМНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ

Предложен алгоритм автономного режима работы системы ориентации солнечной батареи космического аппарата. Рассмотрен вариант построения привода системы на базе микроконтроллера PIC16F873A с реализацией первичной ориентации на основе модифицированного метода градиентного спуска с дроблением шага и поддержанием уровня мощности генерируемой солнечной батареи не ниже заданного уровня интервальным методом. Представлены результаты моделирования подобной системы и результаты испытаний ее физической модели.

Ключевые слова: космический аппарат, микроконтроллер, система ориентации солнечных батарей, привод системы ориентации, шаговый двигатель.

ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития систем автоматического управления – это освоение методов искусственного интеллекта, имитирующих основанные на знаниях алгоритмы формализуемого мышления человека [1]. Эти методы в полной мере могут быть использованы в ходе управления системами космической техники при выполнении операций, для которых такое управление допустимо. Для технических систем, от которых требуется достаточно длительное автономное функционирование, необходимо развитие таких свойств, как самодиагностика, коррекция работы системы по ее результатам, а также парирование неисправностей. Одной из таких систем является система ориентации солнечной батареи (СОСБ).

В настоящее время преимущественно используются алгоритмы взаимодействия с СОСБ космического аппарата (КА), которые обеспечивают следующие режимы работы [2]:

- автоматический, реализуемый алгоритмами, заложенными в бортовую цифровую вычислительную машину (БЦВМ);
- по командам управления, формируемым из наземного комплекса управления (НКУ).

В режиме работы по командам управления, формируемым из НКУ, автоматический режим работы СОСБ блокируется.

В настоящей публикации предлагается наряду с вышеперечисленными режимами использовать автономный режим работы СОСБ, реализуемый путем интеллектуализации узлов системы электропитания (СЭП). Это позволит расширить функциональные возможности последних, увеличить их надежность (путем сокращения электронных компонентов), уменьшить их стоимость и разгрузить БЦВМ КА от функций сбора, предварительной обработки и буферизации контролируемой информации.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

При проектировании и эксплуатации СОСБ, работающей в автономном режиме, необходимо:

- 1) обеспечить энергобаланс в СЭП при известных энергетических характеристиках основных и буферных источников энергии и временной диаграмме энергопотребления со стороны нагрузки;

2) выбрать метод первичной ориентации солнечной батареи (СБ);

3) разработать и реализовать алгоритмы управления и обеспечения заданных режимов элементов СЭП, обеспечивающих по требованию максимальную располагаемую мощность.

При разработке математической модели СОСБ необходимо учитывать вышеперечисленные задачи функционирования СОСБ.

Вся произведенная за время $T_{\Theta} = T_{\text{СУТ}}$ электроэнергия должна быть полностью истрачена, причем ее должно оказаться достаточно для питания потребителей. Электроэнергия, произведенная первичным источником, в основной ее части расходуется бортовыми потребителями при их работе, а также частично рассеивается (теряется) в виде тепла в составных частях СЭП. Уравнение энергетического баланса, полученное с учетом основных составляющих потерь электрической энергии в системе, имеет следующий вид:

$$W_{\text{СБ}}(T_{\Theta}) = W_{\text{Р}}(T_{\Theta}) + \Delta W_{\text{ЗУ}}(T_{\Theta}) + \Delta W_{\text{РУ}}(T_{\Theta}) + \Delta W_{\text{СН}}(T_{\Theta}) + \Delta W_{\text{АБ}}(T_{\Theta}),$$

где $W_{\text{СБ}}$ – электрическая энергия, произведенная СБ;

$W_{\text{Р}}$ – электрическая энергия, расходуемая потребителями при суточной программе работы;

$\Delta W_{\text{ЗУ}}$ – потери энергии в зарядном устройстве (ЗУ);

$\Delta W_{\text{РУ}}$ – потери энергии в разрядном устройстве (РУ);

$\Delta W_{\text{СН}}$ – потери энергии в централизованном стабилизаторе напряжения (СН);

$\Delta W_{\text{АБ}}$ – суммарные потери энергии в АБ за все циклы «заряд-разряд» в определенный период времени T_{Θ} , связанный с цикличностью работы КА.

В рамках настоящей работы рассматривается одноосная система ориентации СБ, т. е. ее положение в любой момент времени t можно задать углом $\alpha(t)$, где α – угол между направлением на Солнце и перпендикуляром к светочувствительной поверхности. Имеет смысл [3] анализировать угловую зависимость мощности СБ при $\alpha \in [-90^{\circ}; 90^{\circ}]$. Указанный угол является параметром управления.

Поиск оптимальной угловой ориентации $\alpha = \alpha_{\text{ОПТ}}$ датчиков освещенности можно проводить, используя регулярные методы (метод покоординатного поиска, градиентный метод, метод наискорейшего поиска) и методы случайного поиска (метод случайных перемещений и метод парных проб). Эти методы должны позволять найти такое положение датчиков освещенности, при котором мощность, генерируемая СБ, должна быть максимальной:

$$P_{\text{СБ}} \rightarrow \max_{\alpha \in [-\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2}]} P(\alpha). \quad (1)$$

В представленной работе решение задачи первичной ориентации СБ реализуется модифицированным методом градиентного спуска с дроблением шага. Математическую постановку задачи первичной ориентации СБ можно представить следующим образом. Для плоской светочувствительной панели, способной вращаться вокруг одной оси, процесс спуска описывается формулой

$$\alpha_{b+1} = \alpha_b + \lambda_b \cdot \nabla P(\alpha_b),$$

где b – номер шага спуска;

λ_b – шаг спуска;

$\nabla P(\alpha_b)$ – значение градиента мощности в текущем положении. При этом $P(\alpha_b)$ –

мощность, получаемая от СБ:

$$P(\alpha) = P_0 S F \eta \cos \alpha.$$

Здесь P_0 – солнечная постоянная ($P_0 = 1360 \text{ Вт/м}^2$); S – площадь СБ; F – суммарный коэффициент, учитывающий конструктивные особенности СБ и возможную деградацию ее параметров; η – КПД солнечного элемента.

Критерий останова спуска выбирается исходя из следующих условий:

$$\begin{aligned} |P(\alpha_{b+1}) - P(\alpha_b)| &\leq \varepsilon_1; \\ |\alpha_{b+1} - \alpha_b| &\leq \varepsilon_2, \end{aligned} \quad (2)$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – заранее заданные положительные числа, обусловленные точностными характеристиками СОСБ.

Дробление шага при спуске производится следующим образом: если при текущей величина шага λ_b не выполняются условия останова (2), т. е. $P(\alpha)$ убывает в обоих направлениях от текущей точки, то:

$$\lambda_{b+1} = \lambda_b \cdot k,$$

где k – коэффициент дробления шага спуска, $k \in (0;1)$.

Реализация алгоритмов управления и обеспечения заданных режимов элементов СЭП, обеспечивающих по требованию максимальную располагаемую мощность, основана на экстремальном регулировании.

Для обеспечения заданных режимов работы элементов СЭП необходимо поддерживать уровень мощности генерируемой СБ не ниже заданного. Однако непрерывное поддержание угла $\alpha = \alpha_{\text{ОПТ}}$ требует значительных затрат электрической энергии, поэтому на практике используют интервальный метод ориентации углового положения СБ. Сущность этого метода заключается в следующем. Во время полета КА по круговой орбите положение нормали изменяется равномерно и непрерывно, при этом угол α увеличивается или уменьшается, т. е. появляется рассогласование. СБ начинает вращение в сторону увеличения $P(\alpha)$ (противоположно движению КА по орбите), если выполняется следующее условие:

$$P(\alpha) < P_{\text{зад}}(\alpha),$$

где $P_{\text{зад}}(\alpha)$ – уровень мощности, который необходим для обеспечения заданных режимов работы элементов СЭП.

Вращение СБ прекращается, когда выполняется условие

$$P(\alpha) = P_{\text{зад}}(\alpha). \quad (3)$$

ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА

Для реализации предложенных выше алгоритмов предлагается использование микроконтроллера. Современные микроконтроллеры имеют множество встроенных периферийных модулей [4], позволяющих с помощью загруженного во встроенную память программного обеспечения реализовать функции аналого-цифрового и цифроаналогового преобразования,

формирования управляющих воздействий, обмена данными и др. Современные микроконтроллеры обладают возможностью внутрисхемного программирования, то есть уже после размещения их на печатной плате (непосредственно в устройстве). Таким образом, существует возможность корректировать программы управления адекватно возникновению (изменению) возмущающих факторов, что может быть связано, например, с деградацией элементов системы электроснабжения. Функция корректировки программы управления может быть возложена на БЦВМ или НКУ, которым достаточно на короткое время перевести микроконтроллер из режима работы в режим программирования. Эта особенность микроконтроллеров повышает гибкость архитектуры интеллектуальной системы управления.

Применение микроконтроллера в СОСБ позволяет реализовать цифровой электромашинный привод на базе шагового двигателя (ШД). Выбор в пользу ШД для данного варианта системы ориентации обусловлен такими его достоинствами, как прецизионное позиционирование, полный момент в режиме остановки, возможность оперативного управления, легкость регулирования скорости вращения в широком диапазоне, простота согласования с простыми схемами управления, высокая надежность (связанная с отсутствием щеток). При этом срок службы ШД фактически определяется сроком службы подшипников, а однозначная зависимость положения ротора от количества управляющих импульсов обеспечивает позиционирование без обратной связи. Последнее достоинство отличает ШД от других типов двигателей, применяемых в СОСБ. Недостатками ШД являются высокая стоимость, сложная схема управления, резонанс, невысокая удельная мощность, высокое потребление энергии даже без нагрузки. В то же время для коллекторных двигателей или двухфазных асинхронных двигателей, применяемых в настоящее время в СОСБ, необходима также сложная и дорогостоящая схема управления с обязательной обратной связью для точности позиционирования.

При проектировании интеллектуальной СЭП был проведен анализ систем, применяющихся на современных КА. Наиболее перспективной для применения на борту КА является СЭП с последовательно-параллельной структурой [5]. Это связано с возможностью реализации на борту экстремального регулятора отбора мощности СБ. На основе структурной схемы СОСБ с управлением на базе микроконтроллера и цифровым электроприводом была осуществлена разработка и проведено моделирование в программной среде Proteus 7.7 электрической функциональной схемы (результаты моделирования представлены в работе [6]). Управление ШД и другими узлами СОСБ реализовано на микроконтроллере PIC16F873A, наиболее подходящем по соотношению цена – качество и наличию необходимых встроенных модулей. Микроконтроллер содержит следующие основные модули: захвата; сравнения; широтно-импульсной модуляции (ШИМ); последовательного интерфейса MSSP, USART; параллельного интерфейса PSP; 10-разрядного аналого-цифрового преобразователя (имеющего пять каналов). Особенностью микроконтроллера является низкое энергопотребление в режиме «сна». Также существует возможность перехода на российский аналог, например на микроконтроллер КР1830ВЕ32У.

Наличие множества встроенных периферийных модулей и широкие функциональные возможности позволяют реализовать и ряд смежных задач – измерения потребляемого тока, выходного напряжения СБ, освещенности и температуры СБ. В качестве датчика температуры применен цифровой термометр с программируемым разрешением DS18B20+, которое может сохраняться в EEPROM памяти прибора. Этот датчик обменивается данными по 1-Wire шине, и при этом может быть и единственным устройством на линии, и работать в группе. Полезная особенность DS18B20+ – питание от шины данных.

Разработанная интеллектуальная СОСБ работает автономно, управляемая непосредственно заложенной в память микроконтроллера программой или по командам от внешней ЭВМ (БЦВМ), передаваемым по последовательному интерфейсу USART.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ

Математическое моделирование [6] позволило произвести проверку работоспособности электрической схемы системы, сопряжения интерфейса передачи данных и решения задачи подбора электронных компонентов. В качестве имитации управления от внешней ЭВМ используется виртуальный терминал, через который передаются команды и принимаются квитанции. На базе потенциометров и операционных усилителей реализованы модели датчиков освещенности. С их помощью в ручном режиме изменяется величина освещенности СБ и контролируется правильность работы автономного режима ориентации. Также с помощью потенциометра и переменного резистора задается соответственно выходное напряжение и ток СБ, что позволяет контролировать управляющее воздействие на рабочий орган импульсного стабилизатора напряжения, который строится по схеме понижающего конвертора. Коэффициент передачи по напряжению понижающего конвертора определяется выражением

$$K_U = \frac{U_{\text{СН}}}{U_{\text{СБ}}} = \gamma,$$

где γ – коэффициент заполнения импульсного цикла;

$U_{\text{СБ}}$ – напряжение на выходе СБ;

$U_{\text{СН}}$ – напряжение на выходе стабилизатора напряжения.

Если изменять γ с помощью модуля ШИМ микроконтроллера так, чтобы напряжение $U_{\text{СН}}$ при различных токах нагрузки было постоянным, можно выбрать рабочую точку на вольт-амперной характеристике СБ, обеспечивающую отбор максимальной мощности, т. е. выполнение условия (1). Тем самым можно увеличить допустимое рассогласование по углу α , что позволит реже задействовать СОСБ и увеличит срок активного существования КА с учетом деградации СБ.

Проведенное моделирование подтвердило работоспособность представленной СОСБ с управлением на микроконтроллере, что дало возможность приступить к изготовлению ее макета [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ МАКЕТА СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ

Разработанный макет СОСБ позволяет в лабораторных условиях проанализировать работоспособность системы в различных режимах, сопряжение отдельных элементов и узлов. При этом осуществляется контроль параметров системы (температуры, тока нагрузки, выходного напряжения, освещенности СБ).

Управление СОСБ может осуществляться от персонального компьютера по радиоканалу или по проводному интерфейсу (USB). Интерфейс управляющей программы реализован в виде стандартного окна Windows, на основной части которого находятся меню, строка состояния и три пользовательские панели: телеметрическая информация, управление СОСБ и параметры КА.

В представленном макете СОСБ реализован режим работы «следящий привод», позволяющий оценить работу различных методов ориентации СБ на источник освещения, таких как непрерывное слежения за источником освещения, коррекция при отклонении от нормали на заданный угол и перекладка СБ с заданным интервалом. Разработанная модель позволяет реализовать перечисленные режимы как под управлением персонального компьютера (аналог

БЦВМ на космическом аппарате), так и при автономной работе от программы микроконтроллера (для разгрузки БЦВМ от функций сбора, предварительной обработки и буферизации контролируемой информации).

На рис. 1 изображены временные диаграммы работы СОСБ при первичной ориентации и управлении с целью обеспечения заданных режимов работы элементов СЭП (на диаграмме $\alpha(t)$ процесс функционирования СОСБ выделен жирными линиями).

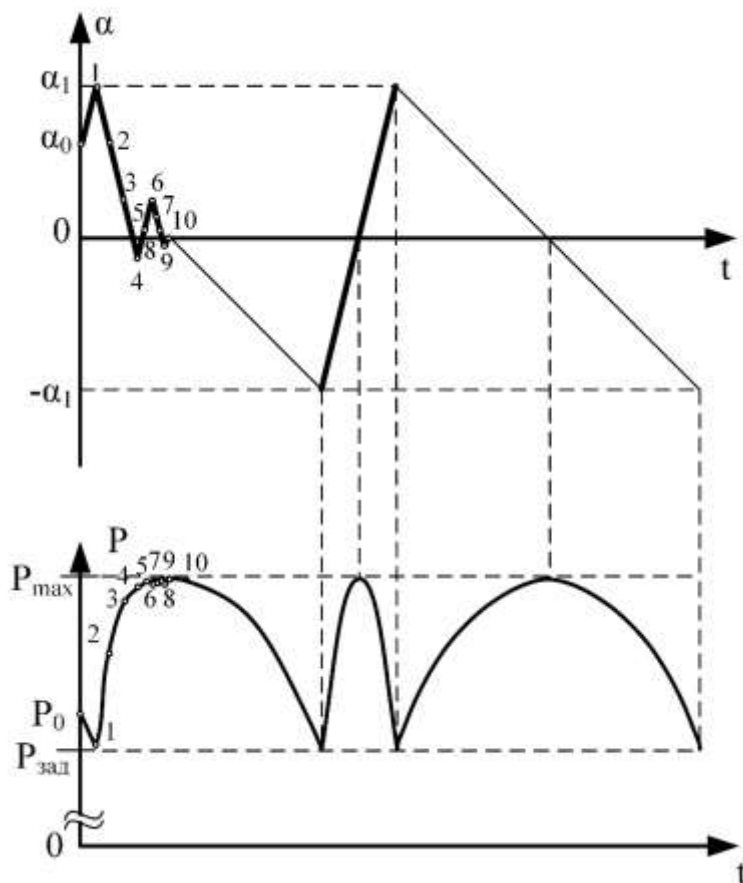


Рис. 1. Временные диаграммы работы модели СОСБ

При первичной ориентации начальный угол $\alpha_0 = 28,8^\circ$ (рис. 1), при этом значении угла мощность, генерируемая СБ, равна $P_0 = 2,8$ Вт. В соответствии с алгоритмом модифицированного градиентного спуска при заданных $\varepsilon_1 = 0,01$ Вт, $\varepsilon_2 = 0,9^\circ$ и $k = 0,5$ было проведено десять итераций (на рис. 1 обозначены точками 1, 2, ..10) для выполнения условия (1), при этом максимальная мощность составила $P_{\max} = 4$ Вт. По окончании первичной ориентации СОСБ начинает работать в режиме обеспечения поддержания заданного уровня мощности (установлено $P_{\text{зад}} = 2,5$ Вт). По результатам работы СЭП получено, что граничный угол, при котором выполняется условие (3), равен $\alpha_1 = \pm 39,6^\circ$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение интеллектуальной СОСБ с управлением на микроконтроллере на борту КА позволит увеличить энергоприток от СБ, расширит функциональные возможности такой системы и повысит ее автономность. При этом микропроцессорные системы управления поз-

воляют уменьшить массогабаритные показатели СОСБ, снизить ее стоимость, увеличить надежность и функциональность.

Список используемых источников

1. *Лопота В.А., Минаков Е.П., Юревич Е.И.* Современное состояние и перспективы развития отечественной космической робототехники // Актуальные проблемы защиты и безопасности: труды 11-ой научно-практической конференции. – СПб.: Астерион, 2008. – Т.5. – С. 49–54.
2. Бортовые системы управления космическими аппаратами: учеб. пособие / А.Г. Бровкин, Б.Г. Бурдыгов, С.В. Гордийко и др.; под ред. А.С. Сырова. – М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2010. – 304 с.
3. *Раушенбах Г.* Справочник по проектированию солнечных батарей: пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 360 с.
4. *Кохц Д.* Измерение, управление и регулирование с помощью PIC микроконтроллеров. – М.: МК-Пресс, 2007. – 300 с.
5. Системы электроснабжения космических аппаратов и ракет-носителей: учеб. пособие / Д.Л. Каргу, Г.Б. Стеганов, В.И. Петренко, В.А. Власов, А.И. Ратушняк, Е.Н. Маленин, Н.В. Радионов. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2013. – 116 с.
6. *Безняков А.М., Власов В.А., Маленин Е.Н.* Построение роботизированной системы ориентации солнечной батареи для малого космического аппарата // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королева. – 2015. – Т. 14, № 1. – С. 9–17.

А.Е. Воронин;
Н.Е. Пешехонов,
кандидат техн. наук, доцент

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ НАДЕЖНОСТИ ГЛУБОКОГО СЕКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Рассматриваются вопросы определения показателя надежности системы электроснабжения при глубоком секционировании, а также различные методические подходы к учету секционных выключателей при определении показателя надежности системы электроснабжения. Проанализированы результаты различных методов оценки надежности системы электроснабжения с глубоким секционированием и предложен наиболее приемлемый, с точки зрения авторов, методический подход к определению показателя надежности системы электроснабжения.

Ключевые слова: система электроснабжения, показатель надежности, методы определения надежности, глубокое секционирование.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время при выдаче тактико-технического задания на создание специальных объектов (СО) показатель функционирования специального объекта и, соответственно, систем, обеспечивающих его работу, задается такими показателями, как вероятность безотказной работы, коэффициент готовности, коэффициент оперативной готовности и даже таким показателем, как коэффициент технической готовности, который не связан непосредственно с выходным эффектом. Для выбора того или иного показателя, способного достоверно охарактеризовать степень соответствия СО заданным требованиям, необходимо учитывать основные признаки создаваемого объекта, такие как:

- режимы функционирования;
- варианты применения объекта по назначению;
- число допустимых (учитываемых) работоспособных состояний (уровней эффективности) объекта при применении по назначению;
- характер зависимости между требуемой длительностью безотказной работы объекта и выходным эффектом от его применения;
- возможность восстановления работоспособного состояния образца после отказа на месте эксплуатации.

При определении показателя надежности функционирования СО необходимо учитывать надежность всех систем, из которых состоит СО в целом, в том числе и системы электроснабжения (СЭС) объекта.

При проектировании СЭС и в процессе ее эксплуатации определение показателя надежности, способы повышения надежности выбираются на основании проведения технико-экономических расчетов различных структурных вариантов СЭС. Оценка надежности структурных вариантов построения СЭС должна осуществляться одним и тем же методом.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПОКАЗАТЕЛЯ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Одним из главных принципов построения СЭС является глубокое секционирование – от главной понизительной подстанции и ТЭЦ до сборных шин низкого напряжения. На секционных аппаратах, как правило, предусматриваются устройства автоматического включения

резерва (АВР). Это значительно повышает надежность СЭС. Крупные подстанции и распределительные пункты питаются не менее чем по двум радиальным линиям, которые обычно работают раздельно, каждая на свою секцию; при выходе из работы одной из них другая автоматически берет на себя всю нагрузку электроприемников первой и второй категории [1].

Для определения показателя надежности электроснабжения используют следующие методы [2]:

- метод вероятностных и марковских моделей;
- метод последовательного эквивалентирования;
- логико-вероятностный метод с использованием дерева отказа;
- таблично-логический метод;
- топологический метод расчета и анализа и др.

В процессе использования того или иного метода оценки показателя надежности возможны различные методические подходы к учету функционирования отдельных элементов СЭС. Например, учет применяемых устройств АВР.

При составлении эквивалентной схемы СЭС шины распределительных устройств эквивалентировать как один элемент (блок, имеющий вход и выход), в то же время секционный выключатель с устройством АВР (далее просто АВР) включается в разрез шин. Таким образом, можно располагать АВР между последовательно соединенными элементами перед или после шин (рис. 1). Возможно также не учитывать сами шины, а представлять вместо них просто точки соединения секций, что часто встречается в технической литературе при иллюстрации примеров расчетов надежности СЭС. Для учета шин существуют еще несколько подходов. В литературе при определении надежности СЭС в справочных данных шины указываются, но в расчетах не учитываются, а учитываются отходящие от них линии, а именно, коммутационные аппараты и кабельные линии. То есть отказ шины может наступить при протекании тока короткого замыкания по ней. Это возможно либо при замыкании самих шин, что маловероятно, либо при возникновении короткого замыкания на отходящих линиях и отказе коммутационного аппарата. То есть для того, чтобы произошел отказ шины, необходимо наступление одновременно двух событий: короткого замыкания на отходящей линии и отказа коммутационного аппарата, отключающего эту линию.

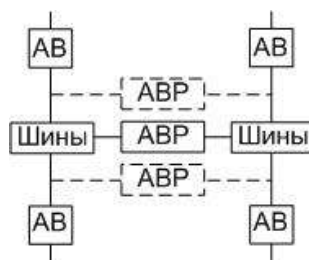


Рис. 1. Схема СЭС с возможными вариантами учета включения устройства АВР:

АВ – автоматический выключатель;

АВР – устройство автоматического включения резерва

Если СЭС разбить на подсистемы, включающие по одному секционированному звену, то такие подсистемы можно рассмотреть как источник питания для нижестоящих подсистем. Секционированные АВР шины заменим одним источником, и дерево отказа будет строиться относительно этого источника.

С учетом вышесказанного можно выделить следующие методические подходы к определению надежности СЭС:

- 1) логико-вероятностный метод с использованием дерева отказа: деление системы на подсистемы и рассмотрение вышестоящей подсистемы в качестве источника питания для нижестоящей подсистемы;
- 2) логико-вероятностный метод с использованием преобразований схемы типа «Мостик»;
- 3) метод последовательного эквивалентирования.

Также рассмотрим различные подходы к определению интенсивности отказов сборных шин. Расчет по различным методическим подходам дает различные показатели надежности СЭС. Для сравнительного анализа различных подходов будем использовать такой показатель надежности, как вероятность безотказной работы.

АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ

Анализ различных методических подходов проведем на примере СЭС СО (рис. 2), которая состоит из высоковольтной и низковольтной частей. Высоковольтная часть включает в себя два ввода с вакуумными выключателями, устройство АВР и два силовых трансформатора 10/0,4 кВ. В состав низковольтной части входят автоматические выключатели, сборка шин, которые соединены между собой устройством АВР, и блок автоматического переключения, от которого потребитель получает питание.

Для облегчения расчетов показателей надежности СЭС с двойным секционированием целесообразно условно разделить систему на более простые подсистемы, а именно, I, II, III, IV.

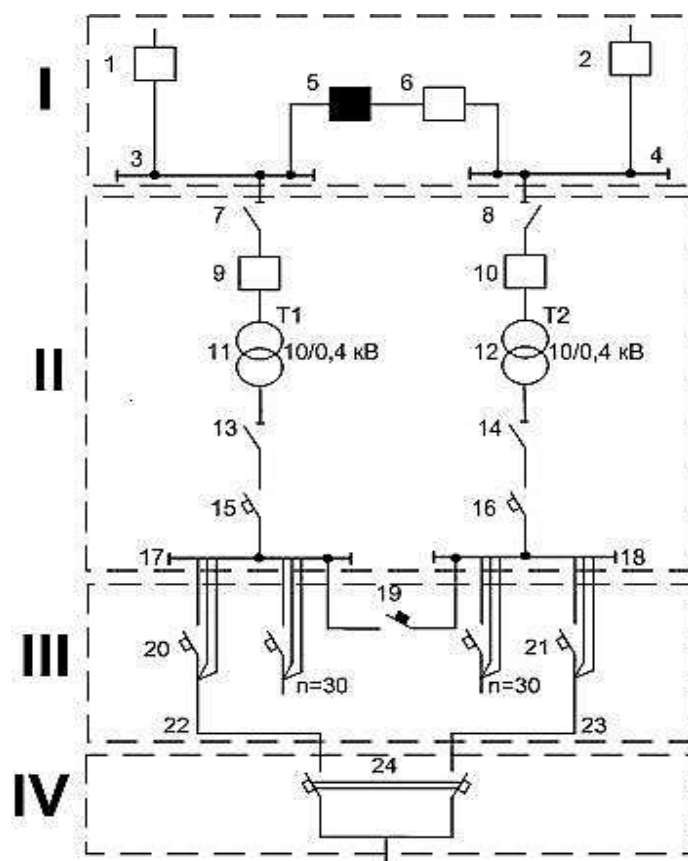


Рис. 2. Схема внутреннего электроснабжения специального объекта

Исходные данные для расчета надежности СЭС приведены в табл. 1.

Различные варианты учета интенсивности отказов шин, которые указывались выше, применяются во всех рассматриваемых случаях определения показателя надежности СЭС с применением трех методических подходов.

Таблица 1

Интенсивности отказов элементов СЭС

Номер элемента СЭС	Наименование элемента СЭС	λ , 1/месяц
1, 2, 6, 9, 10	Вакуумный выключатель, 10 кВ	0,00033
3, 4	Шины РУ, 10 кВ (3 присоединения)	0,00016
5	АВР 10кВ	0,0005
7, 8	Разъединитель, 10 кВ	0,00083
11, 12	Силовой трансформатор, 10 кВ	0,001
13, 14	Рубильник, 0,4 кВ	0,00004
15,16, 20, 21	Автоматический выключатель, 0,4 кВ	0,00416
17, 18	Сборка НН, 0,4 кВ	0,00058
19	АВР 0,4кВ	0,0018
22, 23	Кабель 0,4 кВ, 50м	0,00083
24	Блок автоматического переключения 0,4кВ	0,00183

Определим вероятность безотказной работы (ВБР) данной СЭС (см. рис. 2) с помощью различных методических подходов.

1. Логико-вероятностный метод с использованием дерева отказа, при котором происходит деление системы на подсистемы, а вышестоящая подсистема является источником питания для нижестоящей подсистемы. Определим вероятность безотказной работы СЭС (см. рис. 2) с помощью логико-вероятностного метода с использованием дерева отказа (рис. 3).

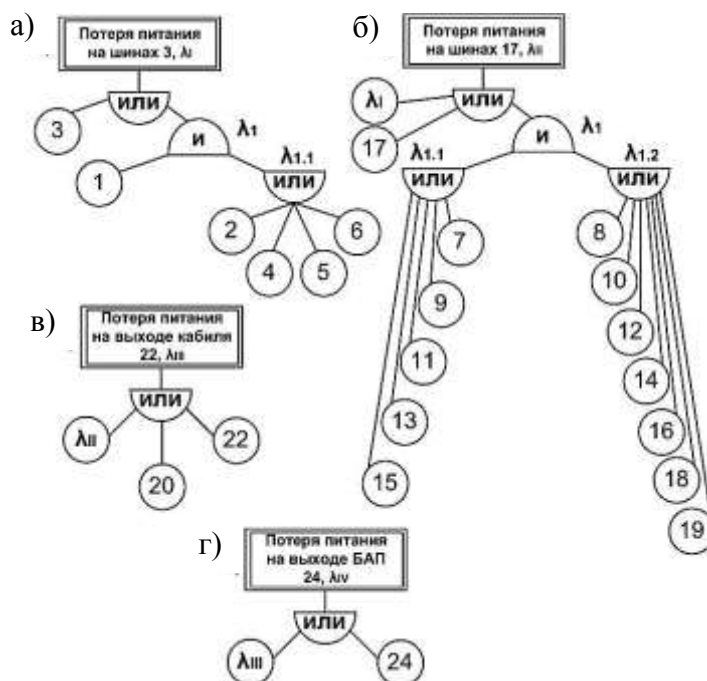


Рис. 3. Дерево отказов СЭС:

а – дерево отказа подсистемы I; б – дерево отказа подсистемы II;
в – дерево отказа подсистемы III; г – дерево отказа подсистемы IV

На рис. 3 приняты следующие обозначения: \textcircled{i} – событие отказа i -го элемента; $\textcircled{\text{или}}$ – выходное событие происходит, если случается любое из входных событий (дизъюнкция); $\textcircled{\text{и}}$ – выходное событие происходит, если все входные события случаются одновременно (конъюнкция).

Примем следующие условия:

- показатель надежности определяется для каждой подсистемы;
- вышестоящая подсистема является источником питания для нижестоящей подсистемы;
- за отказ подсистемы принимается потеря питания на одной из шин, так как данная СЭС симметрична.

Исходя из того, что каждая вышестоящая подсистема является источником питания для нижестоящей подсистемы, как было сказано ранее, схему СЭС представим в виде эквивалента (рис. 4).



Рис. 4. Эквивалентная схема СЭС

Результаты расчета показателя надежности по первому методическому подходу сведены в табл. 2.

Таблица 2

**Результаты расчета показателей надежности СЭС
по первому методическому подходу**

Номер подсистемы	Наименование элемента СЭС	λ , 1/месяц	P, за месяц
Без учета присоединений к шине			
1	На шине РУ, 10 кВ	0,000255	0,999744
2	На сборке НН, 0,4 кВ	0,001455	0,998545
3	На кабеле 0,4 кВ	0,006455	0,993565
4	На БАП	0,008289	0,991745
Итого за СЭС:		0,008289	0,991745
С учетом присоединений к шине			
1	На шине РУ, 10 кВ	0,000255	0,999744
2	На сборке НН, 0,4 кВ	0,001455	0,997916
3	На кабеле 0,4 кВ	0,007085	0,992939
4	На БАП	0,008919	0,991120
Итого за СЭС:		0,008919	0,991120

2. Логико-вероятностный метод с использованием преобразований схемы типа «Мостик». Применение в СЭС секционирования с помощью АВР между двумя параллельными линиями образует схему типа «Мостик» (рис. 5, а). Мостиковую схему можно представить с помощью дерева отказа (рис. 5, б) [3].

Как было отмечено ранее, при составлении эквивалентной схемы СЭС возможно располагать устройство АВР между последовательно соединенными элементами перед или после шин. Проведем расчеты возможных вариантов, но предварительно необходимо изменить границы подсистем данной СЭС (рис. 6).

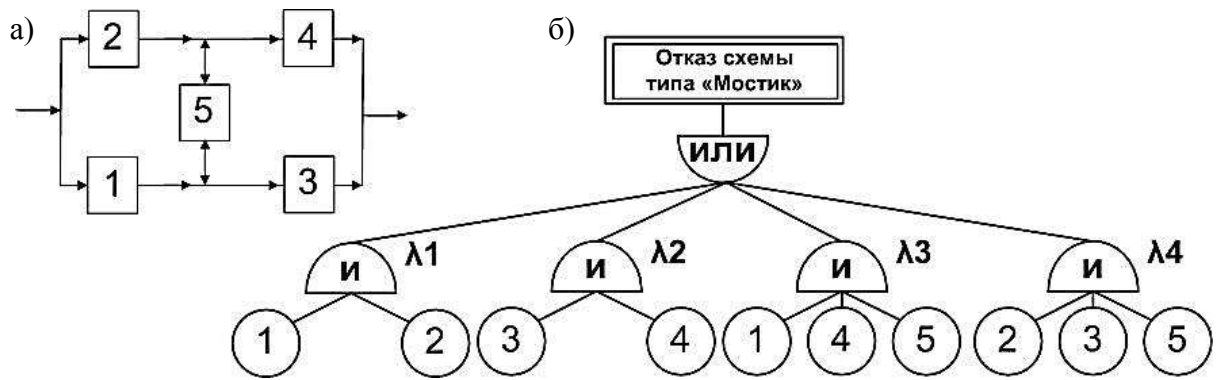


Рис. 5. Схема типа «Мостик»:
 а – эквивалентная схема;
 б – дерево отказов схемы типа «Мостик»

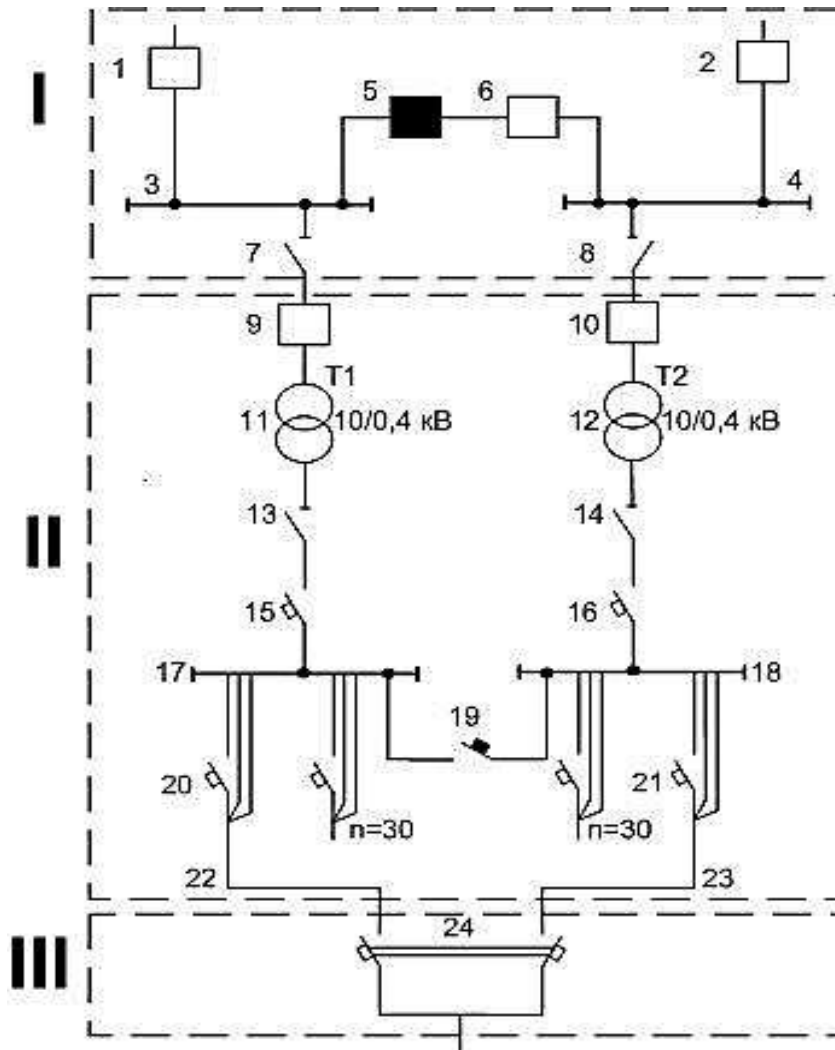


Рис. 6. Схема внутреннего электроснабжения специального объекта

На рис. 7 изображено дерево отказов СЭС с учетом различных вариантов расположения устройства АВР.

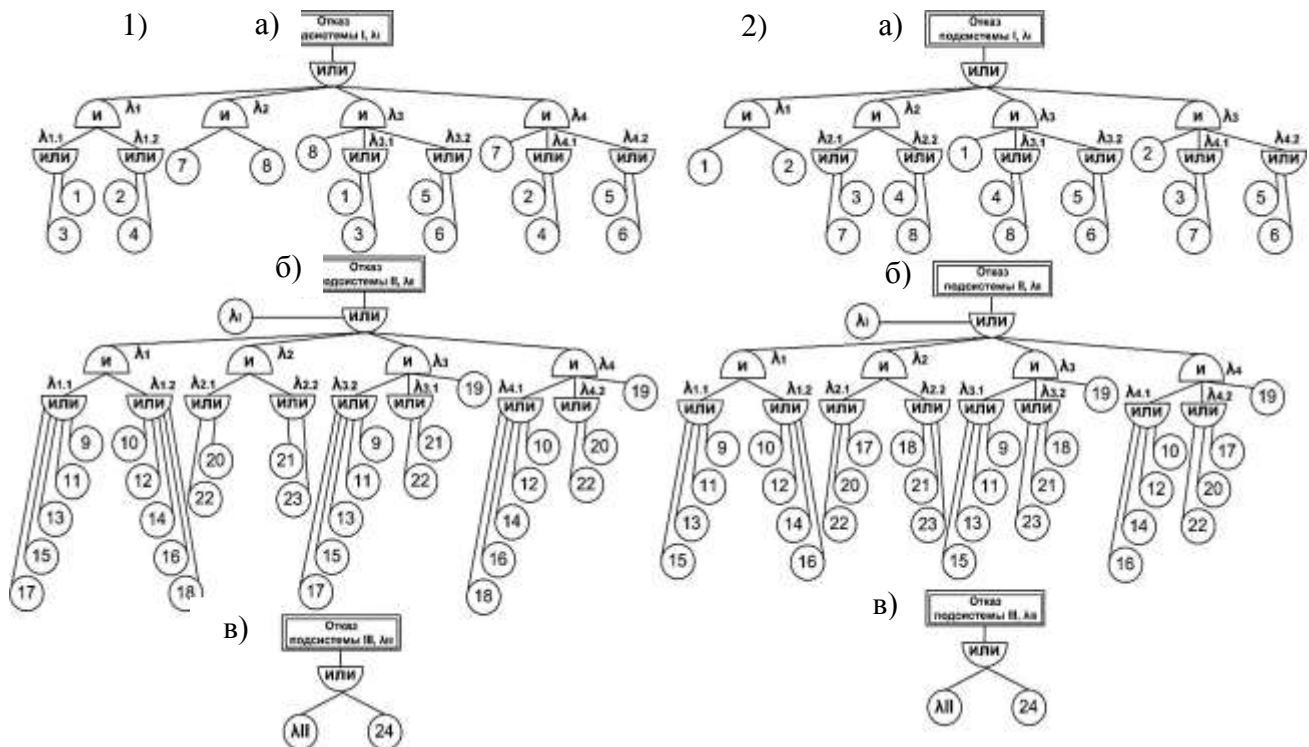


Рис. 7. Дерево отказов СЭС с учетом расположения устройства АВР:

1 – расположение устройства АВР после шин;

2 – расположение устройства АВР перед шинами;

а – дерево отказа I подсистемы; б – дерево отказа II подсистемы;

в – дерево отказа III подсистемы

3. Метод последовательного эквивалентирования. Показатель надежности данной структуры СЭС (см. рис. 2) можно определить путем эквивалентных преобразований расчетной схемы.

Простейшей технической системой в смысле надежности является такой комплекс элементов, где отказ одного элемента вызывает отказ всей системы, но не изменяет надежность других. Такое соединение элементов системы в теории надежности называют последовательным, а ВБР такой системы определяется путем перемножения ВБР i -х последовательных элементов [4].

Сложная система состоит из комплексов элементов, где отказ n элементов ведет к отказу всей системы. В этом случае используется правило конъюнкции, и ВБР сложной системы определяется через вероятность отказа.

Преобразуем СЭС (см. рис. 6) в эквивалентную схему, состоящую из последовательных и параллельных соединений элементов и предварительно разбитую на три подсистемы с учетом расположения устройства АВР относительно шин (рис. 8).

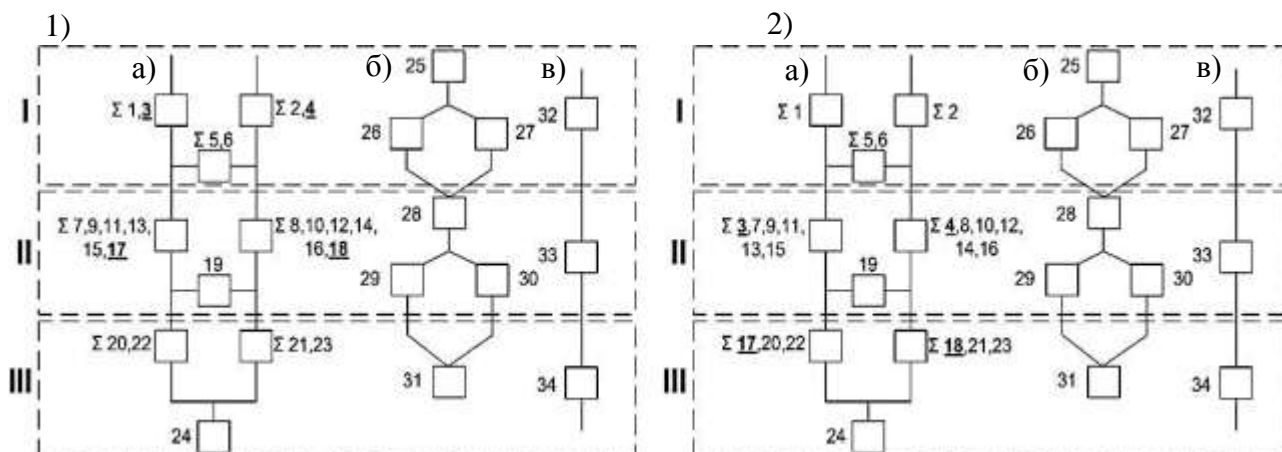


Рис. 8. Эквивалентная схема СЭС:

1 – расположение устройства АВР после шин;

2 – расположение устройства АВР перед шинами;

а – I этап преобразования подсистемы; б – II этап преобразования подсистемы;

в – III этап преобразования подсистемы

Результаты расчета показателя надежности по третьему методическому подходу сведены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты расчета показателей надежности СЭС по третьему методическому подходу

Номер подсистемы	λ , 1/месяц	P, за месяц	Номер подсистемы	λ , 1/месяц	P, за месяц
АВР перед шинами			АВР после шин		
Без учета присоединений к шине			Без учета присоединений к шине		
1	0,000001	0,999998	1	0,000004	0,999995
2	0,000483	0,999516	2	0,000531	0,999468
3	0,002184	0,997818	3	0,002116	0,997885
Итого за СЭС:	0,002669	0,997334	Итого за СЭС:	0,002652	0,997351
С учетом присоединений к шине			С учетом присоединений к шине		
1	0,000001	0,999998	1	0,000004	0,999995
2	0,000483	0,999516	2	0,000628	0,999372
3	0,002264	0,997737	3	0,002116	0,997885
Итого за СЭС:	0,002749	0,997254	Итого за СЭС:	0,002748	0,997255

В заключении выполненного анализа представлена сводная таблица полученных результатов (табл. 5).

Таблица 5

Сводная таблица показателей надежности СЭС

Метод определения надежности	Вариант расчета	λ , 1/месяц	P, за месяц
Первый методический подход	Без учета присоединений к шине	0,008289	0,991745
	С учетом присоединений к шине	0,008919	0,991120
Второй методический подход	АВР после шин		
	Без учета присоединений к шине	0,002563	0,997439
	С учетом присоединений к шине	0,002652	0,997351
	АВР перед шинами		
	Без учета присоединений к шине	0,002560	0,997443
	С учетом присоединений к шине	0,002642	0,997361
Третий методический подход	АВР после шин		
	Без учета присоединений к шине	0,002652	0,997351
	С учетом присоединений к шине	0,002748	0,997255
	АВР перед шинами		
	Без учета присоединений к шине	0,002669	0,997334
	С учетом присоединений к шине	0,002749	0,997254

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учет расположения в эквивалентной схеме устройства АВР существенно влияет на значение показателя надежности. Применение первого подхода замены шин с секционированием на единый источник питания уменьшает значение ВБР.

По мнению авторов, учет глубокого секционирования необходимо вести через замену на один источник питания, так как это дает наименьший показатель ВБР. Следовательно, позволяет задать требования по надежности СЭС с запасом.

Список используемых источников

1. Ермилов А.А. Электроснабжение промышленных предприятий. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М., Л.: Энергия, 1977. – 128 с.
2. Волков Н.Г. Надежность электроснабжения: учеб. пособие / Том. политехнический ун-т. – Томск, 2003. – 140 с.
3. Сравнительный анализ технологий деревьев отказов и автоматизированного структурно-логического моделирования, используемых для выполнения работ по вероятностному анализу безопасности АЭС и АСУТП на стадии проектирования: отчет о НИР (заключительный) / Санкт-Петербургский науч.-исслед. и проет.-констр. ин-т «Атомэнергопроект. – СПб., 2005. – 282 с.
4. Гук Ю.Б., Синенко М.М., Тремясов В.А. Расчет схем электроснабжения. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 216 с.

Л.К. Горшков,
доктор техн. наук, профессор;
В.И. Щербаков,
кандидат техн. наук, доцент

КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ СОУДАРЯЮЩИХСЯ МАСС В УДАРНЫХ МЕХАНИЗМАХ С ПЕРИОДИЧЕСКИМ НЕГАРМОНИЧЕСКИМ ВОЗМУЩЕНИЕМ

Показано новое решение задачи о вынужденных колебаниях взаимодействующих массивных элементов системы под воздействием периодического негармонического возмущения. Решение получено в аналитическом виде при допущениях, не противоречащих условиям эксплуатации.

Ключевые слова: вынужденные колебания, периодическое негармоническое возмущение, возмущающая сила, соударяющиеся массы, резонансные явления, амплитудно-частотные характеристики.

В описании работы механизмов, работающих при повышенных вибрациях, заложен принцип возникновения энергии в виде волновых импульсов. Теория ударных импульсов предполагает периодичность воздействия на рабочий орган возмущений, в общем случае, негармонического характера. При этом возмущающая сила (рис. 1), создаваемая внешними возбудителями, изменяется по периодическому закону, отличному от гармонического [1, 2]:

$$F(t) = F(t + T),$$

где T — период колебательных движений, $T = 2\pi/\omega$;

ω — частота возмущающей силы.

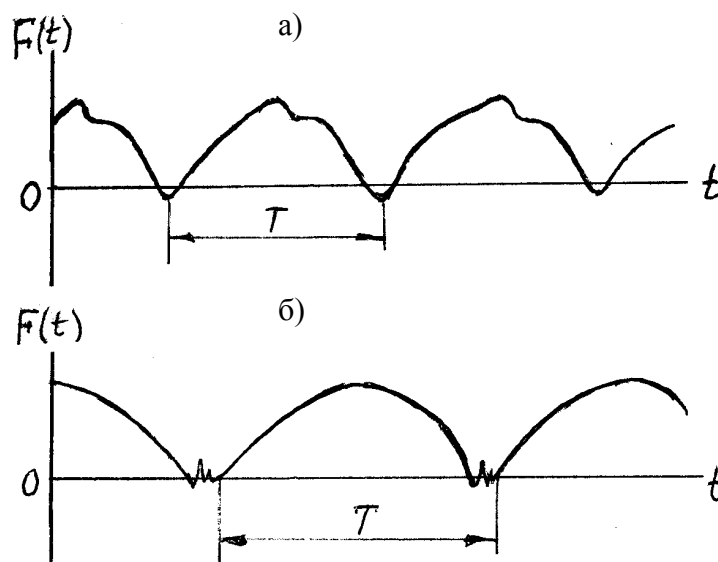


Рис. 1. Примеры периодической негармонической возмущающей силы

Любая периодическая функция $F(t)$, если она удовлетворяет условию Дирихле (ограничена, может иметь разрывы первого рода и конечное число экстремумов на конечном интервале), может быть представлена сходящимся рядом Фурье [4]:

$$F(t) = F_0 + \sum_{i=1}^{\infty} (a_i \cos i\omega t + b_i \sin i\omega t), \quad (1)$$

где F_0 – среднее значение возмущающей силы, $F_0 = \frac{1}{T} \int_0^T F(t) dt$;

a_i, b_i – некоторые коэффициенты, определяемые по зависимостям [1, 2]:

$$a_i = \frac{2}{T} \int_0^T F(t) \cos i\omega t dt; \quad b_i = \frac{2}{T} \int_0^T F(t) \sin i\omega t dt, \quad (i = 1, 2, 3, \dots).$$

Закон вынужденных колебаний будем искать также в форме ряда Фурье [4]:

$$x = A_0 + \sum_{i=1}^{\infty} (A_i \cos i\omega t + B_i \sin i\omega t), \quad (2)$$

где x – смещение элементов колебательной системы в направлении действия внешней возмущающей силы;

A_0, A_i, B_i – заранее неизвестные коэффициенты.

Допуская, что внутреннее сопротивление движению взаимодействующих элементов колебательной системы много меньше внешней возмущающей силы и поэтому таким сопротивлением можно пренебречь, запишем в общем виде дифференциальное уравнение движения колеблющихся масс:

$$m\ddot{x} + cx = F(t). \quad (3)$$

Здесь m – обобщенная масса взаимодействующих элементов, $m = m_1 + m_2$;

c – обобщенный коэффициент жесткости системы [1, 3, 5]:

$$c = mk^2,$$

где k – круговая (циклическая) частота колебаний основного тона, рад/с.

Подставим выражения (1) и (2) в дифференциальное уравнение (3):

$$\begin{aligned} m \sum_{i=1}^{\infty} (-A_i i^2 \omega^2 \cos i\omega t - B_i i^2 \omega^2 \sin i\omega t) + c \left[A_0 + \sum_{i=1}^{\infty} (A_i \cos i\omega t + B_i \sin i\omega t) \right] = \\ = F_0 + \sum_{i=1}^{\infty} (a_i \cos i\omega t + b_i \sin i\omega t). \end{aligned} \quad (4)$$

Упростим уравнение (4), выделив в нем общие функции:

$$\begin{aligned} \cos i\omega t \left[m \sum_{i=1}^{\infty} (-A_i i^2 \omega^2) + c \sum_{i=1}^{\infty} A_i - \sum_{i=1}^{\infty} a_i \right] + \\ + \sin i\omega t \left[m \sum_{i=1}^{\infty} (-B_i i^2 \omega^2) + c \sum_{i=1}^{\infty} B_i - \sum_{i=1}^{\infty} b_i \right] + cA_0 - F_0 = 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Так как функции $\cos i\omega t$ и $\sin i\omega t$ одновременно не могут быть равными нулю, то, чтобы получить ноль в правой части выражения (5), необходимо приравнять нулю полиномы в квадратных скобках при этих функциях:

$$\left\{ \begin{aligned} -m \sum_{i=1}^{\infty} A_i i^2 \omega^2 + c \sum_{i=1}^{\infty} A_i - \sum_{i=1}^{\infty} a_i &= 0; \\ -m \sum_{i=1}^{\infty} B_i i^2 \omega^2 + c \sum_{i=1}^{\infty} B_i - \sum_{i=1}^{\infty} b_i &= 0; \\ cA_0 - F_0 &= 0. \end{aligned} \right. \quad (6)$$

Из системы уравнений (6) получим значения неизвестных ранее коэффициентов:

$$\begin{cases} A_0 = \frac{F_0}{c}; \\ A_i = \frac{a_i}{c - m i^2 \omega^2}; \\ B_i = \frac{b_i}{c - m i^2 \omega^2}. \end{cases} \quad (7)$$

Введя в систему (7) значение $c = mk^2$, запишем закон вынужденных колебаний элементов системы при периодическом негармоническом возмущении:

$$x = \frac{1}{m} \left(\frac{F_0}{k^2} + \sum_{i=1}^{\infty} \frac{a_i \cos i\omega t + b_i \sin i\omega t}{k^2 - i^2 \omega^2} \right). \quad (8)$$

Приняв за расчетную величину частоту основного тона k , ограничим ряд (8) первым членом приведенной в скобках суммы, то есть примем $i=1$:

$$x = \frac{1}{m} \left[\frac{F_0}{k^2} + \frac{a_1 \cos \omega t + b_1 \sin \omega t}{k^2 - \omega^2} \right]. \quad (9)$$

Закон, записанный в виде выражения (9), соответствует характеру и порядку движения взаимодействующих масс при работе механизма.

Обобщенная скорость колебаний движущихся масс при этом будет определяться следующим образом:

$$\dot{x} = \frac{\omega}{m} \cdot \frac{b_1 \cos \omega t - a_1 \sin \omega t}{k^2 - \omega^2}. \quad (10)$$

В начале работы механизма, то есть в момент времени $t = 0$, зависимость (9) определит начальную координату активного элемента:

$$x_0 = \frac{1}{m} \left(\frac{F_0}{k^2} + \frac{a_1}{k^2 - \omega^2} \right),$$

откуда получим соотношение

$$a_1 = \frac{x_0 m k^2 - F_0}{k^2} (k^2 - \omega^2) = \frac{c x_0 - F_0}{\mu} = \frac{c(x_0 - x_{\text{ст}})}{\mu},$$

где $x_{\text{ст}}$ – статическая деформация соударяющихся элементов механизма, $x_{\text{ст}} = \frac{F_0}{c}$;

$$\mu - \text{коэффициент динамичности, } \mu = \frac{1}{1 - \frac{\omega^2}{k^2}}.$$

Если принять во внимание, что $x_{\text{ст}}$ – весьма малая величина, которой без ущерба для точности расчетов можно пренебречь, то выражение для коэффициента a_1 можно записать в следующем виде: $a_1 = x_0 c / \mu$. Из выражения видна физическая природа этого параметра – нагрузка на активный элемент колебательной системы, зависящая от внешнего воздействия и характерных размеров активного элемента, то есть от его конструктивного исполнения.

Проведя подобный анализ для выражения (10), нетрудно показать, что параметр b_1 имеет размерность силы, то есть той силы, которая препятствует началу движения (страгиванию) активного элемента (предельная величина трения скольжения) [5].

Начальную скорость совместного движения обобщенной массы m можно определить из дифференциального уравнения для вынужденного нисходящего (вертикального) движения:

$$m\ddot{x} = F_0 + m_1 g, \quad (11)$$

где m_1 – масса активного элемента системы.

Приведем выражение (11) к виду, удобному для интегрирования:

$$\ddot{x} = \frac{F_0 + m_1 g}{m}, \quad (12)$$

откуда обобщенная скорость может быть найдена как интеграл от зависимости (12):

$$\dot{x} = \frac{F_0 + m_1 g}{m} \cdot t + C,$$

где C – постоянная интегрирования, которая может быть определена из выражения (10) при $t = 0$:

$$C = \dot{x}_0 = V_0 = \frac{\omega b_1}{m_1(k_1^2 - \omega^2)}. \quad (13)$$

Здесь k_1 – собственная частота колебаний механизма в режиме совместного движения контактирующих масс, $k_1^2 = c_1/m$;

c_1 – жесткость активного элемента колебательной системы.

Таким образом, с учетом зависимости (13) выражение для обобщенной скорости получит окончательный вид:

$$\dot{x} = \frac{F_0 + m_1 g}{m} \cdot t + \frac{\omega b_1}{m_1(k_1^2 - \omega^2)}. \quad (14)$$

Так как скорость совместного движения обобщенной массы в конце времени одного, отдельно взятого соударения гасится до нуля, то это обстоятельство позволит определить параметр b_1 :

$$b_1 = \frac{m_1(F_0 + m_1 g)(\omega^2 - k_1^2)}{\omega m} \cdot t_0, \quad (15)$$

где t_0 – время, за которое скорость совместного движения обобщенной массы при единичном соударении гасится до нуля (определяется экспериментально применительно к конкретным условиям).

Значение параметра b_1 из выражения (15) соответствует устойчивому режиму работы рассматриваемой колебательной системы, реализация которого возможна при условии $\omega > k_1$, то есть когда частота внешнего воздействия больше частоты собственных колебаний при совместном движении взаимодействующих масс колебательной системы, что подтверждает известное положение теории колебаний об устойчивости высокочастотного режима работы вибрационных машин и вообще ударных механизмов [2].

Из выражения (8) видно, что вынужденные колебательные движения взаимодействующих элементов в колебательной системе носят, благодаря члену $\frac{F_0}{k^2}$, негармонический характер, хотя и совершаются по периодическому закону.

Из выражения (8) следует также, что, если $\omega = k/i$ (где $i = 1, 2, \dots$), то $x \rightarrow \infty$. Это значит, что в колебательной системе могут иметь место несколько резонансов (рис. 2). В случае, когда $i = 1$, то есть когда $\omega = k$ (частота возмущения равна собственной частоте колебательной системы), наблюдается основной (главный) резонанс – резонанс на частоте основного тона. При значениях i , отличных от единицы ($i = 2, 3$ и т. д.), получим значения ω , равные $k/2, k/3, \dots$, то есть побочные резонансы на частотах унтертонов (первого, второго и т. д.), что показано на рис. 2,а. Отметим, что побочные резонансы наблюдаются в низкочастотной области колебательных движений, при этом под амплитудой колебаний в рассматриваемом случае понимается модуль наибольшего отклонения от средней величины A_0 .

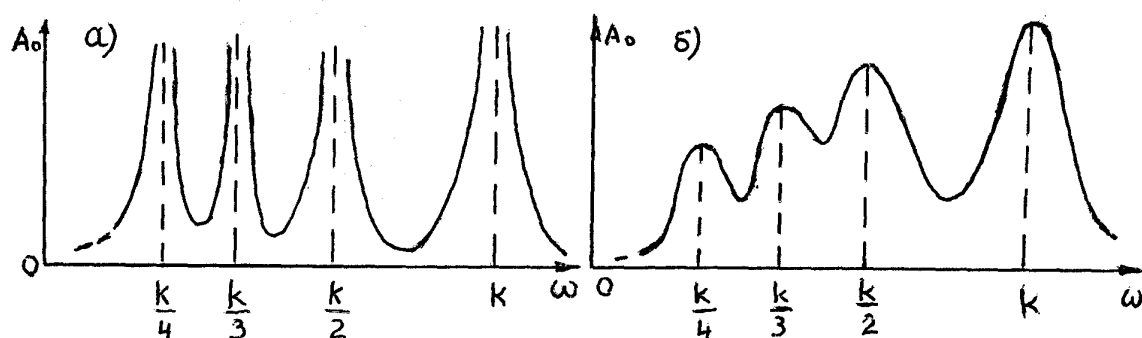


Рис. 2. Амплитудно-частотные характеристики периодических колебаний в ударных механизмах при негармонических возмущениях:
а – без сопротивлений; *б* – при наличии сопротивлений

Как следует из зависимости (2), где выражение в круглых скобках под знаком суммы $(A_i \cos i\omega t + B_i \sin i\omega t)$ может иметь два значения: отрицательное, если $\omega t = \pi$ ($\cos \pi = -1$, $\sin \pi = 0$), и положительное, если $\omega t = \pi/2$ ($\cos \pi/2 = 0$, $\sin \pi/2 = 1$).

При наличии сопротивлений движению взаимодействующих элементов в колебательной системе амплитуды для всех резонансов будут иметь конечные значения, причем чем выше убывающий порядок резонанса, тем ниже будет его конечное значение (рис. 2, б). Это значит, что наиболее благоприятным и устойчивым будет режим работы колебательной системы при периодическом негармоническом возмущении в зарезонансной области (когда $\omega > k$), как это уже отмечалось при анализе зависимости для параметра b_1 .

Список используемых источников

1. Алдошин Г.Т. Теория колебаний: учеб. пособие. – СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2006. – Ч.1. Линейные колебания. – 159 с.
2. Горшков Л.К. Основы теории механических колебаний в разведочном бурении. – СПб.: СПГИ, 1998. – 109 с.
3. Слёзкинский С.К. Колебания и устойчивость механических систем: учеб. пособие. – СПб.: ВКА им. А.Ф.Можайского, 2011. – 101 с.
4. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике: для научных работников и инженеров. – Изд. 4-е. – М.: Наука, 1978 – 831 с.
5. Бутенин Н.В., Лунц Я.Л., Меркин Д.Р. Курс теоретической механики: в 2 т. – 10-е изд. стер. – СПб.: Лань, 2008. – Т. 1/2. – 736 с.

А.М. Дзитоев,
кандидат техн. наук;
Е.В. Лаповок,
кандидат техн. наук;
С.И. Ханков,
доктор техн. наук

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУР ГРАНЕЙ КОСМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА В ФОРМЕ ТОНКОСТЕННОГО ПАРАЛЛЕЛЕПИПЕДА НА КРУГОВОЙ СОЛНЕЧНО-ПОСТОЯННОЙ ОРБИТЕ

Предложена методика расчетов стационарных температур граней космического объекта в форме полого параллелепипеда с тонкой стенкой, одна из граней которого постоянно совмещена с плоскостью местного горизонта. Объект движется по круговой солнечно-постоянной орбите в плоскости терминатора. Принято допущение об отсутствии кондуктивной тепловой связи между соприкасающимися гранями. Внутренняя полость рассматриваемого объекта вакуумирована. Поглощаемые пятью гранями параллелепипеда потоки излучения Земли зависят от высоты объекта над ее поверхностью и определяются величинами локального коэффициента облученности Землей для каждой из граней. Одной из этих граней, кроме того, поглощается поток прямого солнечного излучения. При расчете температур граней параллелепипеда учитывается внутреннее переоблучение между каждой из граней с остальными пятью гранями, при этом количество вариантов расчетов ограничено допущением о том, что внутренние поверхности граней абсолютно черные. Данная методика применена для расчетов температур объекта в форме куба. На основе определения тепловых проводимостей между гранями куба, поглощающими солнечное излучение, а также тепловое излучение Земли, и противоположными им гранями определен критерий тонких стенок куба.

Ключевые слова: космический объект, солнечно-постоянная орбита, энергетический баланс космического объекта, тепловое излучение Земли, локальные и эффективные коэффициенты облученности.

ВВЕДЕНИЕ

Исследования тепловых режимов изотермических космических объектов (КО) привели к созданию основ теории стационарных и нестационарных тепловых режимов КО канонических конфигураций [1–14]. К ним относятся КО сферической формы, а также осесимметричных конфигураций – цилиндрической и конической. Однако с сожалением приходится констатировать отсутствие до настоящего времени аналитических методов расчета распределений температур по поверхностям КО простейшей формы. Судя по имеющимся публикациям [15, 16], значительный практический интерес представляет исследование температурных распределений по поверхностям граней тонкостенного космического объекта кубической формы. Такие исследования имеют практическую направленность. Например, по изменениям температур граней предполагается делать вывод об изменении ориентации кубического объекта относительно направления на Землю и Солнце. Такие исследования проводились с использованием численных методов на основе программы ANSYS. Весьма актуальным является получение аналитических решений данной задачи хотя бы для типовых частных случаев.

Целью данных исследований являлась разработка методики расчета распределения температур по поверхности КО в форме полого тонкостенного параллелепипеда, движущегося по круговой солнечно-постоянной орбите, одна из граней которого находится в плоскости местного горизонта (ПМГ). При этом общая математическая модель составлена для параллелепипеда с произвольным соотношением длин ребер, а исследования теплового режима проведены применительно к объекту кубической формы, для которого существенно упрощается анализ результатов исследований без существенной потери общности.

ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОСМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

Объектом исследований является оболочечный КО в форме полого параллелепипеда, в котором толщина стенки одинакова для всех граней.

На рис. 1 представлена схема расположения КО относительно Земли и Солнца; стрелкой указано направление солнечного потока, падающего на одну из граней. Нижняя (обращенная к Земле) и верхняя (обращенная в сторону холодного космоса) грани параллелепипеда имеют площади ab , две вертикальные – ac и еще две – bc .

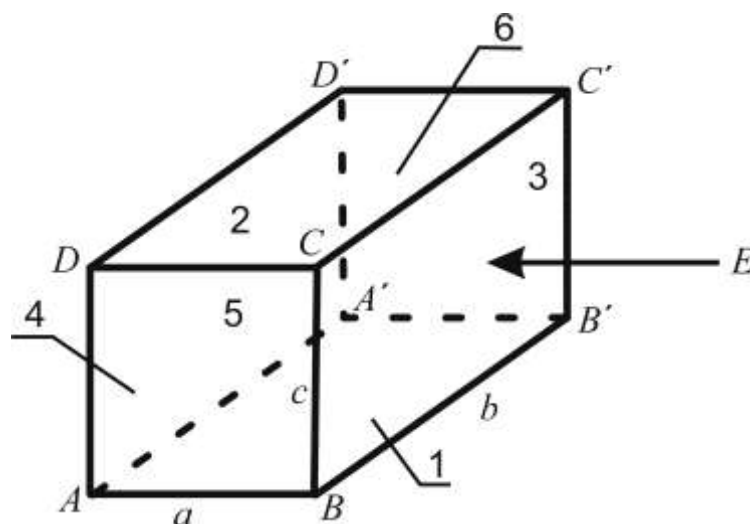


Рис. 1. Схема расположения КО относительно Земли и Солнца:
 $ABB'A'$ – основание параллелепипеда; $DCC'D'$ – его верхняя грань;
 $BCC'B'$ – освещенная грань; $ADD'A'$ – параллельная грань;
 $ABCD$ – эквивалентная грань; $A'B'C'D'$ – эквивалентная грань

На рис. 1 грани пронумерованы следующим образом: 1 – грань $ABB'A'$ совмещена с ПМГ, обращена к Земле и подсвечена ее инфракрасным (ИК) излучением; 2 – грань $DCC'D'$ совмещена с ПМГ, параллельна грани $ABB'A'$ и обращена в сторону холодного космоса, это единственная грань, которая может получать энергию не извне, а только в результате внутреннего теплообмена излучением с остальными пятью гранями; 3 – грань $BCC'B'$ перпендикулярна ПМГ и двум предыдущим граням, эта грань поглощает солнечное излучение, поток которого падает перпендикулярно ее поверхности; 4 – грань $ADD'A'$ параллельна предыдущей грани $BCC'B'$; 5 и 6 – грани $ABCD$ и $A'B'C'D'$ – две эквивалентные грани, в случае равенства их степеней черноты.

В математической модели температура каждой грани задается с индексом, соответствующим номеру грани по вышеуказанному перечню.

В физической модели приняты следующие допущения и ограничения.

1. Объект имеет столь тонкие стенки каждой грани, что площади всех внутренних поверхностей граней равны внешним.
2. Тепловые связи между гранями параллелепипеда в местах их соприкосновения (на ребрах) пренебрежимо малы, и теплообмен между гранями осуществляется только излучением во внутренней полости параллелепипеда.
3. Внутренняя полость параллелепипеда вакуумирована, и теплообмен между гранями осуществляется излучением.

4. Внутренние поверхности всех граней параллелепипеда изначально принимаются абсолютно черными, а для проведения конкретных расчетов абсолютно черными принимаются и наружные поверхности граней.

5. Земля считается изотермическим ламбертовским шаром с постоянной поверхностной плотностью мощности излучения.

6. Внутренние источники тепла в КО отсутствуют.

7. Каждая из граней изотермична.

8. Падающий на поверхность объекта поток отраженного Землей солнечного излучения не учитывается в общем энергетическом балансе ввиду малых величин комбинированных коэффициентов облученности для объекта, движущегося в плоскости терминатора.

При составлении математической модели параллелепипеда с самого начала примем условие равенства температур эквивалентных граней в виде

$$T_5 = T_6. \quad (1)$$

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

В соответствии с принятой физической моделью математическая модель КО в форме параллелепипеда с учетом (1) описывается системой, состоящей из пяти алгебраических уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \varphi_{12}\sigma(T_1^4 - T_2^4) + \varphi_{13}\sigma(T_1^4 - T_3^4) + \varphi_{14}\sigma(T_1^4 - T_4^4) + \varphi_{15}\sigma(T_1^4 - T_5^4) + \\ + \varphi_{16}\sigma(T_1^4 - T_6^4) + (1 - \varphi_0)\varepsilon\sigma T_1^4 + k_1\varphi_0\varepsilon\sigma(T_1^4 - T_e^4) = \varphi_0\varepsilon Q; \\ \varphi_{12}\sigma(T_1^4 - T_2^4) + \varphi_{32}\sigma(T_3^4 - T_2^4) + \varphi_{42}\sigma(T_4^4 - T_2^4) + \varphi_{52}\sigma(T_5^4 - T_2^4) + \\ + \varphi_{62}\sigma(T_6^4 - T_2^4) = \varepsilon\sigma T_2^4; \\ \varphi_{34}\sigma(T_3^4 - T_4^4) + \varphi_{32}\sigma(T_3^4 - T_2^4) + \varphi_{31}\sigma(T_3^4 - T_1^4) + \varphi_{35}\sigma(T_3^4 - T_5^4) + \\ + \varphi_{36}\sigma(T_3^4 - T_6^4) + (1 - \varphi_b)\varepsilon\sigma T_3^4 + k_3\varphi_b\varepsilon\sigma(T_3^4 - T_e^4) = \alpha_s E + \varphi_b\varepsilon Q; \\ \varphi_{41}\sigma(T_4^4 - T_1^4) + \varphi_{42}\sigma(T_4^4 - T_2^4) + \varphi_{43}\sigma(T_4^4 - T_3^4) + \varphi_{45}\sigma(T_4^4 - T_5^4) + \\ + \varphi_{46}\sigma(T_4^4 - T_6^4) + (1 - \varphi_b)\varepsilon\sigma T_4^4 + k_4\varphi_b\varepsilon\sigma(T_4^4 - T_e^4) = \varphi_b\varepsilon Q; \\ \varphi_{51}\sigma(T_5^4 - T_1^4) + \varphi_{52}\sigma(T_5^4 - T_2^4) + \varphi_{53}\sigma(T_5^4 - T_3^4) + \varphi_{54}\sigma(T_5^4 - T_4^4) + \\ + (1 - \varphi_b)\varepsilon\sigma T_5^4 + k_5\varphi_b\varepsilon\sigma(T_5^4 - T_e^4) = \varphi_b\varepsilon Q, \end{array} \right. \quad (2)$$

где φ_0 – локальный коэффициент облученности Землей плоской площадки, лежащей в плоскости местного горизонта;

T_i – температура i -й грани параллелепипеда;

T_e – эффективная температура Земли, $T_e = 254,8$ К [17];

ε – степень черноты поверхности параллелепипеда;

Q – удельный тепловой поток, излучаемый Землей в космическое пространство, $Q = 239$ Вт/м² [17];

φ_{ij} – коэффициент облученности поверхности j поверхностью i при теплообмене между гранями внутри параллелепипеда;

σ – постоянная Стефана – Больцмана, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²К⁴);

α_s – коэффициент поглощения солнечного излучения поверхностью грани;

E – солнечная постоянная, $E = 1366$ Вт/м² [17];

φ_b – коэффициент облученности Землей каждой боковой грани;

k_i – коэффициент, учитывающий результирующий тепловой поток от i -й грани па-

раллелепипеда к Земле и принимающий одно из двух значений [6]:

$$k_i = 1 \text{ при } T_i > T_e \text{ и } k_i = 0 \text{ при } T_i \leq T_e. \quad (3)$$

Коэффициент облученности φ_0 определяется по формуле

$$\varphi_0 = \left(\frac{R}{R+h} \right)^2, \quad (4)$$

где R – радиус Земли, $R = 6371$ км;

h – высота круговой орбиты КО над поверхностью Земли.

Величина φ_b описывается соотношением

$$\varphi_b = \frac{1}{\pi} \left(\arcsin \sqrt{\varphi_0} - \sqrt{\varphi_0} \cdot \sqrt{1-\varphi_0} \right). \quad (5)$$

Проведем дальнейший анализ для упрощенной ситуации, когда параллелепипед вырождается в куб и $a = b = c$. В этом случае из расчетов по методикам [18] следует, что коэффициенты облученности между противоположными и прилежащими гранями одинаковы и все равны $\varphi_{ij} = 0,2$, а для каждой грани суммы коэффициентов облученности с остальными пятью гранями равны единице.

Для тонкостенного объекта в форме куба с учетом равенства коэффициентов облученности между его гранями реализуется равенство температур между всеми вертикальными гранями, кроме подсвеченной Солнцем (третьей), то есть

$$T_4 = T_5 = T_6. \quad (6)$$

Равенство (6) приводит к упрощению исходной системы уравнений (2), которая теперь может быть представлена в виде системы из четырех уравнений. Дальнейшие исследования проводились для случая абсолютно черных внутренних и внешних поверхностей граней.

Введем дополнительные обозначения с учетом равенств $\varphi_{ij} = 0,2$ и $\varepsilon = \alpha_S = 1$:

$$\theta_i = \left(\frac{T_i}{100} \right)^4; \quad \theta_e = \left(\frac{T_e}{100} \right)^4 = \frac{Q}{\sigma_0} = 42,2; \quad \theta_E = \frac{E}{\sigma_0} = 241; \quad (7)$$

$$B_1 = 10 + 5(1 - k_1)\varphi_0; \quad B_2 = 211(1 + k_1)\varphi_0; \quad B_3 = 1205 + 422\varphi_b; \quad B_4 = 10 - 5\varphi_b; \quad B_5 = 211\varphi_b,$$

где σ_0 – приведенная постоянная Стефана – Больцмана, $\sigma_0 = 5,67$ Вт/(м²К⁴).

Из результатов численных расчетов установлено, что при определении температуры T_1 значение k_1 принимается в зависимости от получаемого соотношения этой температуры и величины T_e . Для всех высот следует принимать $k_3 = 1$, а $k_4 = 0$.

Подставив (7) в уравнение системы (2), получим с учетом равенства (6) следующие выражения:

$$\begin{cases} B_1\theta_1 = \theta_2 + \theta_3 + 3\theta_4 + B_2; \\ 10\theta_2 = \theta_1 + \theta_3 + 3\theta_4; \\ 10\theta_3 = \theta_1 + \theta_2 + 3\theta_4 + B_3; \\ B_4\theta_4 = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + B_5. \end{cases} \quad (8)$$

Из решения системы (8) можно определить тепловую проводимость от освещенной Солнцем грани к параллельной ей грани:

$$\sigma_{34} = \alpha_{34}a^2; \quad \alpha_{34} = \varphi_{34} \frac{\sigma_0(\theta_3 - \theta_4)}{T_3 - T_4}, \quad (9)$$

а также проводимость от подсвеченной Землей нижней грани к параллельной ей верхней грани куба:

$$\sigma_{12} = \alpha_{12} a^2; \quad \alpha_{12} = \varphi_{12} \frac{\sigma_0(\theta_1 - \theta_2)}{T_1 - T_2}, \quad (10)$$

где α_{ij} – коэффициент теплоотдачи излучением от грани i к грани j ;
 a – сторона куба.

При стороне куба $a = 1$ м тепловые проводимости численно равны коэффициентам теплопередачи излучением от тепловыделяющих граней к противоположным α_{34} и α_{12} . Как уже было определено ранее, $\varphi_{34} = \varphi_{12} = 0,2$.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

В результате численного решения системы уравнений (8) были получены зависимости от высоты температур всех граней куба. Эти зависимости монотонно убывают с ростом высоты, однако при высотах свыше 10000 км эти изменения малы, что позволяет провести оценку слабо меняющихся величин σ_{12} и σ_{34} для весьма широкого диапазона высот над поверхностью Земли – от 10000 км до 40000 км. При $h = 10000$ км значения температур равны: $T_1 = 228$ К, $T_2 = 215$ К, $T_3 = 338,5$ К и $T_4 = 207,6$ К. Соответственно, величины тепловых проводимостей излучением при стороне куба $a = 1$ м равны $\sigma_{12} = 0,44$ Вт/К и $\sigma_{34} = 0,96$ Вт/К.

В случае конечной толщины стенки куба тепловая проводимость от любой грани к противоположной ей может быть описана соотношениями:

$$\sigma_t = \gamma \lambda a; \quad \gamma = 4n(1-n); \quad n = \frac{l}{a}; \quad 0 \leq n \leq 0,5, \quad (11)$$

где λ – коэффициент теплопроводности материала кубического объекта;
 l – толщина грани.

Отношение тепловой проводимости от грани к грани по стенкам куба к тепловой проводимости излучением при бесконечно малой толщине стенки может быть определено из соотношения

$$m = \frac{\sigma_t}{\sigma_{ij}} = \gamma \frac{\lambda}{\alpha_{ij} a}. \quad (12)$$

Для объекта из сплава АМГ6 для всего возможного диапазона изменения температур коэффициент теплопроводности можно принять равным $\lambda = 130$ Вт/(м·К) [19]. Принимая для коэффициента теплопередачи излучением от грани 1 к грани 2 значение $\alpha_{12} = 0,44$ Вт/(м²К), для объекта кубической формы с длиной ребра $a = 1$ м получим из (11) и (12) величину n , при которой $m = 1$ (тепловая проводимость теплопроводностью по стенке сравнивается с тепловой проводимостью излучением). Эта величина может быть определена из решения квадратного уравнения вида

$$n^2 - n + 0,25\gamma = 0; \quad \gamma = \frac{\alpha_{ij} a}{\lambda} = 0,00338. \quad (13)$$

Из решения квадратного уравнения (13) можно получить $n = 0,000846$. В результате при стороне квадрата 1 м достаточно иметь толщину стенки куба из АМГ6 приблизительно $l = 0,85$ мм. По данным расчетов при толщине стенки 1 см тепловая проводимость теплопроводностью по четырем стенкам более чем на порядок (а точнее – в 11,8 раз) превышает тепловую проводимость излучением.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа общей тепловой модели космического объекта в форме полого параллелепипеда для частного случая кубического объекта с абсолютно черными внутренними и внешними поверхностями, движущегося по круговой орбите в плоскости терминатора, в случае, когда две параллельные грани объекта совмещены с плоскостью местного горизонта, получены следующие результаты.

1. Показано, что вследствие равенства коэффициентов облученности в полости куба между противоположными и прилежащими гранями три вертикальные грани имеют одинаковые температуры. Наиболее нагретыми гранями являются подсвеченные Солнцем или Землей, причем при высоких орбитах температура подсвеченной Солнцем грани более чем на 100 К превышает температуру грани, обращенную к Земле, а та, в свою очередь, всего на 10–15 К выше температуры остальных трех вертикальных граней и на 20 К выше температуры верхней грани, обращенной в сторону холодного космоса.

2. Ввиду высокой степени неизотермичности тонкостенного космического объекта кубической формы решение системы уравнений, описывающих температуры граней с учетом их взаимного лучистого теплообмена, затруднено при низких и средних орбитах, поскольку учет результирующего теплового потока от отдельных граней к Земле описывается с помощью локальных коэффициентов облученности этих плоских граней Землей. Данные затруднения снимаются для высоких орбит (от 10000 км над поверхностью Земли).

3. Весьма важным результатом можно считать определение величины толщины стенки, начиная с которой тепловая проводимость от грани к грани по толщине стенки превышает тепловую проводимость между гранями излучением. Такая критическая толщина при стороне куба 1 м не превышает 1 мм.

4. Определение указанного критического значения толщины стенки в дальнейшем может использоваться при составлении критерия изотермичности такого характерного космического объекта, как объект кубической формы с вакуумированной внутренней полостью.

Список используемых источников

1. Малоземов В.В. Тепловой режим космических аппаратов. – М.: Машиностроение, 1980. – 232 с.

2. Исследование теплового режима космических аппаратов оптического назначения / В.В. Альтов, С.В. Залетаев, Р.М. Копяткевич, А.И. Абросимов // Космонавтика и ракетостроение. – 2006. – № 3 (44). – С. 144–149.

3. Баёва Ю.В., Лаповок Е.В., Ханков С.И. Аналитическая методика расчета тепловых потоков в околоземном космическом пространстве, формирующих тепловой режим космических телескопов // Оптический журнал. – 2013. – Т. 80, № 5. – С. 30–37.

4. Дзитоев А.М., Ханков С.И. Методика распознавания космических объектов плоской и выпуклой формы по их собственному тепловому излучению в тени Земли // Оптический журнал. – 2015. – Т. 82, № 4. – С. 32–40.

5. Баёва Ю.В., Лаповок Е.В., Ханков С.И. Методика расчета нестационарных температур космического объекта на круговых орбитах // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2013. – Т. 56, № 12. – С. 51–56.

6. Дзитоев А.М., Лаповок Е.В., Ханков С.И. Высотные зависимости температуры изотермического космического объекта сферической формы // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2014. – № 3 (91). – С. 119–125.

7. Дзитоев А.М., Ханков С.И. Тепловое подобие космических объектов типовых конфигураций // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2014. – № 2 (90). – С. 130–136.

8. *Дзитоев А.М., Лаповок Е.В., Ханков С.И.* Условия теплового подобия космических объектов конической и цилиндрической формы // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2015. – Т. 58, № 12. – С. 179–184.
9. *Дзитоев А.М., Лаповок Е.В., Ханков С.И.* Методы аналитического моделирования тепловых режимов космических объектов в околоземном космическом пространстве // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2014. – Вып. 642. – С. 115–124.
10. *Дзитоев А.М., Лаповок Е.В., Ханков С.И.* Тепловые режимы космических объектов: монография / под ред. М.М. Пенькова. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2016. – 172 с.
11. *Баёва Ю.В., Лаповок Е.В., Ханков С.И.* Методика расчета нестационарных температур космического объекта, движущегося по эллиптической орбите // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – № 6 (86). – С. 67–72.
12. *Дзитоев А.М., Лаповок Е.В., Ханков С.И.* Аналитическая методика расчета нестационарной температуры сферического космического объекта при его движении по полярной эллиптической орбите // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2014. – Вып. 643. – С. 98–106.
13. *Баёва Ю.В., Лаповок Е.В., Ханков С.И.* Метод поддержания заданного температурного диапазона космического аппарата, движущегося по круговой орбите с заходом в тень Земли // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2013. – Т. 56, № 7. – С. 56–61.
14. *Каменев А.А., Лаповок Е.В., Ханков С.И.* Аналитические методы расчета тепловых режимов и характеристик собственного теплового излучения объектов в околоземном космическом пространстве. – СПб.: НТЦ им. Л.Т. Тучкова, 2006. – 186 с.
15. *Семена Н.П.* Определение ориентации космического аппарата на основе анализа поля температуры его внешней поверхности // Теплофизика и аэромеханика. – 2009. – Т. 16, № 1. – С. 235–247.
16. *Цаплин С.В., Большев С.А., Романов А.Е.* Основы теплообмена космических аппаратов. – Самара: Изд-во «Самарский университет», 2013. – 287 с.
17. *Trenberth K.E., Fasullo J.T., Keihl J.* Earth's global energy budget // Bull. Amer. Meteor. – 2009. – Vol. 90, № 3. – P. 311–323.
18. *Зигель Р., Хауэлл Д.* Теплообмен излучением. – М.: Мир, 1975. – 934 с.
19. *Баёва Ю.В., Ханков С.И.* Принципы выбора материалов зеркал для криооптических систем по совокупности теплофизических свойств // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Техника телевидения. – 2014. – № 2. – С. 111–125.

С.В. Саркисов,
кандидат техн. наук, доцент

ВЕРОЯТНОСТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Рассмотрен разработанный вероятностно-технологический метод расчета, включающий комплекс инженерных методик, позволяющий прогнозировать изменения параметрических характеристик функционирования оборудования и сооружений системы водоснабжения в зависимости от продолжительности их эксплуатации.

Ключевые слова: система водоснабжения, диагностика, прогнозирование, надежность, реконструкция, энергопотребление.

Мониторинг действующих систем водоснабжения показал, что в отличие от строительных конструкций их технологическая часть, а именно оборудование и коммуникации, изнашивались. Из-за физического износа насосов, запорно-регулирующей арматуры, труб повышается аварийность, растут затраты на техническое обслуживание, ремонт и электропотребление. Фактический объем аварийных работ имеет случайный характер, превышающий паспортный регламент в 2-3 раза [1]. Более 55 % трубопроводов и запорной арматуры эксплуатируются с превышением нормативного срока службы.

На объектах МО РФ эксплуатируются более 1700 насосных станций различного назначения. Насосная станция – это основной узел системы водоснабжения, от надежности работы которого зависит боеготовность технических систем и личного состава объектов различного назначения. На 70 % станций средняя продолжительность эксплуатации основных средств с учетом проводимых замен превышает нормативные сроки. Остаточный ресурс для основной массы насосных агрегатов не превышает 1-3 года, составляя: для насосов ЦНС300-180 – от 7000 до 10000 ч; ЭЦВ – от 14 000 до 24 000 ч; КМ-65-50-160 – от 22 000 до 36 000 ч; КМ-150-125-250 – от 13 000 до 18 000ч; НЦВ-16/25 – от 15 000 до 20 000; НЦВ-63/30 – 25 000 до 30 000 ч.

Опыт эксплуатации систем водоснабжения показал, что по мере работы из-за износа изменяются вероятностные и технологические показатели надежности насосов и гидравлическое сопротивление труб. Поэтому при модернизации оборудования системы подачи воды объектов военной инфраструктуры, с целью снижения эксплуатационных затрат и повышения надежности [2] их работы, необходимо знать закономерности изменения вероятностных и технологических показателей надежности насосов водопроводных насосных станций.

В связи с вышеизложенным положением дел необходимо прогнозировать изменения в течение времени параметрических характеристик функционирования системы водоснабжения [3]. Для решения поставленной задачи разработан вероятностно-технологический метод расчета, включающий комплекс инженерных методик, позволяющий определять при эксплуатации и разработке проектов реконструкции систем водоснабжения объектов МО РФ вероятностные и технологические показатели надежности и энергопотребления оборудования и сооружений данной системы. Данный метод основан на применении вероятностных и технологических моделей в виде однородных и неоднородных случайных процессов, которые являются функцией продолжительности эксплуатации.

Для примера применения методики приведены результаты исследования и прогнозирования изменения вероятностных и технологических показателей надежности насосов насосных станций системы водоснабжения.

Экспериментальному исследованию подлежали насосы производительностью до 100 м³/ч систем хозяйственного и питьевого водоснабжения, эксплуатируемые на различных объектах, и в том числе на объектах военной инфраструктуры.

На первом этапе определялись пределы изменения фактической, с учетом износа оборудования, средней или гамма-процентной наработок (интенсивности отказов) между отказами, капитальными ремонтами насосного оборудования.

На втором этапе оценивались вероятность и продолжительность пребывания в течение года станций в аварийных состояниях, когда имеют место групповые отключения насосов.

В процессе эксперимента насосы эксплуатировались в обычном режиме с выполнением капитального ремонта, а также с соблюдением профилактических мероприятий, которые включают в себя смазку, подтяжку, набивку сальников, текущие ремонты [2].

Для обработки эксплуатационных данных разработан алгоритм. В его основу положено нахождение частоты отказов $\omega_i^*(\Delta t)$, устранение которых требует выполнения текущего или капитального ремонта. За исходные ограничения приняты: риск эксплуатирующего предприятия – β ; риск служб надзора – α ; паспортная наработка на отказ по данным фирмы – поставщика оборудования. С целью повышения достоверности эксперимента установлено, что $\alpha = \beta = 0,05-0,002$ при продолжительности испытаний не менее года. Учету подлежали все состояния насосов, которые могут приводить к авариям. В качестве примера на рис. 1 приведены результаты выполненной работы по оценке показателей безотказности высокопроизводительного насоса ФВ 21400-58.

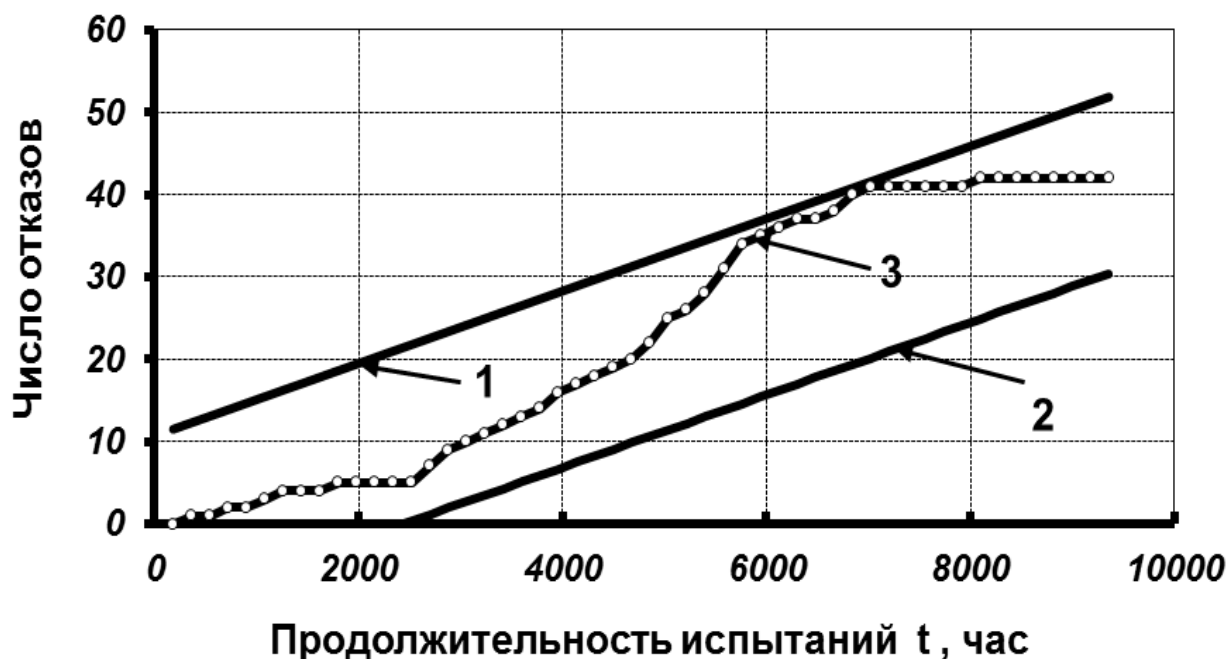


Рис. 1. Изменение в процессе эксплуатации насосной станции общей частоты отказов насосов типа ФВ 21400-58:

1 – верхняя граница количества отказов; 2 – нижняя граница количества отказов; 3 – фактическое число отказов в процессе эксперимента

Так, на рис. 1 показано, что верхняя граница (линия 1) количества отказов насосов типа ФВ 21400-58 n_{\max} при интенсивности отказов $\lambda_{\max} = 11 \cdot 10^{-4}$ 1/ч имеет вид:

$$n_{\max} = \frac{Ln \frac{1-\beta}{\alpha}}{Ln \frac{T_{\max}}{T_{\min}}} + \frac{N \left(\frac{1}{T_{\min}} - \frac{1}{T_{\max}} \right) \cdot t}{Ln \frac{T_{\max}}{T_{\min}}},$$

где T_{\max} – максимальная наработка между отказами, ч;

T_{\min} – минимальная наработка между отказами, ч;

t – период наблюдения, ч;

n_{\max} – максимальное число отказов;

n_{\min} – минимальное число отказов.

Нижняя граница (линия 2) количества отказов n_{\min} при интенсивности отказов $\lambda_{\min} = 6,8 \times 10^{-4}$ 1/ч определяется выражением:

$$n_{\min} = \frac{Ln \frac{\beta}{1-\alpha}}{Ln \frac{T_{\max}}{T_{\min}}} + \frac{N \left(\frac{1}{T_{\min}} - \frac{1}{T_{\max}} \right) \cdot t}{Ln \frac{T_{\max}}{T_{\min}}}.$$

Выполненный эксперимент позволил не только определить влияние длительной эксплуатации (более 22 лет) на фактический уровень аварийности насосов, но и обосновать выбор расчетной модели для разработки методики и программного комплекса по диагностированию надежности работы станций [4].

В табл. 1 показано, как может влиять на наработку между ремонтами (интенсивность отказов) физический износ оборудования.

Таблица 1

Показатели безотказности насосного оборудования

Тип насоса	Нарботка между отказами, ч	
	Фактическая	Паспортная
ФГ 81/31	500	8500
ФГ 115/38	600	8500
ФГ 216/24	400	8500
ФГ 450/22	500	7000
ФГ 540/95	600	7000
СД-450/95	600	7000
СД-800/32	700	8000
Д 500/65	700	8000
Д-6300/27	1000	8000
16-ФВ-18	1500	6500
24-ФВ-13	1500	6500
26-ФВ-22	1500	6500
ФВ 22700/63	2500	6500
ФВ 9000/63	3500	6500
ФВ 21400/58	5200	6500

При прогнозных оценках для выработки управленческих решений процесс изменения состояния оборудования насосной станции в течение месяца, года и далее предлагается моделировать в следующем виде:

$$\frac{P_i(t)}{dt} = \lambda_{i-1} P_{i-1}(t) - (\lambda_i + \mu_i) P_i(t) + \mu_{i+1} P_{i+1}(t). \quad (1)$$

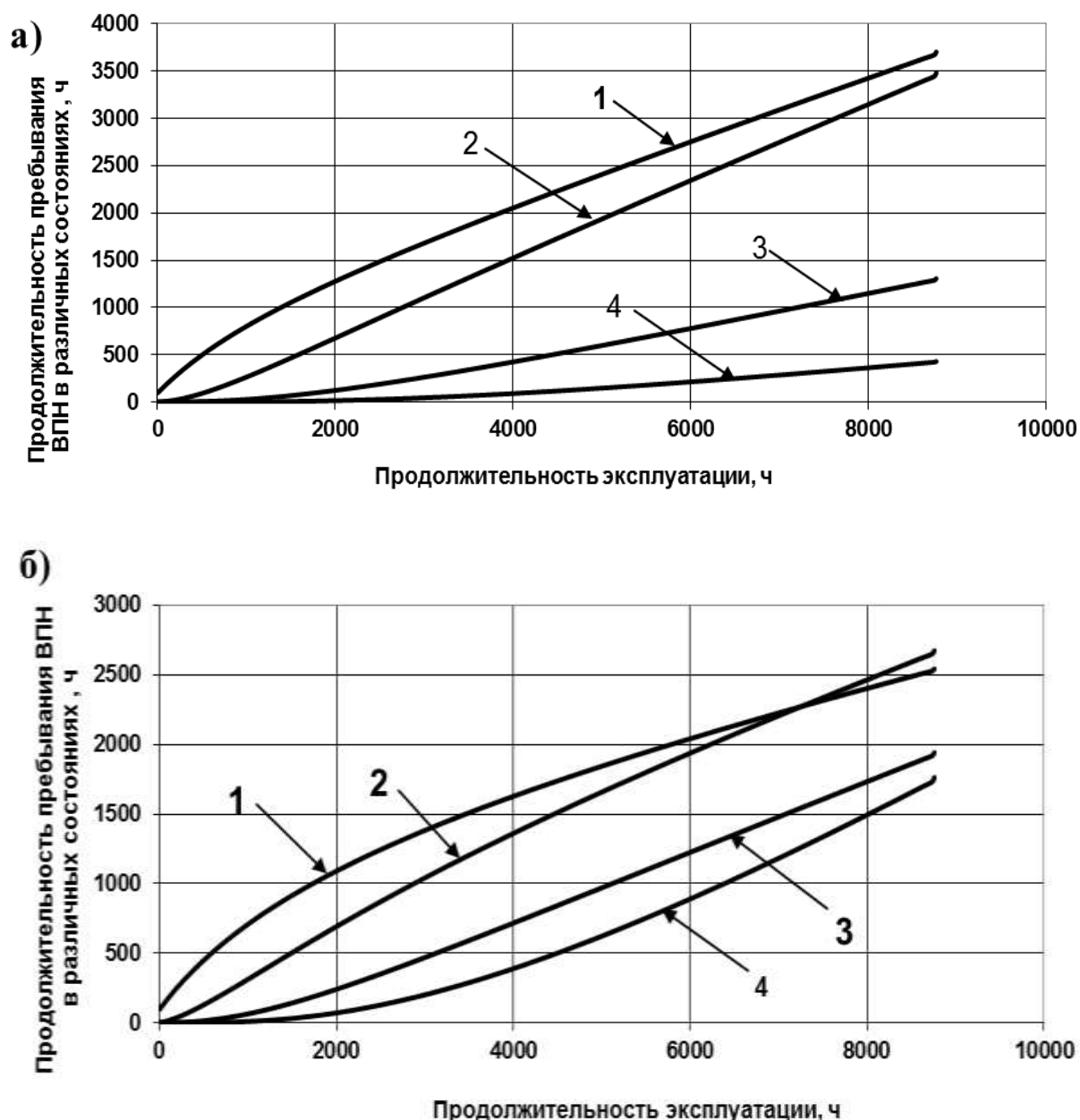


Рис. 2. Прогноз продолжительности пребывания насоса НС Танковый городок в течение года в различных состояниях:
 а – без учета физического износа оборудования; б – с учетом износа;
 1 – продолжительность состояния, когда все пять насосов исправны; 2 – то же, когда один насос находится в ремонте; 3 – то же, когда два насоса одновременно ремонтируются; 4 – то же, когда из пяти насосов одновременно три и более находятся в ремонте

Список используемых источников

1. Саркисов С.В., Путилин П.А. Результаты экспериментального исследования показателей безотказности сетей системы водоснабжения // Сборник статей международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы архитектуры, строительства, экологии и энергосбережения в условиях западной Сибири». – Тюмень: РИО ТюмГАСУ, 2015. – С. 204–210.
2. ГОСТ Р53480-2009. Надежность в технике. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 2010.

3. *Саркисов С.В., Путилин П.А., Валуйский В.А.* Определение закономерностей изменения параметрических характеристик, а также вероятностных и технологических показателей функционирования системы водоснабжения // *Инновации в современном мире: сборник статей Международной научно-практической конференции.* – Москва: РИО ЕФИР, 2015. – С. 25–28.
4. *Игнатчик В.С., Саркисов С.В., Путилин П.А.* Результаты исследования зависимости показателей безотказности трубопроводов сетей водоснабжения от материала и давления // *Журнал, изданный по материалам международной конференции Евразийского союза ученых (ЕСУ).* – 2015. – № 4 (13). – С. 49–53.
5. *Нормативы плано-предупредительного ремонта.* ВСН 121-84. – МО РФ, 1985.
6. *Игнатчик С.Ю.* Расчет надежности, безопасности и инвестиционной эффективности сети водоотведения // *Водоснабжение и санитарная техника.* – 2011. – № 12.
7. *О водоснабжении и водоотведении: федеральный закон РФ от 07.12.2011 г. № 416-ФЗ (в ред. от 29.12.2014 года).* – URL: <https://rg.ru/2011/12/08/voda-site-dok.html> (дата обращения: 01.01. 2017).

Б.С. Ставцев

СПОСОБ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ БОКОВЫХ ЛЕПЕСТКОВ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ РУПОРНОЙ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ АНТЕННЫ

Рассмотрены варианты технической реализации мер по снижению уровня боковых лепестков (УБЛ) диаграммы направленности (ДН) рупорной сверхширокополосной (СШП) антенны, представляющей собой нерегулярный рупор с расходящимися по эллиптическому закону токоведущими шинами с прорезями. Эффективность указанных мер подтверждается результатами электродинамического моделирования, которые убеждают в действенности предложенного способа для доработки рупорной сверхширокополосной антенны, как элемента антенной решетки (АР).

Ключевые слова: рупорная сверхширокополосная антенна, коэффициент направленного действия (КНД), диаграмма направленности, нерегулярный рупор, боковой лепесток.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время некоторые радиолокационные задачи могут решаться только с использованием широкополосных и сверхширокополосных (СШП) радиолокационных устройств, составной частью которых являются СШП антенны и антенные системы (АС). Совершенствование таких антенн, в частности рупорных сверхширокополосных, пока остается актуальной задачей. Специфика рупорных СШП антенн состоит в том, что при сверхширокой полосе рабочих частот они имеют небольшой коэффициент усиления, обусловленный сравнительно широкой диаграммой направленности (ДН) в полосе рабочих частот. Поэтому для обеспечения требуемой дальности действия радиолокационной системы с СШП рупорами приходится использовать антенную решетку, составленную из N отдельных рупоров, работающих синфазно. Каждый рупор должен обладать достаточно малым УБЛ, чтобы менее всего взаимодействовать с соседними рупорами АР и другими устройствами системы.

В данной работе сделан первый шаг по уменьшению УБЛ СШП рупора. Подходы к конструированию самого СШП рупора, рассматриваемого в виде полоскового перехода от питающего фидера к свободному пространству, были изложены в работах [1-5]. Кроме того, в настоящей публикации уточнены взгляды на принципы конструирования рупора и на примерах экранированного и неэкранированного вариантов конструкции рупора продемонстрировано снижение УБЛ ДН за счет введения прорезей в токоведущие шины.

ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Известно много конструкций широкополосных рупоров, и первые из них появились одновременно с изобретением радио. Однако более пристально присматриваться к их конструкциям стали лишь в середине XX века, когда из широкополосной биконической антенны, имеющей круговую ДН, была сделана секториальная вырезка. Форма вырезки была спрямлена и доработана с учетом сформулированных к тому времени требований, предъявляемых к СШП антеннам. Рупор стал обладать ДН с четко выраженным главным лепестком, направленным в одну сторону в широкой полосе частот. С тех пор происходит постоянное совершенствование рупоров такого типа для конкретных применений. Предыдущие работы автора также были посвящены совершенствованию СШП рупора в предположении его использования в качестве облучателя коллиматора МАК-5. Вместе с тем такой рупор мог бы быть использован и в фазированной антенной решетке как ее элемент. Этой

цели служит дальнейшее совершенствование рупора. Ранее, в работе [1], были выбраны эллиптический закон изгиба токоведущих шин и принцип постоянства отношения ширины шины к расстоянию между шинами в каждом поперечном сечении направляющей структуры рупора. При условии соблюдения второго принципа волновое сопротивление вдоль направляющей структуры поддерживается постоянным в рабочей полосе частот. Наименьшая зависимость ширины ДН от частоты в этом случае наблюдается тогда, когда начальный угол расхождения токоведущих шин равен 60° , а само расхождение происходит по эллиптическому закону. В работе [2] произведено сравнение двух неэкранированных рупоров с эллиптической нерегулярностью и коэффициентом эллиптичности 2, с загибом и без загиба токоведущих шин в противоположную от излучения сторону. В рупоре с эллиптическим загибом шин уровень боковых лепестков оказался меньшим, как и ожидалось, чем в двух других рупорах без загиба шин. Однако после помещения рупоров в экранированные корпуса это преимущество перешло к рупору без загиба шин. Этот факт стал отправной точкой для дальнейшей модификации рупора в работе [3].

НОВЫЙ ЭТАП СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОГО НЕРЕГУЛЯРНОГО РУПОРА

В работе [3] были сделаны поправки, учитывающие особенности распространения ТЕМ волны в линиях передачи и в направляющей структуре СШП рупора. Во-первых, вдоль плосковой линии передачи СВЧ энергии именно ТЕМ волна распространяется в том случае, когда ширина токоведущих полосков и расстояние между ними по величине значительно меньше, чем половина длины самой короткой волны из волнового спектра СШП сигнала. Только в этом случае амплитуда вектора электрической составляющей электромагнитной волны в поперечном сечении линии передачи остается одинаковой во всём диапазоне рабочих частот, фазовые скорости составляющих спектра СШП сигнала линейно изменяются с изменением частоты и, как следствие этого, такая линия передачи ТЕМ волны не обладает фазочастотной дисперсией и не вносит в СШП сигнал фазочастотных искажений. Во-вторых, нередко используется термин «СШП ТЕМ рупор», который не совсем точно отражает действительность. Чистой ТЕМ волны, в прямом понимании этого понятия, в таком рупоре быть и не может, так как излучение на высших частотах начинается почти сразу за питающим входом. Излучение начинает происходить с момента, когда в направляющей структуре рупора – нерегулярной расходящейся ленточной линии – расстояние между токоведущими шинами и их ширина становятся сравнимы с половиной длины волны и начинают ее превышать. Для такого рупора корректнее использовать понятие о «квази ТЕМ волне». С продвижением вдоль направляющей структуры рупора к его выходной апертуре последовательно происходит излучение более низких частот из спектра СШП сигнала. Фазочастотная дисперсия в рупоре, как правило, присутствует обязательно, и чем она существеннее, тем более растянутым и искаженным при излучении будет первоначальный сигнал. Поэтому для минимизации фазочастотных искажений необходимо соблюдение требований, предъявляемых к СШП антеннам. Однако не всегда удается обеспечить одновременно в одном рупоре эти требования в сверхширокой полосе рабочих частот. В-третьих, признаками СШП антенн наряду с малым коэффициентом стоячей волны (КСВ) и малыми отражениями от входа во всей полосе рабочих частот являются такие признаки, как постоянство волнового сопротивления, постоянство амплитуды ДН и симметрия ее главного лепестка (желательно, в обеих плоскостях), малый УБЛ, минимальные флуктуации положения фазового центра и др.

Далее еще раз уточним технологию построения направляющей структуры СШП рупора и закон нерегулярного расхождения токоведущих шин. Основой токоведущих шин при построении выберем заготовку из электропроводящего материала в виде пустотелого эллиптического цилиндра с коэффициентом эллиптичности $K_{\text{элл}}=2$. Пусть большая ось эллипса этого

цилиндра в системе координат $OXYZ$ (рис. 3) изначально совпадает с осью X , а малая – с осью Y . Повернем эллиптический цилиндр на 30° вокруг оси Z . Поверхность такого цилиндра опишется формулой

$$X^2 - \frac{88\sqrt{3}}{13}XY + 12Y^2 - \frac{144}{13}b^2 = 0, \quad (1)$$

где b – малая полуось эллиптического цилиндра.

За начало и конец изгиба верхней токоведущей шины в плоскости XOY взяты координаты нижней (X_{mm}, Y_{mm}) и верхней (X_{hh}, Y_{hh}) экстремальных точек повернутого пустотелого эллиптического цилиндра. Изгиб верхней шины начинается от нижней экстремальной точки (X_{mm}, Y_{mm}), затем повторяет форму изгиба той части повернутого эллиптического цилиндра, которая заключена между экстремальными точками при обходе ее против часовой стрелки при условии, что ось X системы координат $OXYZ$ направлена вправо, а ось Z – от рисунка к читателю. Заканчивается изгиб верхней шины экстремальной точкой (X_{hh}, Y_{hh}). Таким образом, в системе координат $OXYZ$ характер нерегулярности расхождения или изгиба в плоскости XOY заготовки для изготовления верхней токоведущей шины определен. На втором этапе формирования верхней токоведущей шины (по ширине) сделаем следующее. Совместим нижнюю экстремальную точку (с координатами X_{mm}, Y_{mm}) повернутого эллиптического цилиндра с началом координат координатной системы $OXYZ$ путем плоскопараллельного переноса. После переноса выражение (1) преобразуется в выражение:

$$(X - X_{mm})^2 - \frac{88\sqrt{3}}{13}(X - X_{mm})(Y - Y_{mm}) + 12(Y - Y_{mm})^2 - \frac{144}{13}b^2 = 0. \quad (2)$$

Далее параллельно оси X построим две плоскости в соответствии с формулами:

$$Y_1 = Z - \frac{w}{2}, \quad (3)$$

$$Y_2 = -Z - \frac{w}{2}, \quad (4)$$

где w – ширина полоска на входе рупора.

Совместные решения уравнений (2) и (3), а также (2) и (4) дадут выражения для линий пересечения этими плоскостями поверхности эллиптического цилиндра. Каждое из этих выражений представляет закон изменения полуширины шины в зависимости от координаты X . Поверхность эллиптического цилиндра пересекается плоскостями (3) и (4) под углами в $\pm 45^\circ$ к оси Z и плоскости XOZ . Следовательно, в каждой i -й точке линии, полученной от пересечения плоскостями (3) или (4) поверхности эллиптического цилиндра, ордината Y_i будет с точностью до $w/2$ равна координате Z_i . Другими словами, в каждой i -й точке половина расстояния между шинами приблизительно равна полуширине шин. Далее отсекаем внешние части эллиптического цилиндра, начиная от линий пересечения его поверхности с плоскостями (3) и (4). Кроме того, отсечем те части цилиндра, которые расположены в направлении уменьшения абсциссы X , начиная от верхней точки с координатами $[(X_{hh} - X_{mm}), (Y_{hh} - Y_{mm})]$ и от нижней точки с координатами $(0, 0)$. Верхний конец токопроводящей шины может быть завершен в виде плоского эллиптического закругления с радиусами R_{xsell} и R_{zsell} , которое расположено параллельно плоскости XOZ . Вторую токопроводящую шину, копию первой, разместим зеркально относительно первой шины и плоскости XOZ . Затем разведем шины друг от друга вдоль оси ординат на расстояние a . Теперь выражение (2) примет следующий вид:

$$(X - X_{mm})^2 - \frac{88\sqrt{3}}{13}(X - X_{mm})\left(Y - Y_{mm} - \frac{a}{2}\right) + 12\left(Y - Y_{mm} - \frac{a}{2}\right)^2 - \frac{144}{13}b^2 = 0. \quad (5)$$

О выборе величин a и w будет сказано далее. Данный СШП ТЕМ рупор можно рассматривать как некий согласующий сверхширокополосный переход от ленточной полосковой ли-

нии к свободному пространству. В этом случае входное волновое сопротивление рупора должно быть близко к волновому сопротивлению питающей ленточной линии. С приемлемой для наших исследований точностью волновое сопротивление ленточной воздушной линии может быть рассчитано по формуле:

$$\rho = \frac{120\pi a}{a+w} \text{ при соотношении } a/w < 3 \quad (6)$$

где a – расстояние между полосками (токоведущими шинами на входе рупора) ленточной линии;

w – ширина полоска ленточной линии.

Расстояние a между полосками выбирается равным расстоянию между полосками питающего фидера. В общем случае a определяется исходя из размера самой короткой полуволны в диапазоне рабочих частот рупора, поскольку при больших величинах a возможно возникновение фазочастотной дисперсии. В воздушных полосковых линиях, предназначенных для частот 30–50 ГГц, расстояние a не должно быть больше 0,8–0,5 мм соответственно. С учетом этих ограничений выберем расстояние $a=0,6$ мм, положим значение волнового сопротивления питающего фидера равным $\rho = 500 \text{ Ом}$. Эти величины подставим в формулу (6) и определим w . Установим значение малой полуоси эллиптического цилиндра равным b . Тогда радиус большой полуоси будет $2b$. Рупор (рис. 1) построен с учетом выбранных параметров и описанного ранее подхода. Максимальный размах токоведущих шин по оси ординат составляет 76 мм. Фидером питания служит отрезок ленточной линии с волновым сопротивлением около 50 Ом. Следует сказать, что высокой степенью линейности поляризации излучаемого сигнала СШП ТЕМ рупоры такого типа не всегда обладают. Это частично связано с тем, что токи, входящие в рупор, растекаются по шинам не строго в одном направлении. На ДН, построенных в 3D-формате, это проявляется в виде диагонально расположенных лепестков, возникающих на определенных участках рабочего диапазона частот рупора. Этот факт может ограничивать область применения таких рупоров. С целью частичного подавления этого эффекта был построен второй рупор, отличающийся от первого тем, что в каждой шине параллельно плоскости XOY были сделаны прорезы, ограниченные боковыми полосами шины и ее центральной частью специальной формы. Ожидание положительного эффекта базировалось на том предположении, что токи, наводимые в шинах ТЕМ волной, поступающей из питающего фидера в рупор, будут расщепляться прорезями и потекут принудительно в одном направлении по узким полоскам, образовавшимся после прорезывания прорезей в токоведущих шинах рупора.

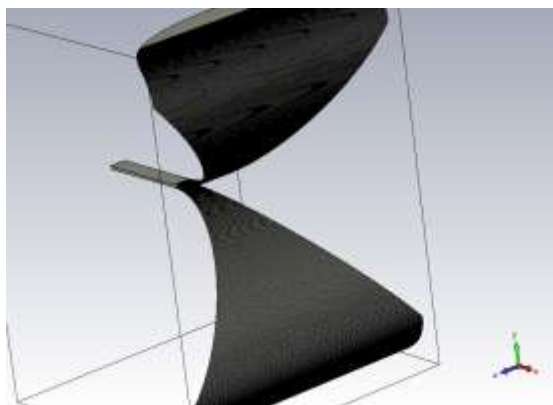


Рис. 1. Рупор без прорезей

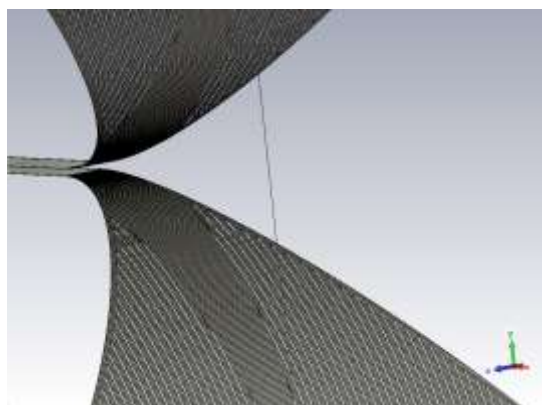


Рис. 2. Рупор с прорезями

В свою очередь, каждая расщепленная часть тока будет протекать по двум тонким проводникам (как бы по проволочному изогнутому диполю), зеркально расположенным на токоведущих шинах, относительно плоскости симметрии рупора XOZ . Известно, что проволочный диполь формирует цилиндрическую волну. Именно с этим обстоятельством были и связаны предположения, что произойдет улучшение ДН рупора. Общий вид неэкранированного рупора со щелями показан на рис. 2. Питаящим фидером здесь служит отрезок ленточной линии, с волновым сопротивлением 50 Ом. Оба рупора были исследованы в полосе частот 4–40 ГГц. Направления отсчета углов φ и θ показаны на рис. 3.

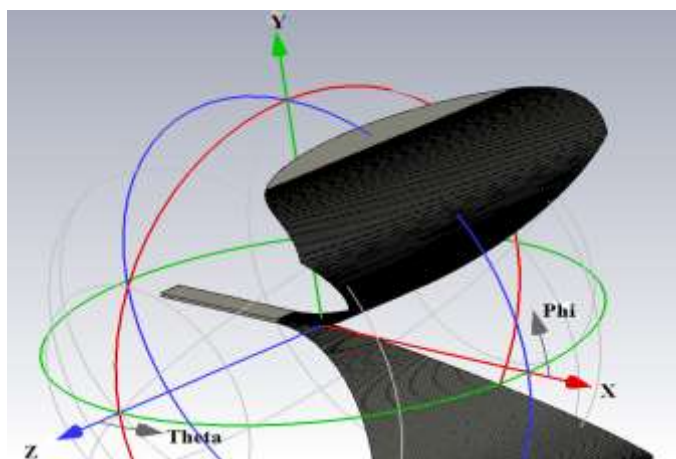


Рис. 3. Система координат $OXYZ$

На рис. 4 изображены совмещенные диаграммы некоторых характеристик рупоров без прорезей и с прорезями в токоведущих шинах, а на рис. 5–8 показаны их ДН, совмещенные также попарно, но в составе выборки из всех частот исследования. На всех рисунках сплошными линиями обозначены характеристики рупора с прорезями, а штриховыми – рупора без прорезей. На рис. 5 и 6 представлены ДН сравниваемых рупоров для сечений в θ - и φ - плоскостях соответственно.

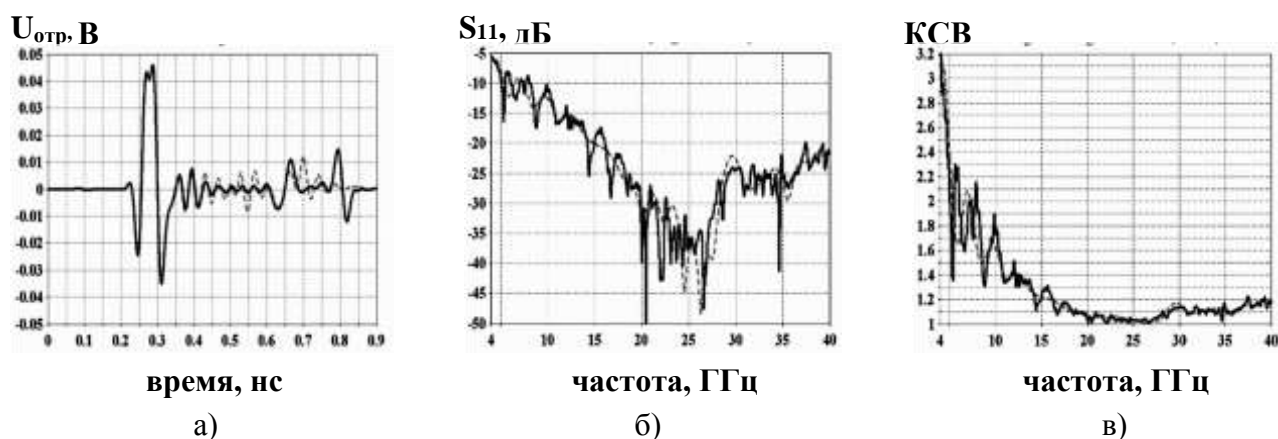


Рис. 4. Совмещенные диаграммы характеристик рупоров без прорезей (штриховая линия) и с прорезями (сплошная) в полосе частот 4–40 ГГц: а – сигналы отражений от входа рупоров, В/нс; б – S_{11} -параметры, дБ/ГГц; в – КСВ

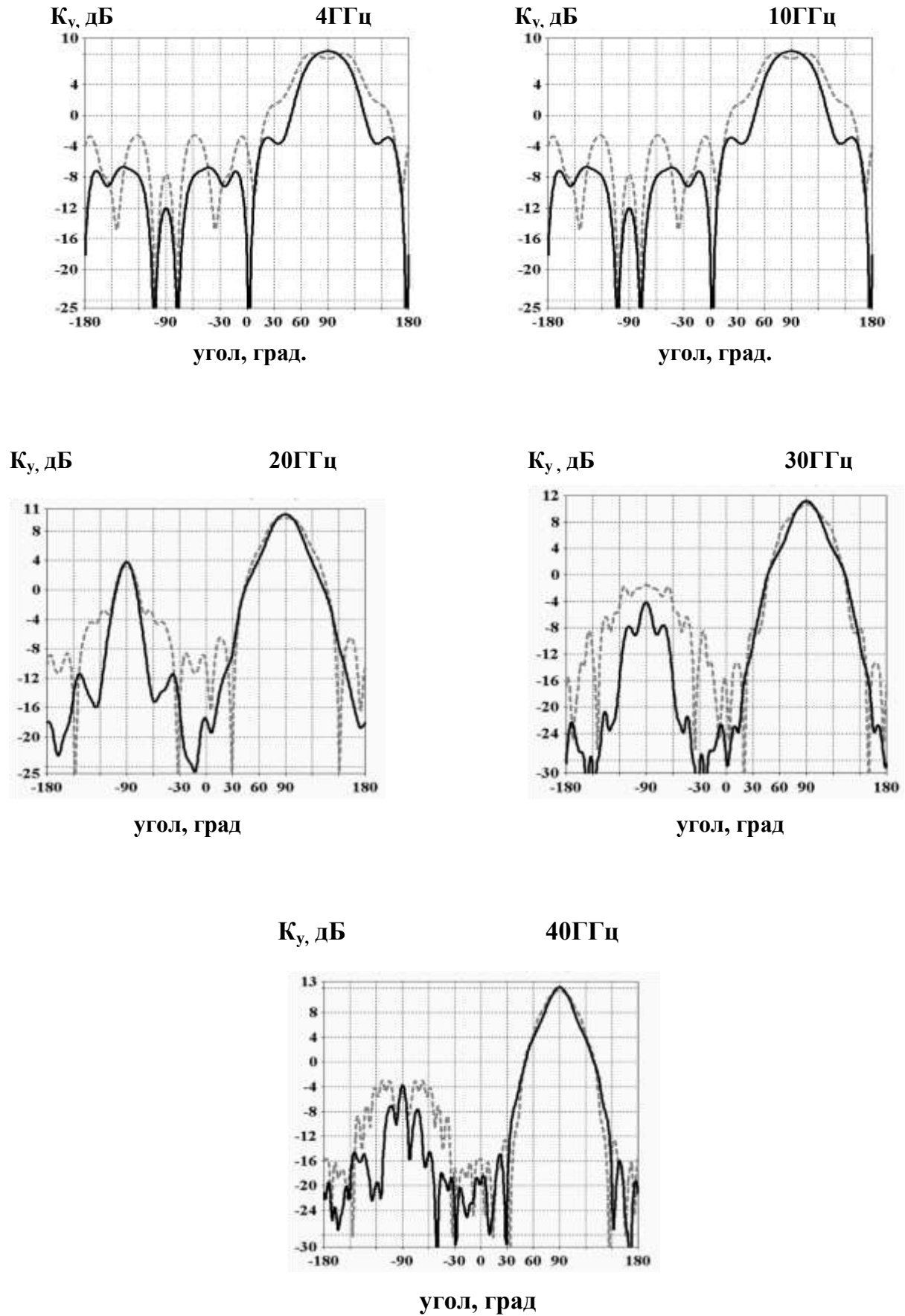
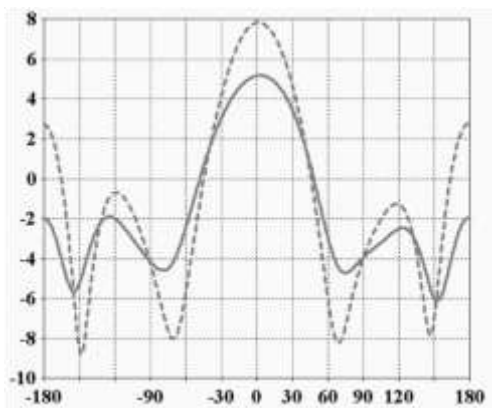


Рис. 5. Сравнение ДН (дБ) в θ - плоскости при угле $\varphi=0^\circ$ рупоров на частотах 4, 10, 20, 30 и 40 ГГц

K_y , дБ

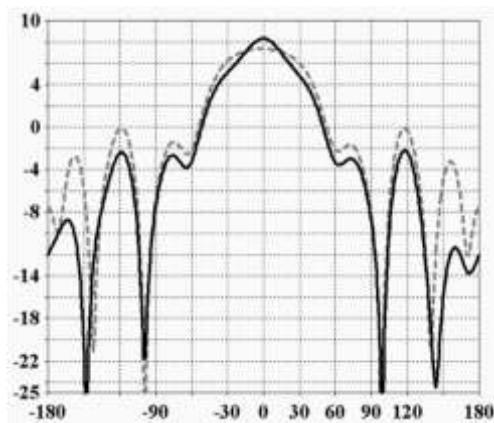
4ГГц



угол, град

K_y , дБ

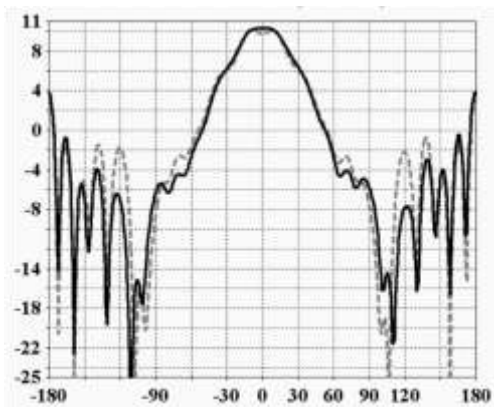
10ГГц



угол, град

K_y , дБ

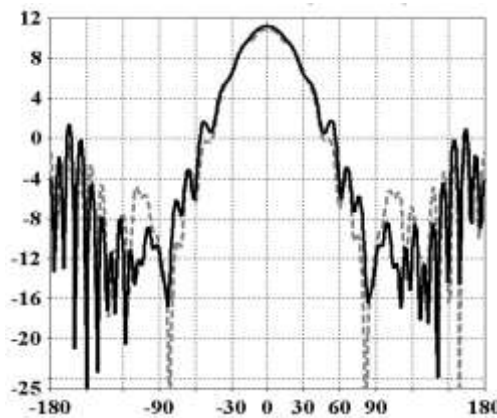
20ГГц



угол, град

K_y , дБ

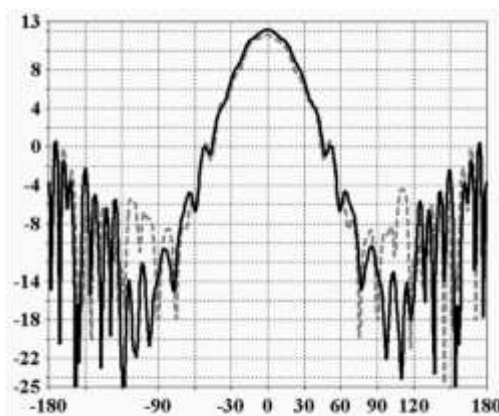
30ГГц



угол, град

K_y , дБ

40ГГц



угол, град

Рис. 6. Сравнение ДН (дБ) в φ - плоскости при угле $\theta = 90^\circ$ рупоров на частотах 4, 10, 20, 30 и 40 ГГц

На графиках ДН рис. 5 наблюдается сравнительно сильное подавление боковых лепестков у рупора с прорезями, достигающее до $-5 \div -10$ дБ, при сохранении постоянства амплитуды и формы в главном лепестке. На графиках ДН (для сечения в φ -плоскости) рис. 6 можно заметить, что подавление боковых лепестков и лепестков задней полусферы у рупора с прорезями происходит значительно слабее, чем в ДН для θ -плоскости и лишь местами доходит до $-3 \div -10$ дБ. Таким образом, введение прорезей в токоведущие шины приводит к значительному подавлению боковых лепестков, в основном в θ -плоскости, при сохранении постоянства в главном лепестке ДН СШП ТЕМ рупора. Полученные результаты подтверждают работоспособность предлагаемого способа.

СРАВНЕНИЕ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ НЕРЕГУЛЯРНЫХ РУПОРОВ С ПРОРЕЗЯМИ И БЕЗ ПРОРЕЗЕЙ, ПОМЕЩЕННЫХ В ЭКРАННЫЕ КОРПУСА

В соответствии с уточненной технологией конструирования были построены и исследованы экранированные рупоры с габаритными размерами $160 \times 160 \times 160$ мм, в два раза большими, чем у предыдущих рупоров. На рис. 7 изображены: рупор со сплошной токоведущей шиной (рис. 7, а) и рупор с прорезанными токоведущими шинами (рис. 7, б). Для подавления отражений от внутренних стенок корпусов экрана рупоров их поверхности были прикрыты радиопоглощающим материалом.

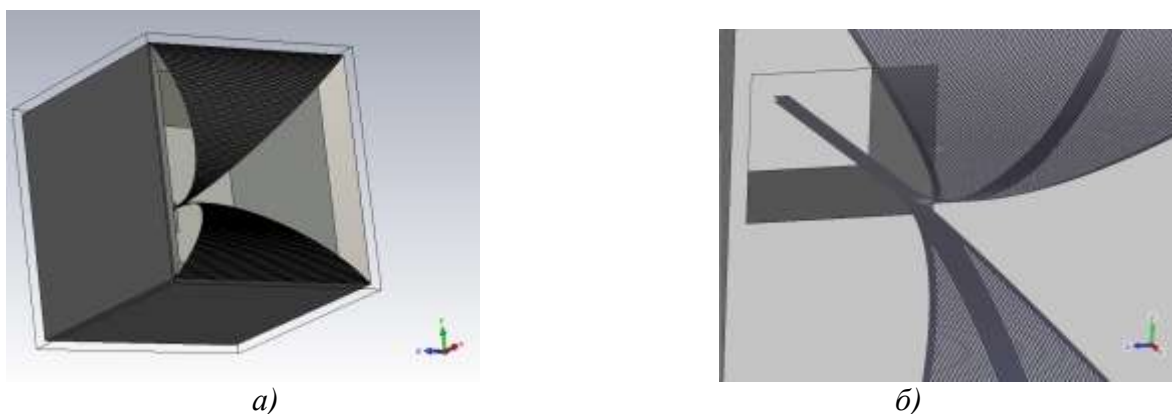


Рис. 7. Экранированные СШП рупора со сплошными (а) и прорезанными (б) шинами

Направленность излучения исследуемых рупоров продемонстрирована на совмещенных графиках ДН отдельных частот в φ - и θ -плоскостях в полосе частот 5–40 ГГц: для рупора со сплошными токоведущими шинами на рис. 8, для рупора с прорезанными шинами на рис. 9. Диаграммы разных частот изображены линиями, разными по толщине и прерывности.

Первые результаты исследования экранированных моделей рупоров, представленные на рис. 8 и 9, в целом обнадеживают, поскольку есть резерв на возможность получения лучшего результата при большей тщательности в подборе параметров конструкции и согласовании с питающим фидером. Несмотря на это, влияние эффекта, производимого прорезями, и в этих примерах уже заметно.

Итак, суть способа снижения УБЛ в ДН сверхширокополосной рупорной антенны состоит в формировании принудительного направления токов, наводимых в шинах ТЕМ волной, и заключается в следующем. ТЕМ волна, поступающая, например, из питающего фидера в рупор, наводит токи в узких полосках шины, образовавшихся после ее прорезывания. В силу параллельности сделанных в шине прорезей образовавшиеся полоски шины также будут параллельны, а токи, наводимые ТЕМ волной в полосках, будут принудительно направлены в одну сторону.

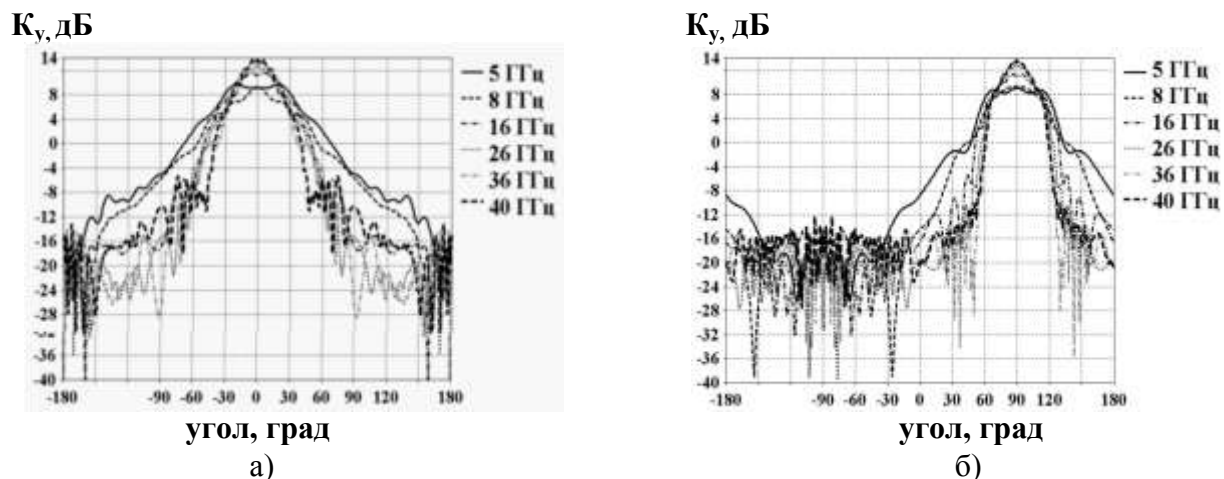


Рис. 8. Графики ДН рупора со сплошной шиной в φ - плоскости (а) и в θ - плоскости (б)

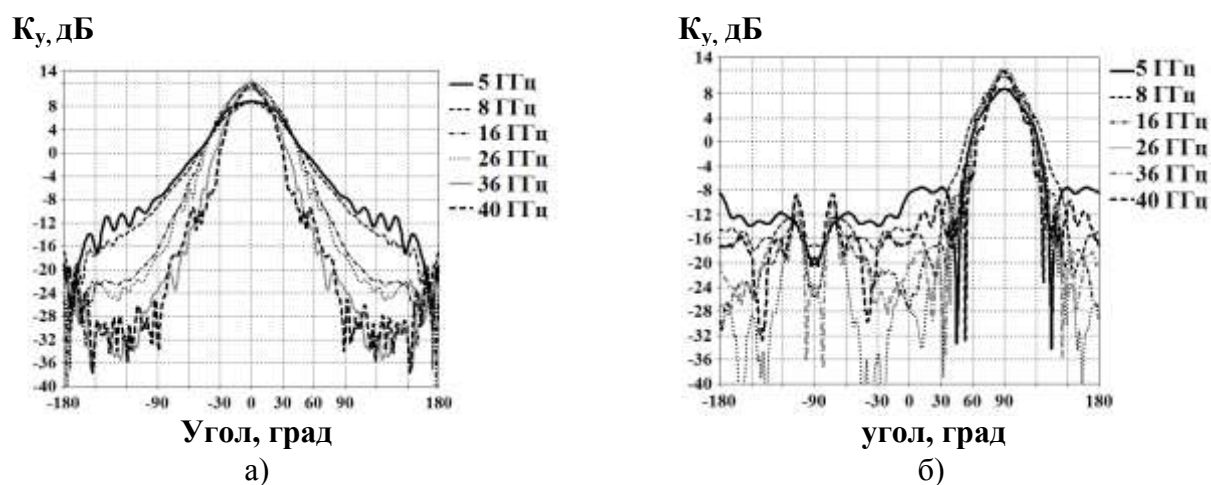


Рис. 9. Графики ДН рупора с прорезями в φ - плоскости (а) и в θ - плоскости (б)

Ширина полосков выбирается достаточно малой, чтобы их можно было считать проволокой. Тогда «проволочные диполи», образованные каждой парой зеркально расположенных полосков, будут формировать электромагнитную волну, близкую к цилиндрической. В свою очередь, у цилиндрической волны отсутствует ярко выраженное ее распространение вдоль одной из трех осей декартовой системы координат, если ее мысленно привязать к конструктивной геометрии рупорной антенны с прорезями в токоведущих шинах. Это и приводит в конечном итоге к ожидаемому результату, то есть к снижению УБЛ. При этом амплитуда и форма главного лепестка в большей части рабочего диапазона частот сверхширокополосного рупора сохраняется стабильной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании результатов расчета основных параметров и ДН исследуемых сверхширокополосных рупоров можно сделать следующий вывод. Снижение УБЛ СШП рупора предложенным способом открывает заманчивую перспективу включения рупоров такого типа в составы антенных решеток различной степени сложности и назначения, а также позволяет использовать их там, где требуется их сверхширокая полоса пропускания. Дальнейшего улучшения качества рупора можно добиться оптимизацией согласования рупора с питающим фидером, подбором параметров прорезей, а также выбором варианта завершения концов токоведущих шин.

Список используемых источников

1. *Ставцев Б.С., Шалдаев С.Е.* Некоторые физико-технологические аспекты построения СШП ТЕМ рупоров РЛС // Труды XXVII Всероссийского симпозиума «Радиолокационное исследование природных сред». – 2012. – Вып. 9, т. 2, секция 2. – С. 57–69.
2. *Ставцев Б.С., Терентьев А.М.* Влияние формы изгиба токоведущих шин с эллиптическим профилем на направленность СШП ТЕМ рупора // III Всероссийские Армандовские чтения: «Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике»: материалы IV Всероссийской научной конференции (Муром, 25-27 июня 2013 г.). – Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2013. – С. 230–234.
3. *Ставцев Б.С.* СШП ТЕМ рупор с перфорированными токоведущими шинами // VI Всероссийские Армандовские чтения: «Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике»: материалы VI Всероссийской научной конференции (Муром, 29 мая – 2 июня 2016 г.). – Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2016.
4. *Ефимова Н.А.* Минимизация искажений диаграммы направленности рупорных антенн в сверхширокой полосе частот // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – №1. – С. 39–44.
5. *Калошин В. А., Нгуен К. З., Нгуен Х. Ш.* Исследования характеристик ТЕМ рупоров // Радиоэлектроника. – 2015. – №10.
6. *W.H. Darden and W.D. Burnside.* An Ultra-Wideband Antenna for Pulsed Applications // Microwave Journal. – 1993. – P. 136–143.

С.А. Багрецов,
доктор техн. наук, доктор экономических наук, профессор;
В.А. Кулганов,
доктор медицинских наук, профессор;
А.Д. Фомичев

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЛАСТИ КОМПРОМИССНЫХ РЕШЕНИЙ КОМПЛЕКТОВАНИЯ МАЛЫХ ГРУПП ФОРМИРОВАНИЙ ВОЗДУШНО-КОСМИЧЕСКИХ СИЛ

В условиях широкой автоматизации всех видов управления в частях и соединениях Воздушно-космических сил (ВКС) взаимосвязь человека и военной техники изменилась, стала более сложной, опосредованной различными факторами.

Представленная методика позволяет осуществить решение задачи выбора альтернативных вариантов комплектования групп управления сложными системами. Она не ограничивает множество оцениваемых параметров успешности деятельности операторов группы управления, что позволяет эффективно использовать ее для решения широкого спектра подобных задач.

Повышение уровня автоматизации технических систем, управляемых специалистом-оператором, в большинстве случаев ведет лишь к дальнейшему возрастанию роли «человеческого фактора». Это обусловлено значительным увеличением объема, функций оборудования и усложнения процесса управления.

Ключевые слова: малая группа, специалист-оператор, матричные числа, эффективность деятельности.

ВВЕДЕНИЕ

Совместная деятельность военнослужащих немыслима без их объединения с целью разделения функций при выполнении боевых задач, координации своих действий, обмена информацией [2].

Коллектив – это не простая механическая совокупность людей, а сложное структурное образование с многочисленными внешними и внутренними связями, со своими официальными, а подчас и неофициальными лидерами [4].

Крупный первичный коллектив, как правило, состоит из так называемых неформальных малых групп, с которыми человек наиболее тесно связан и в которых черпает установку поведения. К таким малым группам прежде всего относится личный состав боевых расчетов, характеризующийся рядом свойств и качеств, которые необходимо учитывать в повседневной практике общения.

Состав боевых расчетов складывается в результате более или менее длительного общения, основанного на взаимодействии индивидов как личностей.

Боевые расчеты дежурных сил ВКС формируют в своей среде относительно самостоятельные микроструктуры. Они играют значительную, как положительную, так и отрицательную, роль в коллективе. Вследствие этого командир должен учитывать наличие и специфику деятельности боевых расчетов, принимать меры для ликвидации негативных явлений среди военнослужащих.

Главными факторами, формирующими «психологический климат» в частях и соединениях, являются следующие: личность командира, компетентность исполнителей и их совместимость при выполнении поставленных командованием боевых задач. Нарушение «психологического климата» в коллективе приводит к конфликтам. Оказалось, что потери времени от конфликтных ситуаций и послеконфликтных переживаний составляют до 15 % от общего рабочего времени. Экспериментально были установлены причины конфликтов: по

вине руководителей – 52 %, из-за психологической несовместимости сотрудников – 33 %, в результате неправильного подбора кадров – 15 %.

Одной из важнейших задач при разработке системы «человек – машина» является повышение эффективности деятельности оператора, который перерабатывает большие потоки информации, выполняет значительное число управляющих воздействий часто в условиях острого дефицита времени и высокой личной ответственности [3]. Повышение уровня автоматизации технических систем, управляемых человеком, в большинстве случаев ведет лишь к дальнейшему возрастанию роли «человеческого фактора» вследствие значительного увеличения объема и функций оборудования и усложнения процесса управления.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЕГО РЕЗУЛЬТАТЫ

Чтобы выбрать рациональный вариант комплектования группы военных операторов, выполняется анализ множества возможных вариантов комплектования, где учитываются особенности индивидуальной деятельности операторов и их социально-психологические характеристики.

Решение данной задачи представляется как один из этапов комплектования структурных подразделений групп операторов. Эффективность решения во многом определяется методологической основой представленной задачи. Ниже предлагается один из возможных способов ее реализации.

Рассмотрим группу кандидатов, состоящую из $\gamma = \overline{1, m}$ операторов, профессиональные характеристики которых известны. Каждый из кандидатов способен выполнять служебную деятельность по одной или нескольким специальностям в формируемой группе. Введем в рассмотрение матрицу $\|\delta_{\gamma k}\|$, элементы $\delta_{\gamma k}$ которой принимают значение 1, если кандидат γ в формируемой группе способен выполнять функцию k -го оператора, и $\delta_{\gamma k} = \emptyset$ в противном случае. Аналогичным образом введем в рассмотрение элементы матрицы $\mathcal{T} = \|\mathcal{T}_{\gamma k}\|$, определяющие параметры эффективности деятельности кандидатов при выполнении ими функциональных обязанностей в данной группе. В этом случае решение задачи о нахождении множества β^* вариантов комплектования группы операторов в формализованном виде может быть представлено следующим образом:

$$\beta^* \subseteq \beta; P_{\rho}(\mathcal{T}_{\gamma k}, \delta_{\gamma k}) \geq P_0 f(L_{3\rho}) \geq L_3^0, \forall \rho \in \beta^*; \quad (1)$$

где β – множество всех возможных вариантов комплектования;

k – множество номеров вариантов комплектования, входящих в β^* ;

$\mathcal{T}_{\gamma k}$ – множество индивидуальных характеристик деятельности операторов группы, входящих в k -й вариант комплектования группы.

Для решения задачи (1) представим матрицу δ в виде графа $G(X, Y)$ (рис.1), где X – вершины графа, определяющие отдельных операторов, являющихся кандидатами в группу управления; Y – дуги графа, определяющие взаимные связи между операторами, соответствующие их допустимым функциональным связям в группе.

Определим номера i вершин $x_{\gamma k}$ графа $G(X, Y)$ следующим образом:

$$i = \begin{cases} \gamma, & \text{если } \delta_{\gamma k} = 1; \\ \emptyset, & \text{если } \delta_{\gamma k} = \emptyset, \end{cases}$$

где индексы γ и k означают, что γ -й кандидат может выполнять функциональные обязанности оператора к комплектуемой группы. Тогда для любой вершины $x_{\gamma k}$ в графе $G(x, y)$ будет определена связь с помощью дуги $y \in Y$ со всеми вершинами подмножества

$X_{k+1}\{x_{\gamma k+1}; \gamma = \overline{1, m}\}$ (при $x_{\gamma k} \neq x_{\gamma k+1}$). Таким образом, в построенном графе $G(X, Y)$ простые пути из вершин $\{x_{\gamma 1}; \gamma = \overline{1, m}\}$ в вершины $\{x_{\gamma n}; \gamma = \overline{1, m}\}$, не содержащие вершины с одинаковыми индексами i , будут определять все возможные варианты $\rho \in \beta$ комплектования группы операторов.

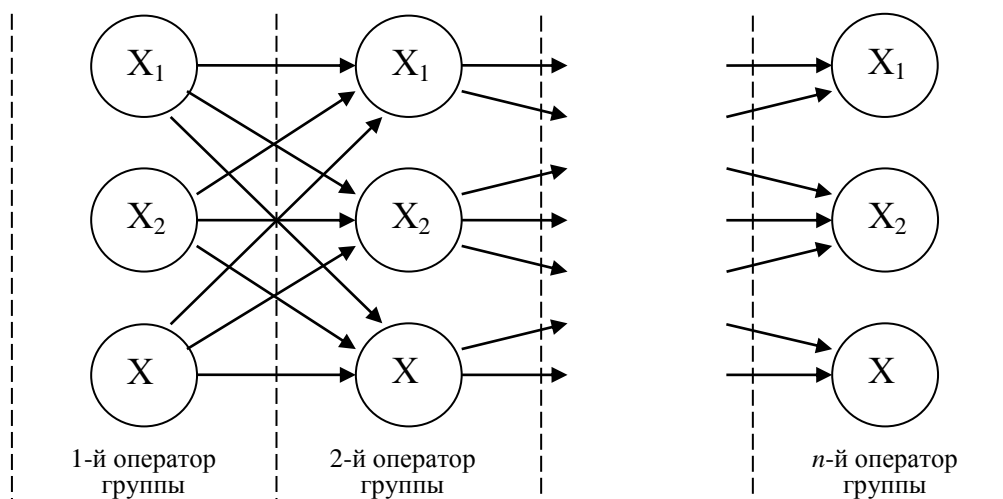


Рис. 1. Граф $G(X, Y)$ возможных вариантов комплектования группы операторов

Кроме того, в соответствии с (1) процедура определения множества β^* на каждом новом шаге формирования вариантов комплектования группы должна включать в себя проверку соответствия предполагаемой эффективности выполнения функций управления группой операторов (в данном варианте ее комплектования) заданной системе ограничений [1].

Перечисленные выше особенности не позволяют использовать существующие методы определения простых путей в графе. Учитывая специфику решения задачи, ниже предлагается для определения множества вариантов обучающей выборки использовать теоретико-множественный подход, основанный на применении аппарата обобщенных матричных чисел.

Поставим в соответствие графу $G(X, Y)$ обобщенное матричное число $\alpha = \|\alpha_{ki}\|$, элементы которого связаны с элементами матрицы δ выражением вида:

$$\alpha_{ki} = \begin{cases} k \otimes \{\gamma \delta_{\gamma k}; \gamma = \overline{1, m}\}, & \text{если } k = 1, n \\ 0, & \text{если } k = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Обобщенное матричное число α может рассматриваться как теоретико-множественная модель процесса формирования множества вариантов обобщающей выборки.

Введем в рассмотрение модифицированную детерминантную функцию по модулю 2 обобщенного матричного числа α , под которой будем понимать детерминантную функцию числа α графа $G(X, Y)$, операции сложения столбцов и произведения элементов строк контурного числа которой заменены соответствующими им модификациями, указанными отдельно. В данном случае математическое определение этой функции будет иметь вид:

$$det^* [\alpha] = \sum_{\text{mod } 2}^{\rho \in \beta} \prod_{\mu \in \rho}^* det l_{\rho \mu} = \{\{v, \mu\}_\rho; P_\rho(\cdot); f(L_{3\rho}) : \rho \in \beta\} \quad (3)$$

при следующих условиях:

$$P_\rho(\cdot) > P^0; f(L_{3\rho}) > L_3^0, \forall \rho \in \beta^*; \beta^* \subseteq \beta, \quad (4)$$

- где β, ρ – множество столбцов и строк контурного числа графа $G(x, y)$;
 $l_{\rho \mu}$ – элемент контурного числа графа;
 $\{v, \mu\}_{\rho}$ – множество индексов, определяющих список элементов контурного числа графа, входящих в ρ -й столбец;
 $P_{\rho}(\cdot), f(L_{3\rho})$ – результаты расчетов, выполненных в соответствии с алгоритмами операторов преобразования $P(\cdot)$ и $f(\cdot)$ над характеристиками $\mathcal{T}_{\gamma k}$ и $L_{3\rho}$, изоморфных соответствующим элементам контурного числа графа, входящим в ρ -й столбец;
 \sum^{**} – знак обобщенного сложения, означающий перечисление элементов столбцов контурного числа графа.

Условие (4) определяет также, что среди всех столбцов контурного числа графа множества β выбираются только те, для которых эффективность групповой деятельности $P(\cdot)$ отвечает требуемой системе ограничений.

Контурное число графа $G(X, Y)$ определяется на основе декартового произведения элементов строк матричного числа α . Так как рассматриваемый граф ациклический, то полученные на основе декартового произведения элементов строк числа α списки индексов вершин графа, входящих в ρ -й столбец ($\rho \in \beta$), будут определять все простые пути из вершины X_0 в вершину X_{m+1} , для которых справедливы неравенства (4).

Таким образом, выражения (2) и (4) представляют собой математическую формализацию решения задачи определения множества вариантов комплектования группы операторов.

Рассмотрим пример решения задачи. Допустим, что необходимо определить возможные варианты комплектования группы управления, включающей в себя четыре операторских специальности ($\rho = \overline{1,4}$), из заданного контингента в количестве восьми операторов ($\gamma = 1,8$) таким образом, чтобы интегральная эффективность сформированного расчета операторов была не ниже 0,78.

Матрица назначений претендентов на операторские должности имеет вид:

$$\delta = \|\delta_{\gamma k}\| = \begin{array}{c|cccc} 1 & 1 & \emptyset & \emptyset & \emptyset \\ 2 & 1 & 1 & \emptyset & \emptyset \\ 3 & \emptyset & 1 & \emptyset & \emptyset \\ 4 & \emptyset & \emptyset & 1 & 1 \\ 5 & \emptyset & \emptyset & 1 & \emptyset \\ 6 & \emptyset & \emptyset & 1 & \emptyset \\ 7 & \emptyset & \emptyset & \emptyset & 1 \\ 8 & \emptyset & \emptyset & \emptyset & 1 \end{array} \gamma=1,8; \rho = 1,4.$$

Соответствующий этой матрице граф возможных вариантов комплектования группы показан на рис. 2.

В соответствии с (2) обобщенное матричное число α будет иметь вид:

$$\alpha = \|\alpha_{ki}\| = \begin{array}{c|ccc} 1 & 1 & 2 & - \\ 2 & 2 & 3 & - \\ 3 & 4 & 5 & 6 \\ 4 & 4 & 7 & 8 \end{array}.$$

Характеристики работы различных операторов-претендентов представляются матрицей:

$$\mathcal{T} = \|\mathcal{T}_{\gamma k}\| = \begin{array}{c|cccc} 1 & 0,9 & - & - & - \\ 2 & 0,8 & 0,9 & - & - \\ 3 & - & 0,8 & - & - \\ 4 & - & - & 0,8 & - \\ 5 & - & - & 0,5 & - \\ 6 & - & - & 0,4 & - \\ 7 & - & - & - & 0,8 \\ 8 & - & - & - & 0,6 \end{array}.$$

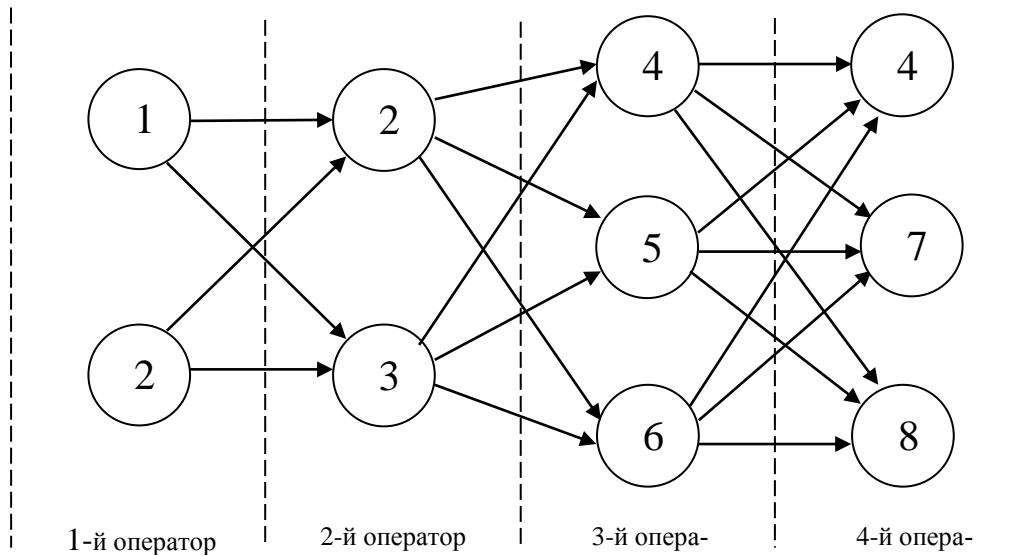


Рис. 2. Граф возможных вариантов комплектования группы операторов

Из условия видно, что ограничения наложены только на эффективность функционирования группы управления. Определим интегральную эффективность группы в виде взвешенной суммы эффективности выполнения обязанностей отдельными операторами группы, т. е.

$$P(\mathcal{T}_{\gamma k}, \delta_{\gamma k}) = \sum_{k=1}^n \alpha_k \mathcal{T}_{\gamma k}, x_{\gamma k} \in \mathcal{A}_k, \tag{5}$$

где α_k – коэффициенты веса, определяющие важность информации k -го оператора группы для достижения целей управления системой; $\sum_{k=1}^n \alpha_k = 1$.

Пример: $\alpha_1 = 0,7$; $\alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = 0,1$

Математическая формулировка конкретной задачи с учетом функционала (3) будет иметь вид:

$$Z = \det^*[\alpha_{0,9}]_{\text{mod}2} \tag{6}$$

при условии, что

$$\sum_{k=1}^n \alpha_k \mathcal{T}_{\gamma k} \geq 0,78.$$

Раскрывая выражение (6), получим:

$$\det^*[\alpha_{0,9}]_{\text{mod}2} = \begin{array}{c|cccc} 1 & & & & 1 \\ 2 & & 2 & & 3 \\ 3 & 4 & 5 & 6 & 4 & 5 & 6 \\ 4 & \cancel{7} & 8 & 4 & 7 & 8 & 4 & 7 & 8 & \cancel{7} & \textcircled{7} & \textcircled{8} & \textcircled{4} & \textcircled{7} & \textcircled{8} & \textcircled{4} & \textcircled{7} & \textcircled{8} \end{array}$$

$$\begin{array}{c|cccc} & & 2 & & \\ \cancel{7} & & 3 & & \\ & 4 & 5 & 6 & \\ \cancel{7} & 7 & \textcircled{8} & \textcircled{4} & \textcircled{7} & \textcircled{8} & \textcircled{4} & \textcircled{7} & \textcircled{8} \end{array} = \{\alpha_{11}\alpha_{22}\alpha_{34}\alpha_{47}; \alpha_{11}\alpha_{22}\alpha_{36}\alpha_{48}; \alpha_{11}\alpha_{22}\alpha_{35}\alpha_{44}\};$$

$$\alpha_{11}\alpha_{22}\alpha_{36}\alpha_{44}; \alpha_{12}\alpha_{23}\alpha_{34}\alpha_{47}; \alpha_{11}\alpha_{22}\alpha_{36}\alpha_{47}; \alpha_{11}\alpha_{22}\alpha_{36}\alpha_{48}; \\ \alpha_{11}\alpha_{22}\alpha_{35}\alpha_{47}; \alpha_{11}\alpha_{22}\alpha_{35}\alpha_{48}\}.$$

Примечания. ✖ – означает, что процесс ветвления прекращен из-за равенства нулю декартового произведения элементов столбца; ④ – процесс ветвления прекращен из-за невыполнения системы ограничений.

Элементы $\alpha_{k\gamma}$ определяют порядок распределения кандидатов по должностям. В данном случае индексы k, γ элемента $\alpha_{k\gamma}$ любого столбца контурного числа графа означают, что функциональные обязанности k -го оператора группы в данном варианте ее комплектования выполняет кандидат γ .

Результаты решения задачи (6) представлены в табл. 1, где компромиссными вариантами комплектования группы управления будут являться следующие:

$$F_D = \{F_1, F_2, F_3, F_4, F_6, F_{11}, F_{12}, F_{13}, F_{14}\}.$$

Таблица 1

Результаты решения задачи комплектования групп управления

Номер столбца ρ контурного числа β	Номера операторов группы $\rho = \overline{1,4}$				Вероятность своевременного и безошибочного решения комплексов задач $P_\rho(\cdot)$
	1	2	3	4	
1	$\gamma=1$	$\gamma=2$	$\gamma=4$	$\gamma=7$	0,88
2	1	2	4	8	0,86
3	1	2	5	4	0,85
4	1	2	6	4	0,84
5	2	3	4	7	0,77
6	2	3	4	7	0,78
7	2	3	4	8	0,77
8	2	3	6	4	0,76
9	2	3	6	5	0,76
10	2	3	6	7	0,76
11	1	2	6	7	0,83
12	1	2	6	8	0,83
13	1	2	5	7	0,85
14	1	2	5	8	0,83
15	2	3	5	7	0,77
16	2	3	5	8	0,75

Таким образом, предлагаемая методика позволяет осуществить решение задачи выбора альтернативных вариантов комплектования групп управления сложными системами. В методике не ограничивается множество оцениваемых параметров успешности работы операторов группы управления, что позволяет эффективно использовать ее для решения широкого спектра подобных задач.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Следует отметить, что в условиях появления новейших видов современной военной техники, и прежде всего ракетно-ядерного оружия, широкой автоматизации всех видов управ-

ления в военной области взаимосвязь человека и военной техники изменилась. Она стала более сложной, опосредованной различными факторами. В связи с этим появилась необходимость анализа закономерностей изменения соотношения человека и военной техники под влиянием различных социальных факторов, и прежде всего достижений современного научно-технического прогресса, с целью прогнозирования развития этого соотношения и установления наиболее рациональных форм взаимосвязи. Для решения этой актуальной на современном этапе развития военного дела задачи требуется разработка методологических основ анализа соотношения человека и военной техники.

Связь управления военной техникой обуславливается необходимостью осуществления человеком постоянного контроля за ее функционированием, а также обеспечения целенаправленного использования для решения задач вооруженной борьбы. Наличие этого вида связи указывает на необходимость решающего участия человека в процессе принятия боевого решения на любом уровне развития управляющей автоматической техники.

При формировании воинского коллектива особое внимание целесообразно уделять подбору офицеров, которым предстоит работать в тесном контакте. Мы коснулись только вопроса совместимости членов коллектива. Как показывает опыт, и здесь основой служит единство интересов, целей, чувства долга и ответственности. Кроме того, совместная работа идет лучше, когда имеются определенная синхронность в деятельности, единство в подходе и оценке тех или других явлений, общность в личных интересах и запросах, которые могут зависеть от прошлой работы и возраста.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Каждый вид военной техники, конкретный способ ее применения оказывают решающее влияние на специфику боевой деятельности личного состава. Они определяют характерные социально-психологические особенности военнослужащих (сплоченность, слаженность в работе, взаимоотношения между ними). Отсюда важнейшим критерием эффективности организации личного состава в системе «человек – военная техника» является степень ее соответствия характеру обслуживаемой операторами техники во всех аспектах, и прежде всего в структурно-функциональном.

Список используемых источников

1. *Багрецов С.А., Кулганов В.А., Горелов И.П.* Социально-психологические аспекты изучения личности и коллектива. – СПб.: ВИКА им. А.Ф. Можайского, 1996 – 307 с.
2. *Грудинин И.В., Суровикин С.В.* Обоснование структуры метода информационного обеспечения управления борьбой с противником в Воздушно-космической сфере // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2016. – Вып. 650. – С. 95–108.
3. *Кулганов В.А.* Интегральная оценка функционального состояния и работоспособности операторов // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2016. – Вып. 650. – С. 192–198.
4. *Кулганов В.А., Новикова А.С.* Командообразование как метод повышения удовлетворенности трудом и уровня развития малой социальной рабочей группы // Ученые записки Забайкальского государственного университета. Сер. Педагогика и психология. – 2013. – № 5(52). – С. 79–85.
5. *Новикова А.С.* Особенности командообразования для самонаправляемых рабочих команд // Психология образования в поликультурном пространстве. – 2013. – Т. 4. – № 24. – С. 55–61.

Д.А. Бочинин,
доктор военных наук

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ КОМАНДНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА КОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ СССР В 1980-Х ГОДАХ

В публикации исследуется актуальная проблема подготовки военных специалистов космических частей. Автором изучен и обобщен опыт обучения и воспитания различных категорий военнослужащих, выполнявших задачи управления космическими аппаратами в составе дежурных смен Командно-измерительного комплекса в 1980-х гг.

Ключевые слова: военно-профессиональные знания и навыки, войсковая подготовка специалистов, командно-измерительный комплекс (КИК), космический аппарат (КА), научно-исследовательское судно (НИС), отдельный научно-измерительный пункт (ОНИП), специальная и тактико-специальная подготовка, управление космическими аппаратами, учебно-материальная база.

Реализация государственной программы обновления вооружения, военной и специальной техники в полной мере касается и космической компоненты Вооруженных сил России. В этой связи изучение опыта подготовки военных специалистов, осуществлявших управление космическими аппаратами в 1980-х гг., в период динамичного и эффективного развития Космических средств Министерства обороны СССР, является важной и актуальной задачей научного исследования.

История создания частей управления космическими аппаратами ведет свой отсчет с совещания в ЦК КПСС, состоявшегося в начале 1957 года, на котором Министр обороны Маршал Советского Союза Г.К. Жуков заявил: «Кроме военных, командно-измерительный комплекс никто не создаст!» [6]. Воинские формирования – мобильные, дисциплинированные, сравнительно недорогие с экономической точки зрения, стали привлекаться к решению задач управления космическими аппаратами (КА) с самого начала активного освоения космоса – подготовки к полету первого искусственного спутника Земли. В течение нескольких месяцев, точнее – к сентябрю 1957 года командно-измерительный комплекс (КИК) был сформирован [2]. Личный состав воинских частей с техникой и оборудованием был размещен в 13 созданных отдельных научно-измерительных пунктах, равномерно расположенных по периметру страны от Камчатки до Ленинграда. Функционально КИК предназначался для контроля за движением и состоянием космических объектов, приема от них и передачи с помощью радиотехнических средств соответствующих команд (сигналов) – то есть для управления космическими аппаратами.

Первоначально специалисты-офицеры во вновь созданные части назначались, как правило, из Ракетных войск. Частично офицерские вакансии заполнялись выпускниками военных училищ, имевшими родственные специальности и прошедшими переподготовку. По такому же принципу и тоже преимущественно за счет ракетных частей комплектовались должности сержантов и солдат.

В 1980-х годах части управления КА, динамично развиваясь, превратились в крупное воинское формирование – командно-измерительный комплекс, одно из основных объединений Космических средств МО СССР. На его вооружении состояли находящиеся на околоземной орбите КА военного, двойного, научного и народно-хозяйственного назначения, а также наземные, морские и космические технические средства и системы, решающие задачи телеконтроля и управления отечественными космическими объектами.

На всех этапах освоения и применения всё более сложных КА и систем единого автоматизированного комплекса управления главная роль в управлении ими принадлежала военным специалистам. Естественно, успех выполнения задач испытаний и эксплуатации КА находился в прямой зависимости от качества подготовки этих специалистов, действенности системы их обучения и воспитания. Важно также подчеркнуть, что создание и совершенствование системы военно-профессиональной подготовки кадрового состава КИКа шло неотрывно от развертывания и развития самих частей управления орбитальной группировкой КА. Основу структуры Комплекса составляли в 1980-х годах 17 отдельных научно-измерительных пунктов (ОНИПов), которые с апреля 1988 года стали называться Отдельными командно-измерительными комплексами (ОКИКами) [5]. ОКИКи в соответствии со своим военным статусом имели организационно-штатные наименования и номера, присвоенные Генеральным штабом Вооруженных Сил СССР [5]. В тексте исследования эти части будут называться с порядковыми номерами. Эти условные номера были присвоены частям еще в период подготовки запуска первого искусственного спутника Земли и широко использовались.

В составе КИКа также функционировал 9-й Отдельный морской командно-измерительный комплекс, предназначенный для управления КА из отдаленных акваторий Мирового океана. Его основу составляли научно-исследовательские суда (НИС), оборудованные практически теми же техническими средствами, что и стационарные части управления КА. К началу 1980-х годов количество судов достигло 11, а интенсивность их использования стала максимальной. Примерная продолжительность нахождения специалистов морских экспедиций в рейсах составляла 7-8 месяцев в году, бывало и больше. Например, судно-флагман «космического флота» «Космонавт Юрий Гагарин» обычно находилось в плавании более 10 месяцев [3]. В состав морских экспедиций входили офицеры, как правило, уже имевшие опыт дежурства на средствах наземного автоматизированного комплекса. В основном эти специалисты обеспечивали работу космонавтов на орбитальных станциях, выполняли специальные задания Генерального штаба Вооруженных Сил СССР.

К началу 1980-х годов в частях управления КА сложилась определенная структура войсковой подготовки по специальностям различных категорий военнослужащих, окончивших государственные учебные заведения – военные академии и училища, гражданские вузы, техникумы, профтехучилища и средние школы. Эта структура включала в себя подготовку:

- офицеров-специалистов высшего звена – то есть специалистов центрального аппарата КИКа, начальников ОНИПов, главных инженеров частей, заместителей командиров частей по связи и телевидению, начальников отделов, узлов связи, информационно-вычислительных центров (ИВЦ) и им равных, организующих и осуществляющих дежурство по управлению орбитальной группировкой КА;

- офицеров-специалистов среднего звена, то есть начальников отделений, станций, инженеров отделений и станций, непосредственно выполняющих задачи дежурства по расчетным программам в составе дежурных смен и расчетов подразделений;

- сержантов и солдат – специалистов младшего звена – операторов, связистов, электромехаников-дизелистов и других специалистов, несущих сменное дежурство на средствах управления, связи, электрообеспечения, тепло- и водоснабжения, других технических системах.

Структура подготовки специалистов непосредственно в частях явилась той первоосновой, которая послужила базой для формирования в 1980-х годах стройной и цельной системы войсковой подготовки различных категорий военнослужащих к надежному выполнению силами и средствами дежурных смен основной задачи частей управления КА – телеконтроля и управления космическими объектами различного назначения по планам Генерального штаба Вооруженных Сил СССР.

Автор статьи непосредственно участвовал в организации и проведении подготовки специалистов к выполнению задач управления КА дежурными сменами ОНИП-3 (Казахстан),

ОНИП-15 (Приморье) и ОНИП-17 (Якутия) в процессе службы в этих частях. Позднее, начиная с 1986 года, в качестве преподавателя ВИКИ им. А.Ф. Можайского в ходе служебных командировок автор ознакомился с подготовкой специалистов в ОНИП-19 (Дунаевцы), ОНИП-14 (Щелково), ОНИП-4 (Енисейск). Полученные материалы позволили обобщить имеющийся опыт войсковой подготовки специалистов частей Командно-измерительного комплекса Космических средств Министерства обороны СССР в 1980-х годах. Что же из себя представляла в эти годы система подготовки специалистов из числа приведенных выше категорий военнослужащих?

До 1982 года подбором специалистов из числа руководящего состава центрального аппарата КИК, соединений и частей управления КА занимались кадровые органы Ракетных войск. Их требования к назначаемым на высшие должности кандидатам сводились в основном к наличию профильного высшего образования и опыта работы.

С образованием в ноябре 1981 года самостоятельного рода войск требования к офицерам-специалистам, назначаемым на высшие командно-инженерные должности – специалистам центрального аппарата КИКа, начальникам ОНИПов и их заместителям, руководителям морских экспедиций, начальникам отделов, ИВЦ, узлов связи и им равным – стали более дифференцированными. Эти требования были разработаны под руководством первого заместителя начальника Главного управления космических средств МО СССР генерал-майора Максимова А.А. и содержались в специальных пособиях по подбору и становлению вновь назначаемых на руководящие должности офицеров. Методика подбора и подготовки таких специалистов включала:

- предварительное изучение личного дела кандидата;
- беседу кандидата с руководством по месту службы, ознакомление с кругом обязанностей;
- предоставление испытательного срока (по возможности);
- привлечение кандидата к работе в составе комиссий и групп на военных предприятиях и в частях;
- участие офицера в работе с документацией, анализе работы космических средств и т. п. [2].

После назначения на должности со специалистами высшего звена проводилась работа по вводу их в строй, адаптации на новом месте, включая изучение структуры, техники и вооружения части (подразделения), функциональных обязанностей и документации, а также, по возможности, стажировку. В рамках командирской учебы проводилось изучение смежных специальностей и зарубежного опыта. Как правило, командиры частей, кроме прохождения службы на всех низших командных должностях, перед назначением на большой командно-измерительный комплекс 1-2 года командовали небольшими частями. Такими, как, например, ОКИК -11 (Сартычалы, Грузия) или ОКИК – 21 (Майданак, Узбекистан).

В 1984–1987 годах была наработана практика совершенствования подготовки специалистов этой категории в войсках. Она заключалась в участии в сборах руководящего командного, политического и инженерного состава, научно-технических конференциях, самостоятельной работе по индивидуальным планам, практическом закреплении знаний и навыков по специальности в составе дежурных смен командно-измерительных комплексов.

Понадобилось время, значительные усилия командиров, политорганов, штабов и служб, чтобы наработать опыт, специальные методики подбора персонала, подготовки и совершенствования военно-профессионального уровня специалистов высшего звена на командных и инженерных факультетах военных академий, на сборах руководящего состава по специальным программам индивидуальной подготовки. К концу исследуемого периода подготовка этой категории специалистов приобрела характер системы, включающей апробированный в течение ряда лет подбор кадров, введение их в должность, систематическое целенаправленное обучение и воспитание в процессе плановой командирской подготовки, участие в учени-

ях, тренировках, комплексных занятиях, несение дежурства в составе дежурных смен частей управления КА.

Отдавая должное исключительной значимости для боеготовности космических средств уровня подготовки руководящего командного, инженерного и политического состава, отмечая его важную организующую и мобилизующую роль в выполнении задач дежурства, заметим, тем не менее, что основную нагрузку по управлению КА в исследуемом периоде несли офицеры подразделений – начальники отделений, станций, инженеры и им равные по должностным категориям – специалисты среднего звена. Основную часть этой категории специалистов составляли сравнительно молодые офицеры – недавние выпускники различных вузов в возрасте 22–29 лет в воинских званиях от лейтенанта до майора. В 1980-х годах эта категория специалистов ежегодно пополнялась 800–1000 выпускниками ВИА имени Ф.Э. Дзержинского, ВИКА имени А.Ф. Можайского, а также выпускниками ранее упомянутых училищ Ракетных войск – Ростовского, Харьковского и Рижского. Основным военным вузом космического профиля была академия имени А.Ф. Можайского. Командованием и политуправлением Космических средств МО СССР перед руководством академии была поставлена задача наращивания выпуска остродефицитных в войсках специалистов. Факультет радиозлектроники (факультет № 3) был в эти годы главной академической «кузницей» по подготовке офицеров радиотехнических специальностей для средств наземного автоматизированного комплекса управления (НАКУ) и полигонных измерительных комплексов. Возросшая потребность войск в таких специалистах обусловила организацию в 1983–1986 годах двойных наборов курсантов. В этих условиях факультет сумел довести подготовку специалистов до 200 человек в год [4].

Предпринятыми руководством Космических средств МО СССР мерами в 1980-х годах была успешно решена кардинальная задача обеспечения частей управления КА основным контингентом специалистов – офицерами среднего звена, непосредственно выполняющими главную задачу – управление космическими объектами в составе дежурных смен и расчетов. Укомплектованность космических частей офицерским составом в этот период поддерживалась на уровне 95–97 % от штатной численности при ежегодном ее увеличении в связи с ростом объемов и сложности решаемых задач. При этом 94,5 % офицеров космических частей имели высшее, 5,5 % – среднее образование [2].

Начиная с 1982 года, система подготовки офицеров-специалистов самого массового – среднего звена стала набирать свой опыт обучения и воспитания персонала в войсковых условиях, непосредственно в космических частях и подразделениях. Опираясь на базовую подготовку, полученную в вузах, молодые и вновь назначенные на командно-инженерные должности офицеры по прибытии в части Командно-измерительного комплекса должны были сдавать зачеты на допуск к самостоятельной работе. Их теоретическая и практическая подготовка осуществлялись как групповым методом, так и, главным образом, индивидуально. Суть этой подготовки заключалась в том, чтобы, основываясь на полученном в вузе инженерном образовании, освоить конкретную модификацию закрепленной техники и вооружения, изучить особенности ее эксплуатации применительно к географической и оперативно-тактической специфике своего подразделения и части, получить навыки коллективного (в составе дежурной смены, расчета) выполнения типовых программ управления КА различного назначения. Как правило, руководство послевузовской подготовкой молодых офицеров, а также офицеров, вновь назначенных на должности среднего звена специалистов, осуществляли их непосредственные начальники либо, по их указанию, офицеры-наставники, имеющие достаточный опыт и знания по специальности. Подготовка к сдаче на допуск к самостоятельной работе предполагала также обязательную стажировку офицеров в качестве дублеров на реальном вооружении в составе дежурных смен своего подразделения.

Получив допуск, офицеры-специалисты среднего звена продолжали подготовку по военно-космическим специальностям в рамках плановой командирской подготовки. Такие формы занятий, как сборы, тактико-специальные и комплексные тренировки проводились в составе

учебных групп, формируемых по организационно-штатному принципу и однопрофильности. Углубленное изучение военных специальностей офицеры проводили самостоятельно по индивидуальным заданиям, выдаваемым непосредственными начальниками на период обучения.

«Шлифовка» знаний и навыков специалистов среднего звена осуществлялась непосредственно в подразделениях по специально разработанным командирами и ведущими инженерами программам, методическим указаниям, должностным инструкциям для каждой специальности и рабочего места. Окончательное закрепление, а затем и совершенствование полученных офицерами-специалистами знаний и навыков происходило на дежурстве в процессе самостоятельного выполнения заданных программ управления КА.

Офицеры-специалисты Отдельного морского командно-измерительного комплекса, как правило, назначались в экспедиции на научно-исследовательских судах (НИС), уже имея высокую классную квалификацию, достаточно прочные знания и навыки по эксплуатации космических средств. Вместе с тем в дни и часы, не занятые выполнением задач управления КА из заданных районов Мирового океана, а также в межрейсовые периоды специалисты экспедиций занимались плановой командирской подготовкой по расписаниям занятий, утверждаемым начальниками экспедиций¹.

В итоге к концу 80-х годов в частях управления КА сложилась система планомерной, стабильной подготовки высококвалифицированных офицерских кадров космического профиля. В обобщенном виде она включала в себя первичную базовую подготовку в вузе, изучение личного дела, военных, деловых и морально-политических качеств назначаемых на командно-инженерные должности офицеров, обучение в войсковых условиях и сдачу на допуск к самостоятельной работе, стажировку на рабочем месте, несение дежурства в составе дежурных смен и расчетов, обучение и воспитание в процессе плановой командирской подготовки, совершенствование военно-профессиональной подготовки в ходе учений, тренировок, самостоятельной работы по индивидуальным планам, освоение перспективных должностных обязанностей для выдвижения по службе. При оценке уровня подготовленности офицеров-специалистов командно-политические органы учитывали военно-профессиональные и морально-политические качества, классную квалификацию, организаторские способности военнослужащих, их умение и желание обучать и воспитывать подчиненных.

Ввиду относительной малочисленности в составе дежурных смен Комплекса такой категории военнослужащих, как прапорщики, их подготовка в нашем исследовании не рассматривается. Что касается специалистов – солдат и сержантов, то в 1980-х годах персонал младшего звена частей управления КА комплектовался за счет военнослужащих, прибывающих из военкоматов. Обучение некоторых из них облегчалось тем, что они прошли по направлениям военных комиссариатов специализированную начальную подготовку радиотехнического профиля в учебно-производственных комбинатах.

Частично задачу подготовки солдат и сержантов к несению дежурства в составе дежурных смен КИКа выполняла сформированная в районе г. Симферополь «3-я военная школа младших специалистов». Однако большинство должностей техников, операторов, дешифровщиков, электриков, связистов и других специалистов этого уровня замещались сержантами и солдатами, имеющими среднее техническое (среднее специальное, среднее) образование и прошедших обучение в войсковых условиях, на ОНИПах, непосредственно на рабочих местах [2].

Структура войскового обучения и воспитания младших специалистов включала: изучение командно-политическими органами частей управления КА личных дел военнослужащих; мотивированное распределение их по специальностям; начальную военную подготовку в составе учебного подразделения части; специальную подготовку в подразделениях – отделах,

¹ Установлено автором в личных беседах с офицерами-специалистами 9 ОМ КИК полковником Мусатовым М.И., подполковником Дятловым В.Я., подполковником Мудряком Б.И.

информационно-вычислительных центрах, узлах связи, эксплуатационно-технических ротах (ЭТР).

Начальная военная подготовка младших специалистов проводилась командирами, политработниками, инженерами частей, как правило, в течение одного месяца. В этот период времени изучались их деловые и морально-политические качества, определялась профессиональная пригодность к освоению должностных обязанностей техников, операторов средств телеконтроля и управления космическими аппаратами, специалистов радио- и проводной связи, механиков дизельэлектростанций (ДЭС), котельных высокого давления, систем водоснабжения и других специалистов дежурных смен. С солдатами и сержантами изучались материальная часть вооружения и техники, основы их боевого применения, правила и меры безопасности, эксплуатационно-техническая документация. Начальная подготовка завершалась приемом зачетов и распределением будущих специалистов по подразделениям.

В отделах, узлах связи, ЭТР и других подразделениях с солдатами и сержантами организовывалась военно-профессиональная подготовка для ввода их в строй. В подготовке младших специалистов из числа солдат и сержантов в частях управления КА выделялись два этапа. Первый этап охватывал начальную подготовку, подготовку для ввода в строй и обучение специалиста 3 класса, что по времени рассчитывалось на восемь месяцев. Второй этап подготовки включал совершенствование знаний и навыков, овладение смежной специальностью, сдачу последовательно на 2 и 1 класс, а в заключение – подготовку замены – 16 месяцев [7]. Обучением этой категории специалистов занимались их прямые и непосредственные начальники – начальники отделов, отделений, расчетов и офицеры – инженеры подразделений. В технических зданиях позиционных районов ОНИПов для обучения специалистов оборудовались классы, оснащенные тренажерами, электрофицированными схемами, макетами. Использовались также техническая литература, альбомы схем, учебные плакаты. В этих же целях использовались возможности учебно-материальной базы частей, а также штатные техника и вооружение, не занятые на дежурстве [1]. Занятия по специальной и тактико-специальной подготовке проводились как классно-групповым методом, так и индивидуально по специальностям. Применялись также самостоятельная подготовка, наставничество опытных специалистов, контрольные и зачетные упражнения на штатном вооружении и технике.

Полученные знания и навыки, как показывала войсковая практика, например ОНИП-17 (Якутия), солдаты и сержанты закрепляли в процессе стажировок в составе дежурных смен и расчетов при выполнении реальных задач управления КА. Опыт свидетельствовал, что наиболее действенным методом практического обучения молодых специалистов было персональное наставничество мастеров военного дела из числа старослужащих солдат и сержантов.

После сдачи на допуск к самостоятельной работе младшие специалисты включались приказами командиров частей в состав дежурных смен, расчетов и приступали к выполнению прямых функциональных обязанностей. Дальнейшее совершенствование военно-профессиональных знаний и навыков проходило на занятиях по предметам боевой и политической подготовки в соответствии с еженедельными учебными планами частей и подразделений, на комплексных занятиях, а также в процессе реального дежурства.

Быстрое обновление и увеличение орбитальной группировки, усложнение КА, технических систем и программ управления ими выдвигало в 1980-х годах перед руководящим составом космических частей весьма сложные и ответственные задачи по непрерывному совершенствованию войсковой подготовки всех категорий специалистов, повышению их воинского мастерства как необходимого условия укрепления боевого потенциала Космических средств Министерства обороны СССР. Подчеркнем еще раз, что становление и развитие системы подготовки специалистов высшего, среднего и младшего уровней являлось неотъемлемой составной частью совершенствования самих космических частей. Возникнув на этапе подготовки к полету первого спутника в форме подбора подходящих по профессиональному

профилю офицеров, сержантов и солдат, к концу 1980-х годов подготовка специалистов в космических частях управления КА приобрела плановый, системный характер. Эта система позволила десяткам тысяч военных специалистов успешно осваивать сложные образцы космического вооружения и техники, эффективно использовать их в оборонных целях и в интересах науки и народного хозяйства страны. В 1982–1991 годах специалисты Командно-измерительного комплекса провели летно-конструкторские испытания и освоили эксплуатацию более 2600 КА военного и народнохозяйственного назначения, успешно провели с ними почти 3 млн сеансов управления [5].

В заключение заметим, что название Комплекса неоднократно менялось. С мая 2001 года он стал называться 153-м Главным испытательным центром (испытаний и управления космическими средствами) Министерства обороны Российской Федерации. Указом Президента России 14 августа 2001 года это наименование было дополнено почетными словами «имени Г.С. Титова» [5].

Список используемых источников

1. *Бочинин Д.А.* Специальная подготовка и морально-психологическое обеспечение дежурных смен управления космическими аппаратами. 1982–1990 гг. // Военно-исторический журнал. – 2008. – № 2.
2. Военно-космические силы (военно-исторический труд). – М.: Наука, 1997. – Кн. 1: Космонавтика и Вооруженные силы.
3. Военно-космические силы (военно-исторический труд). – М.: Наука, 1998. – Кн. 2: Становление Военно-космических сил.
4. Исторический очерк факультета радиоэлектроники Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2005.
5. История Командно-измерительного комплекса управления космическими аппаратами от истоков до Главного испытательного центра имени Г.С. Титова. – М.: Контакт-РЛ, 2006. – Кн.1.
6. *Литовкин В.Н.* Россия не собирается воевать в космосе: интервью с командующим Космическими войсками генерал-полковником В.А. Поповкиным // Независимое военное обозрение. – 2007. – 5 октября.
7. Отечественная ракетно-космическая техника и военно-космическая деятельность: истоки, развитие, перспективы: сборник трудов по гуманитарным наукам. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2007.

О.В. Гуторович,
кандидат философских наук

ИНФОРМАЦИОННАЯ ВОЙНА КАК ОТРАЖЕНИЕ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

В данной публикации автор обращается к феномену информационной войны, рождение которого является отражением стратегии развития человеческого общества. Автор останавливается на таких понятиях, как «информационная война», «информационные операции» и «пропаганда», соотнося их друг с другом. Стоит задача показать, что развитие информационной цивилизации открывает новые горизонты для развития информационной войны, совершенствует технологию ее ведения. Раскрываются возможные цели и последствия ведения информационных войн.

Ключевые слова: постиндустриальное общество, информационное общество, информационная война, информационные операции, информационное воздействие, пропаганда, фрейм, человеческая сеть.

Стремительное ускорение глобальных информационных процессов на рубеже XX–XXI веков способствовало выходу общества на новый уровень развития. Фундаментальную роль стали играть получившие широкое распространение электронные и информационные технологии; различного рода информационные и компьютерные сети и всемирная паутина; информационные ресурсы и информационные потоки. Становление информационной сферы открыло широкий спектр возможностей для дальнейшего роста экономики, развития социальной и культурной сфер. Одновременно с этим значительно возросли информационные вызовы и угрозы, актуальной стала проблема информационного противоборства, или информационной войны.

Информационную войну следует рассматривать в качестве составной части современного глобализационного процесса и без понимания ее сущности невозможно в полной мере оценить последствия глобализационного давления.

Неправомерно утверждать, что проблемы, связанные с информационным противоборством, возникли на современном этапе развития человечества, скорее, развитие информационной цивилизации открыло новые горизонты для развития информационной войны, способствовало совершенствованию технологии ее ведения.

Что собой представляет информационное общество? Какие вызовы и угрозы таит оно в себе? Что собой представляет феномен информационной войны? Имеются ли различия между понятиями «информационная война», «информационная операция» и «пропаганда»? Существует ли типовая модель ведения информационной войны? В чем принципиальное отличие информационного оружия от обычного? *Задача* автора состоит в том, чтобы хотя бы отчасти осветить эти вопросы.

Научная новизна исследования заключается в следующих основных положениях.

1. Философская концепция информационного общества является теоретическим базисом для объяснения истоков и тенденций развития информационного общества, его генетической взаимосвязи с постиндустриальным типом общества.

2. Становление основ информационного общества в индустриально развитых странах является свидетельством эволюционного перехода к следующей стадии развития общества, технологическим фундаментом которой является индустрия создания, обработки и передачи информации.

3. Информационная цивилизация, основой которой выступают информационные технологии, существенно изменила статус информации. Информация превратилась не только в необходимый ресурс деятельности человека, сопоставимый по значимости с другими

ресурсами развития государства, но также была выделена в специфический «ресурс» нападения и защиты.

4. Информационное оружие используется человечеством с давних пор, информационное общество и соответствующие ему информационные технологии породили его особую форму, позволяющую с легкостью и незаметно манипулировать людьми, надзирать за ними, влиять на массовую культуру, стандартизировать образ жизни людей, пресекать и разжигать массовые движения, свергать или приводить к власти удобные правительства, разрушать или создавать идеалы, контролировать эмоции и поступки.

Результаты исследования могут быть использованы в процессе преподавания дисциплин социально-гуманитарного цикла. Проведенный анализ послужит теоретической и методологической основой для дальнейших исследований идеологических, политических и социально-философских аспектов возникновения и осуществления информационной агрессии.

По замыслу автора, исследование условно состоит из двух частей. В рамках первой освещаются концепции постиндустриального и информационного общества с целью продемонстрировать, что результатом развития человеческого общества являются не только позитивные, но и негативные последствия. В рамках второй части рассматривается феномен информационной войны, явившийся результатом противоречивого развития человеческого общества.

Итак, в 60–70-е годы XX века в экономической сфере развитых стран произошли существенные изменения: на первый план вышли наукоемкие отрасли, наблюдалась глобальная компьютеризация, сопровождавшаяся формированием «индустрии знаний» и появлением разветвленных информационных систем. Всё это явилось свидетельством начала новой технологической революции, которую переживало человечество, и рождения новой сверхиндустриальной цивилизации, пришедшей на смену индустриальной эпохе.

Необходимость осмысления изменений, происходивших прежде всего в экономической сфере, объясняет появление целого ряда социально-философских концепций постиндустриального и информационного развития общества. О «постиндустриальном обществе» заговорили еще в начале XX века, термин был введен ученым А. Кумарасвами, специализировавшимся на доиндустриальном развитии азиатских стран. В конце 1950-х годов этот термин впервые был применен в современном значении, то есть для обозначения социума, в котором индустриальный сектор теряет ведущую роль, а потенциал его развития определяется масштабами информации и знаний. Широкое признание концепция постиндустриального общества получила после появления работ профессора Гарвардского и Колумбийского университетов Д. Белла, а затем была развита в работах других ученых, в частности французского социолога, профессора университета в Нантере А. Турена.

В различных концепциях «постиндустриального общества» основой поступательного развития общества считается смена технологических эпох, а также отраслевое и профессиональное разделение труда. Ведущую роль в «постиндустриальном обществе» приобретает сфера услуг, наука и образование, что объясняется ростом автоматизации и внедрением высоких технологий с последующим перераспределением доли общественного труда не в пользу индустрии. Преобладающей сферой деятельности общества становится производство, распределение и потребление информации. Как следствие, корпорации уступают лидирующие позиции университетам, а бизнесмены – ученым и профессиональным специалистам, социальное положение которых изменяется, и в социальной структуре они начинают занимать ключевое место. Человечество переходит в совершенно новую эпоху, которая приводит к коренным преобразованиям не только в экономике, но и в политике, культуре, социальной сфере.

В настоящее время к постиндустриальным, высокоразвитым странам, в которых интеллектуальный капитал доминирует над промышленным, а ценности качества жизни над материальным уровнем, относят США, Японию, государства Западной Европы, Канаду,

Австралию, Новую Зеландию и Израиль [1]. В них на сферу услуг приходится значительно более половины ВВП [2]. Размер внутреннего валового продукта на душу населения в качестве критерия отнесения государства к такого рода обществу впервые рассматривается Д. Белом в работе «Грядущее постиндустриальное общество» (1973).

Наряду с постиндустриальной теорией появляются концепции постэкономического общества, постмодернизма, «третьей волны», «общества четвертой формации», «научно-информационного этапа принципа производства». Их количество убедительно свидетельствует о том, что идея технических мутаций, оказывающих многомерное воздействие на социальный прогресс, получила признание в современной философии и социологии. Более того, футурологи считают, что постиндустриализм – это лишь начальная стадия, преамбула «постчеловеческой» фазы развития земной цивилизации, отличительным признаком которой станет качественно новое положение человека, обладающего расширенными физическими, психическими и интеллектуальными возможностями.

Практически одновременно с теориями постиндустриального общества появились теории информационного общества. Эти два типа теорий имеют очень много содержательно схожих моментов, настолько много, что Д. Белл счел возможным заявить, что информационное общество – это постиндустриальное общество, в котором разворачивается информационная революция, предполагающая качественный скачок, кардинальные изменения в сфере обработки информации. Речь шла о невероятном росте скорости передачи информации; миниатюризации – значительном изменении величины, «сжатии» конструктивных элементов, проводящих электрические импульсы; дигитализации – дискретной передаче информации посредством цифровых кодов.

Термин «информационное общество» приписывается Ю. Хаяши, профессору Токийского технологического института, использовавшему его впервые в своей работе «Японское информационное общество: темы и подходы», вышедшей в 1969 году. В ходе исследования, заказанного правительством Японии, Ю. Хаяши сосредоточил внимание на изучении влияния новых развивающихся компьютерных технологий на общество. Им же были заданы контуры информационного общества. Предполагалось, что в обществе данного типа компьютеризация обеспечит быстрый доступ к любым источникам информации и избавит людей от будничной, шаблонной работы за счет высокого уровня автоматизации производства. Продукт сферы производства будет отличать повышенная «информационная емкость», а в стоимость подобного товара будут заложены инновационные, дизайнерские, а также маркетинговые компоненты.

В свою очередь, Е. Масуда, апологет концепции «информационного общества» и глава Института информационного общества, пришел к выводу, что «движущей силой развития общества будет создание продукта не материальной, а информационной работы» [3]. Давая характеристику обществу нового типа, он обратил внимание на фактор времени, роль и ценность которого существенно возрастут. По мнению Е. Масуды, население, не будучи загруженным повседневной работой, получит возможность приобщаться к культурным ценностям, обогащая свой духовный мир. Автор «Плана для информационного общества – национальная цель к 2000» (1972) позиционировал информационное общество как общество согласия и мира, в котором будут отсутствовать классы и конфликты, уменьшится количество государственных органов, существенно сократится их штат.

Следует признать, что как бы ни относились исследователи к теории «информационного общества», они не могут отрицать наличие реальных изменений, произошедших в технически развитых странах мира за последние десятилетия. На рубеже XX–XXI веков массовое производство сверхпроизводительных ЭВМ, информатизация и автоматизация человеческой деятельности поставили информационные технологии по уровню важности вровень с экономическим производством, а в некоторых случаях и выше. Общество, научившееся эффективно получать, обобщать и использовать информацию, сделало стремительный скачок в социально-экономическом развитии. В таком обществе информация рассматривается в каче-

стве основы общественного развития, стратегического ресурса, сопоставимого по значению с природными, людскими и финансовыми ресурсами. Налицо возросшая роль систем обмена информацией, построенных на базе компьютерных сетей, обеспечивающих распространение информации с огромной скоростью в глобальном масштабе и массовый доступ к информационно-телекоммуникационной инфраструктуре большинства (а в идеале всех членов общества). В экономическом аспекте всё это предполагает в конечном итоге формирование рынка информации и знаний наряду с рынками природных ресурсов, труда и капитала.

У. Мартин, руководитель кафедры информационных исследований Королевского университета в Белфасте, в качестве основных характеристик информационного общества назвал пять критериев. В качестве критерия «номер один» был определен технологический фактор, основу которого составляет информационная технология, применяемая во всех сферах жизнедеятельности общества – на производстве, в учреждениях, системе образования и в быту. Особое место отводилось социальному критерию. При описании социальной системы информационного общества подчеркивалось, что информация не только играет роль стимулятора изменения качества жизни, она формирует и утверждает «информационное» сознание. Характеризуя экономический критерий, отмечалась ведущая роль информации в экономике, где она превратилась в основной ресурс, услугу, товар, источник добавленной стоимости и занятости. Политический критерий был соотнесен со свободой информации. Только наличие такого важнейшего достижения могло привести к активному политическому процессу, а в идеале к консенсусу между различными классами и социальными слоями. Характеристика информационного общества заканчивалась дескрипцией культурного критерия. По мнению автора, общество информационного типа не только с необходимостью признает культурную ценность информации, но и всячески содействует утверждению информационных ценностей, отмечая в этом заинтересованность и отдельного индивида, и общества в целом [4].

По мнению американского философа, социолога и футуролога Э. Тоффлера, история сделала грандиозный поворот, произошла величайшая трансформация социума, всестороннее преобразование всех форм социального и индивидуального бытия. Речь идет о технологических изменениях, породивших глубинные потрясения. Человечество столкнулось с новой технологической революцией (сверхиндустриальной), пришедшей на смену «первой» (аграрное общество) и «второй волне» (индустриальное общество), породив информационное, или постиндустриальное общество. Мир заполнился нововведениями: информационные технологии, информатизация общества, глобальное информационное пространство, новый стиль работы и жизни, возникновение новых форм политики, экономики и сознания. Однако в отличие от Е. Масуды, определявшего информационное общество как общество мира и согласия, Э. Тоффлер был убежден, что оно таит в себе новые сложности, социальные конфликты и глобальные проблемы. С виду успешное, благополучное и процветающее общество породило новый тип разногласий: коллизии возникают на почве обладания информацией. И если причиной войн, ведущихся в традиционном обществе, были территория и необходимость ею обладать, в индустриальном обществе – средства производства, то информационный век инспирирует инциденты и споры, связанные с обработкой и порождением информации/знаний. При этом все попытки человечества создать бесконфликтное пространство выглядят как утопия. Нарисованным Е. Масудой воздушным замкам противостоит реальная ситуация: жизнь протекает в условиях мировой информационной войны, театры действий которой разворачиваются едва ли не во всех секторах глобальной информационно-телекоммуникационной инфраструктуры, в сфере производства и потребления различных видов инфокоммуникационных технологий и услуг. Эскиз исторической картины развития человечества выглядит как вечный конфликт, создаваемый и разрешаемый. Меняется причина конфликта, но сама технология развития остается неизменной. Такова общемировая стратегия исторического процесса.

Сегодня со всей очевидностью можно утверждать, что ни многообещающие совместные заявления лидеров мировой политики, ни успехи, достигнутые на пути реализации соответ-

ствующих программ, не привели к созданию мирного и процветающего глобального информационного общества. Информационная цивилизация, основой которой выступают информационные технологии, существенно изменила статус информации. Информация превратилась не только в необходимый ресурс деятельности человека, сопоставимый по значимости с другими ресурсами развития государства, но также была выделена в специфический «ресурс» нападения и защиты. Не случайно ведущееся вокруг информационного ресурса соперничество, борьба за обладание им, за достижение и удержание информационного превосходства занимает значительное место во внешней и внутренней политике развитых стран. Перед нами оказалось сильнодействующее средство, для которого нет пределов. По сути, конец XX века вывел информационно-коммуникационные процессы на новый уровень, в них в значительной степени оказались заинтересованными государства, в том числе военная сфера. Речь идет о феномене информационных войн. «К сожалению, информационная война – это тоже феномен информационного общества...» [5], – напишет Т.В. Ершова, главный редактор журнала «Информационное общество».

Еще К. Гельвеций утверждал, что для осмысления любого феномена необходимо прежде всего определиться с самим понятием. Остановимся на определении понятия «информационная война». Следует констатировать, что на данный момент не существует единого, всеми признанного определения этого явления. Просматривается два основных подхода: узкий и широкий. В рамках первого подхода сущность информационной войны сводится к конкретному аспекту, в этом случае информационной войной называются, например, компьютерные преступления. Второй подход подчеркивает многозначность исследуемого явления, определяя его как стратегию, операцию, тактические действия, которые могут проводиться в мирное время, во время кризиса, конфликта, войны, в период восстановления мира между соперниками, конкурентами, врагами с использованием современных информационных технологий с целью достижения своих целей. Такое определение не случайно названо широким, так как в нем предполагаются почти все виды человеческой деятельности.

В качестве базового определения представляется возможным использовать определение Г.Г. Почепцова, автора книги «Информационные войны. Основы военно-коммуникативных исследований» (2000), который подразумевает под информационной войной «коммуникативную технологию по воздействию на массовое сознание с кратковременными и долгосрочными целями» [6].

Очевидно, что информационная война предполагает информационное воздействие, которое совершается планомерно, охватывая всю инфокоммуникационную систему противника, а также нейтральные государства. Целью подобного воздействия является, во-первых, формирование благоприятной глобальной информационной среды для проведения любых политических и геополитических операций, обеспечивающих максимальный контроль над пространством, а во-вторых, внесение изменений в когнитивную сферу, чтобы получить соответствующие изменения в поведенческой структуре, а в идеале сформировать картину мира с заданными параметрами. В этой связи информационное воздействие можно рассматривать как новый вид оружия, которое в определенной степени является не менее эффективным средством воздействия, чем традиционное вооружение и военная техника, при этом более гибким и скрытным. Результатом информационного прессинга является информационное доминирование, как следствие – контроль над информационным пространством противника и заполнение структуры информационного пространства в нужном ракурсе, что лишает противоборствующую сторону возможности воспользоваться им в полной мере.

История термина «информационная война», появившегося в конце 80-х годов XX века, убедительно свидетельствует о том, что он быстро приобрел популярность, спровоцировав массу теоретических работ, подвергнувших анализу данное явление. Результатом стало понимание, что термин «информационная война» не следует использовать в профессиональной среде. Вместо него в обращение было введено понятие «информационные операции». Данное решение имеет достаточно убедительное объяснение: война не может вестись в мирный

период, а операции могут. Поэтому термин «информационная война» в настоящее время используется в основном в публицистических изданиях.

Известно, что США отказались от использования термина «информационная война» после резолюции ГА ООН 53/70 «Достижения в сфере информатизации и телекоммуникаций в контексте международной безопасности» от 4 декабря 1998 года [7]. Вместо него стали применять термин «информационные операции», определяемые как конфликт, в котором критически и стратегически важным ресурсом является информация, подлежащая освоению или уничтожению.

Если появление термина «информационная война» сопряжено с последними десятилетиями XX века, то история самого явления выглядит куда более убедительно.

Доподлинно известно, что информационное оружие применялось с давних пор. Примером служит продуманная политика Чингиз-Хана, орды которого стимулировали распространение слухов, что если город не сдастся – пощады не будет никому. Или деятельность редакторов кромвелевских «Курантов». В годы английской революции XVII века, пытаясь посеять панику в стане противника, они преднамеренно обманывали публику, сообщая неоднократно о гибели выдающегося роялистского генерала Хоптона. Сегодня использование информационного оружия приобрело особую актуальность: его возможности удивительным образом попали в резонанс с возможностями нового этапа развития цивилизации – информационного этапа, который характеризуется тем, что информация играет важнейшую роль практически во всех сферах жизни.

Понятие «информационная война» тесно связано с термином «пропаганда», а точнее, оно вырастает из такой широко известной дефиниции, как «пропаганда». Этот термин был впервые введен в обращение в 1622 году Римским Папой. Григорий XV, чтобы поднять боевой дух католиков, противостоящих протестантам в 30-летней войне, создал Конгрегацию пропаганды веры, которая должна была вести идеологическую борьбу с протестантами. Вплоть до начала XX века этот термин использовался как религиозный. В ходе Первой мировой войны появились специальные подразделения для ведения пропаганды в войсках противника. Впервые бюро военной пропаганды было создано при министерстве иностранных дел Великобритании в 1914 году. В развитии теории и практики пропаганды наступил поворотный момент, увенчавшийся выходом в 1927 году специальной книги известного теоретика пропаганды и информационных войн Гарольда Лассуэла «Техника пропаганды в мировой войне» [8].

С точки зрения Г.Г. Почепцова [9], пропаганду можно признать первым вариантом информационной войны. Признаками, указывающими, что термин «информационная война» следует закрепить за пропагандой, являются: направленность на массовое сознание, долгосрочная реализация, опора на эмоции, использование как ложной, так и достоверной информации, стремление к множественному количеству носителей информации.

Всесторонний подход к рассмотрению феномена войны требует изучения ее источников и причин, повода и предпосылок, освещения ее хода, роли случайных факторов и наличия закономерностей, наконец, анализа тактики и стратегии ее ведения. Информационная война не является исключением. Поэтому кроме присущих ей основных признаков она должна иметь и определенную стратегию распространения или общих, недетализированный план своего развития, охватывающий длительный период времени. В настоящее время можно говорить о некоей типовой модели ее ведения, без осмысления и понимания которой невозможно противодействие и умелое маневрирование в потоках информации противника.

В ходе ведения информационной войны представляется возможным выделить три основных этапа. Начальный этап предполагает создание искусственной или использование имеющейся ситуации, интерпретируемой как нечто негативное, отрицательное. Ставится задача выстроить в голове людей некую ментальную модель, с помощью которой в дальнейшем будет осмысливаться мир и определенным образом будут организовываться все факты. Эта модель не обязательно должна быть правильной или истинной, она должна быть удобной и

выгодной для тех, кто замыслил ее сконструировать. Иными словами, первым компонентом информационной войны является фрейм, позволяющий понимать и интерпретировать действительность под определенным углом зрения, задающий определенный стереотип восприятия. Это определенный набор идей и допущений, который необходимо сформировать в голове с тем, чтобы в дальнейшем облегчить понимание и освоение определенной информации или, образно говоря, «территории».

Термин «фрейм», введенный в 70-ые годы XX века Г. Бейтсоном, в переводе с английского – *frame* – означает «каркас», «рамка». С точки зрения британо-американского лингвиста, фрейм есть обрамление в речевом общении или совокупность средств, вербальных и невербальных, с помощью которых говорящий показывает слушающему, как именно нужно понимать данное сообщение – серьезно или в виде шутки, буквально или в переносном смысле и т. п. По сути, это некая несущая конструкция, состоящая из целого ряда элементов. Отсюда возникает понимание, что для усиления эффекта работы фрейма его необходимо детализировать. Типовая модель информационной войны предполагает подобную работу. На втором этапе информационной войны возникает необходимость в экспертных оценках ситуации, в ее визуализации, в выступлениях авторитетных лиц, высказывающих свое мнение, в демонстрации пострадавших от ситуации и пр. Через подобную детализацию идет закрепление ментальной конструкции, а в идеале – превращение ее в некую закономерность.

Венчает информационную войну расширение фрейма, что достигается за счет акцента на негативных последствиях: добавляются обвинения, жертвы, собственная невинность. В результате подобного развития событий враг приобретает черты вселенского масштаба. Фреймы позволяют достигнуть желанной цели, а организаторам остается умело поддерживать их.

Вне всякого сомнения, современное состояние информационной цивилизации и ее уникальные перспективы развития открывают новые варианты и новые горизонты для совершенствования техники и технологии ведения «информационной войны».

Развитие информационного оружия происходило и происходит как в технической, так и в гуманитарной сферах. «История информационного оружия в гуманитарной сфере – это история СМИ, включая сетевые СМИ, пропаганды и технологий скрытного управления человеком (гипноз, реклама, специальные учения, NLP-программирование¹ и т. п.). История оружия в технической сфере – это история программных средств скрытого информационного воздействия (вирусы, закладки, средства подавления информационного обмена в телекоммуникационных сетях) и информационные технологии их применения» [10]. Основными же объектами поражения в новых войнах будут информационная инфраструктура и психика противника. Информационная «атака» грозит выведением из строя всех электронных систем управления страной, ее вооруженными силами, государственной инфраструктурой, разрушением транспортной и энергетической (в том числе атомной) систем и т. д. Катастрофические последствия применения такого оружия сопоставимы с последствиями применения средств массового поражения.

А не так давно в литературе появился термин *human network*, что означает «человеческая сеть». Его происхождение сопряжено с рождением Интернета. На первом этапе своего развития созданная «всемирная паутина» породила электронную почту, электронную коммерцию, мгновенные сообщения и другие Web-предложения. Затем возник онлайн-бизнес и резко повысилась производительность труда с помощью интернет-технологий. Переломной точкой в ее развитии стал выход за физические рамки, трансформация в челове-

¹ НЛП – Нейролингвистическое Программирование (NLP) – это техники, методы воздействия на человека с целью изменения его внутренних убеждений, установок, жизненных ценностей и приоритетов.

скую сеть, сеть людей, взаимодействующих друг с другом, в сеть, меняющую способы общения, связи, отдыха и развлечений. *Human network* открывает новые перспективы ведения «информационных войн»: свободный доступ к управлению сознанием масс путем изменения его структуры, основных категорий мышления, жизненных принципов и целей.

Принципиальное отличие информационного оружия от обычного в том, что оно воздействует на разум, дух, а не на тело человека. «Искусство убеждать людей, – говорил оратор, философ софист и основоположник риторики Горгий из Леонтин (483–375 гг. до н.э.), – много выше всех других искусств, так как оно позволяет делать всех своими рабами по доброй воле, а не по принуждению» [11]. Это очень удобно и эффективно. В результате применения информационного оружия объект воздействия (человек, социальная группа, народ) начинает совершать действия, идущие в разрез собственным интересам, но отвечающие интересам противника.

И.Н. Панарин, профессор Дипломатической академии МИД России, обращает внимание на преимущества информационной войны по сравнению с обычной [12]. К ним он относит ряд факторов: незначительные денежные затраты, отсутствие регламентации со стороны международного права, отсутствие жертв и разрушений в прямом смысле слова. О такой войне можно сказать, что она менее опасна для страны агрессора и ее граждан, так как ведется в «белых перчатках».

Но страшно другое. Незримость, неочевидность и незаметность информационной войны рано или поздно проявляются катастрофическими последствиями для государства и народа, против которого она была развязана, так как применение ее технологий может вызвать нарушение функционирования социально-экономической и политической сфер. В результате общество, не включившее вовремя защитные механизмы, ввергается в состояние деморализации, что неминуемо ведет к отсутствию способности противодействовать и оказывать сопротивление. Жертвы данного вида оружия, даже владея теорией и соответствующей материально-технической базой, приходят к осознанию себя как жертвы только потом, когда «поезд уже ушел».

Подводя итог вышесказанному, отметим, что развитие человеческого общества породило уникальный феномен – информационную войну. Информационная цивилизация, ставшая результатом длительного и поступательного развития человечества, мечтавшего о мире и согласии, характеризующаяся величайшими достижениями человеческого разума, способствовала становлению и совершенствованию информационной войны, призванной усилить глобальную неустойчивость и противоречивость самого общества. Информационная цивилизация и соответствующие ей информационные технологии породили ее особую форму, позволяющую с легкостью и незаметно манипулировать людьми, надзирать за ними, влиять на массовую культуру, стандартизировать образ жизни людей, пресекать и разжигать массовые движения, свергать или приводить к власти удобные правительства, разрушать или создавать идеалы, контролировать эмоции и поступки.

Приходится признать, что способы ведения войны изменились, она модернизировалась, приняла форму, наиболее соответствующую сегодняшнему уровню и стратегии развития человеческого общества. И не случайно считается, что войны XXI века будут по преимуществу информационными.

Список используемых источников

1. Дергачёв В.А. Геополитика. Русская геополитическая энциклопедия. 2010–2014. – URL: <http://dergachev.ru/Russian-encyclopaedia/index.html> (дата обращения: 09.03.2017).
2. О производстве и использовании валового внутреннего продукта (ВВП) за 2008 год // Федеральная служба государственной статистики. – 2008. – № 4. – С. 27.

3. *Арутюнян Г.* Информационные и деиндустриализованные общества. – URL: http://www.noravank.am/rus/articles/detail.php?ELEMENT_ID=14933 (дата обращения: 19.02.2017).
4. *Грачёв М.Н.* Политическая коммуникация // Вестник Российского университета дружбы народов. Сер. Политология. – 1999. – № 1. – С. 24–39.
5. *Ершова Т.В.* Информационная война и вечные ценности // Информационное общество. – 2014. – № 1. – С. 3.
6. *Почепцов Г.Г.* Информационные войны. – М., 2000. – С. 20.
7. *Деркаченко Я.* Эволюция понятия «информационная война». – URL: <http://psyfactor.org/psyops/infowar46.htm> (дата обращения: 11.03.2017).
8. *Панарин И.Н.* СМИ, пропаганда и информационные войны. – URL: http://www.telenir.net/politika/smi_propaganda_i_informacionnye_voiny/p7.php (дата обращения: 11.03.2017).
9. *Почепцов Г.Г.* Пропаганда vs. информационные операции: сходства и различия. – URL: <http://psyfactor.org/psyops/propaganda26.htm> (дата обращения: 15.03.2017).
10. *Григорьева М.В.* История становления информационных войн. – URL: <https://refdb.ru/look/2038326.html> (дата обращения: 27.02.2017).
11. История риторики. Горгий. – URL: // <http://psychology.filolingvia.com/publ/49-1-0-259> (дата обращения: 24.03.2017).
12. *Панарин И.Н.* Основные методы ведения информационного противоборства. – URL: <http://publikatsii.ru/stats/10243-osnovnye-metody-vedeniya-informacionnogo-protivoborstva.html> (дата обращения: 10.04.2017).

Н.В. Зрянина,
кандидат медицинских наук;
А.В. Стешов,
кандидат военных наук, доцент;
А.Г. Яковлев,
кандидат медицинских наук,
ВМедА, г. Санкт-Петербург

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЗАНЯТИЙ ПРАКТИЧЕСКОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ С ПОМОЩЬЮ ИНТЕЛЛЕКТ-КАРТ

Предлагается инновационная методика проведения семинара по учебной дисциплине «Радиационная, химическая и биологическая защита» с использованием интеллект-карт для максимальной активизации обучающихся на занятии. Даются рекомендации по подготовке методического обеспечения и оценке образовательного результата.

Ключевые слова: инновационная методика, принципы коммуникативного образования, интеллект-карта, методическое обеспечение.

В будущей профессиональной деятельности выпускников военной академии в качестве командиров подразделений должны осуществляться мероприятия по охране здоровья военнослужащих. Как организовать занятие в учебной группе, чтобы выработать навыки и умения для осуществления этих мероприятий? Традиционная реферативно-докладная схема проведения семинара не позволяет в полной мере формировать эти умения и навыки, анализировать ситуацию, находить недостающую информацию, мыслить нестандартно в условиях реальной угрозы жизни и здоровью личного состава подразделения. Образовательный результат семинарского занятия невелик, если несколько обучающихся выступают с докладами, «мыслят» текстами лекций и учебников, в то время как остальные пассивно присутствуют на занятии. Вместе с тем умение руководить подчиненными подразделениями формируется в процессе активной мыслительной и речевой деятельности на занятии.

Семинары проводятся по наиболее сложным вопросам (темам, разделам) учебной программы и методика их проведения должна обеспечивать более углубленное изучение учебной дисциплины, прививать обучающимся навыки самостоятельного поиска и анализа учебной и научной информации, развивать у них научное мышление, умение активно участвовать в творческой дискуссии, делать выводы, аргументировано излагать и отстаивать свое мнение [1].

В настоящей публикации предложена инновационная методика проведения семинара по дисциплине «Радиационная, химическая и биологическая защита» с помощью интеллект-карт, способствующая активному овладению учебным материалом, позволяющая охватить мыслительно-речевой деятельностью всех обучающихся и оценивающая их по определенным критериям.

В основу инновационной методики заложены следующие принципы частной методологии субъект-субъектной парадигмы коммуникативного образования [2]:

- мотивированность любого действия и любой деятельности обучающегося, т. е. совершение действий, связанных с обучением, из внутреннего побуждения, а не по причине внешнего стимулирования (вызова отвечать, угрозы отрицательной оценки по предмету);
- целенаправленность любого учебного действия, т. е. поиск решения или недостающих сведений во имя достижения осознанной цели, учебной задачи;

- речемыслительная активность, т. е. постоянная включенность в процесс решения учебных задач, заданий, в общение, в обмен мнениями, в диалог; отработка высказываний; умение слушать и понимать других;
- взаимодействие обучающихся, т. е. координация их действий, взаимопомощь, поддержка друг друга, доверительное сотрудничество всех участников образовательного процесса, совместное продвижение к учебной цели;
- эвристичность как организация подачи материала и процесса его усвоения, исключающая произвольное заучивание и воспроизведение заученного. Умение находить самостоятельное решение возникающих проблем, оригинально и творчески мыслить (важная способность для командиров);
- проблемность как способ организации и презентации учебного материала, заставляющий думать, искать информацию, формулировать позицию;
- новизна как постоянная вариативность всех компонентов образовательного процесса: необычность расположения обучающихся, возможность лидировать в дискуссии, отстаивать свое мнение, проявлять находчивость, спорить, рисовать по собственным представлениям и др.;
- функциональность, означающая подобие учебной деятельности функциям командира в реальной обстановке боевых действий, т. е. отработка докладов, действий, аргументация положениями из руководящих документов, отдача распоряжений и указаний.

Инновационная методика проведения семинара по дисциплине «Радиационная, химическая и биологическая защита» на принципах коммуникативного образования требует особого методического обеспечения, и перечня вопросов для подготовки к семинару здесь недостаточно. Авторы предлагают применить технологию на основе интеллект-карт, которая разработана Тони и Барри Бьюзен [3] и вот уже более 50 лет завоевывает интеллектуальное пространство планеты, она признана более чем в ста странах мира как технология третьего тысячелетия. В России эта технология также завоевывает признание. В Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского популяризатором и методистом этой технологии является профессор А.В. Стешов.

Интеллект-карта – это графический метод для решения интеллектуальных задач, построенный по аналогии с радиантным мышлением, которое является специфичным для нервных процессов, протекающих в мозге человека.

Каждый бит информации, поступающий в мозг (каждая мысль, воспоминание, слово, число, вкус, запах, цвет и т. д.), может быть представлен в виде центрального образа (эмфазы), от которого расходятся множество понятий и ассоциаций.

Каждая из ассоциаций располагает практически бесконечным множеством связей с другими ассоциациями. По определению Т. и Б. Бьюзен, количество ассоциаций, уже использованных мозгом, можно считать тем, что называют памятью. Поэтому интеллект-карты часто называют «картами памяти». В концепции радиантного мышления мысли, подобно лучам, расходятся от информационных узлов, что соответствует строению нейронных систем мозга, и на этом принципе строятся интеллект-карты [3].

На занятиях, проводимых с применением интеллект-карт, обучающиеся овладевают методикой разработки кодирования, упорядочения и восстановления информации в памяти с их помощью. Вся суть методики – в работе с этой необычной структурой, позволяющей расширять область своих знаний до любых пределов.

В немногочисленных литературных источниках [3, 4, 5, 6] описан опыт применения интеллект-карт в различных сферах жизни и деятельности человека, в том числе и в образовании. Они могут использоваться как для преподавания, так и для усвоения учебного материала, при подготовке к сдаче экзамена, в проектных работах и отчетах, презентациях и при выполнении письменных работ. С их помощью можно эффективно заниматься планированием, конспектированием, написанием и составлением текста, обзором литературы.

Совместная деятельность преподавателя и обучающихся на основе интеллект-карты на интерактивном занятии позволяет использовать более широкие возможности психики чело-

века при работе с информацией, не ограничиваясь только вербальным каналом передачи информации.

Под предлагаемой инновационной методикой понимается технология педагогической коммуникации в образовательной деятельности. Исходя из такого понимания, в данной методике приоритет отдается диалогу преподавателя с аудиторией и диалогу обучающихся между собой в микрогруппах. Педагогическая коммуникация строится на визуализации содержания занятия для интенсивной интеллектуальной работы обучающихся [7].

Рассмотрим методику проведения семинара из раздела «Основы медицинского обеспечения» учебной дисциплины «Радиационная, химическая и биологическая защита» с помощью интеллект-карт. По форме проведения занятие является проблемным.

Раздел «Основы медицинского обеспечения» изучается обучающимися по основным профессиональным образовательным программам специалитета по всем направлениям (специальностям) подготовки в Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского и ориентирован на подготовку будущего офицера – командира подразделения к управлению повседневной деятельностью войск в части, касающейся медицинского обеспечения, от умелой организации которого напрямую зависит боеспособность вверенного ему подразделения.

Тема семинара: «Деятельность командиров и должностных лиц подразделения по охране здоровья военнослужащих». Целью занятия является первичное осмысление содержания мероприятий по охране здоровья военнослужащих с последующей выработкой умений, связанных с организацией этих мероприятий у себя в подразделении. Эта цель достигается в процессе осознания обучающимися своей роли как командира подразделения, в осуществлении лечебно-профилактических и санитарно-противоэпидемических мероприятий, проводимых в воинской части.

Немаловажной является воспитательная цель занятия: формировать у обучающихся приверженность к здоровому образу жизни.

Для проведения занятия используются следующие наглядные пособия и технические средства: мультимедийный проектор; интерактивная доска; компьютер с программным обеспечением (MS Windows, MS Office); компьютерная программа MindManager; набор слайдов по теме семинара; раздаточный материал для проведения занятия – макеты интеллект-карты для каждого обучающегося; справочная и учебная литература; руководящие документы, регламентирующие работу должностных лиц подразделения по охране здоровья военнослужащих.

В начале семинарского занятия преподаватель освещает актуальность темы и называет цели занятия, озвучивает его проблему: как командиру подразделения ориентироваться в массиве информации, порой специфического медицинского характера, которая необходима для организации мероприятий по охране здоровья военнослужащих?

Занятие начинается с работы в составе всей группы обучающихся. Каждому обучающемуся выдается лист незаполненного макета интеллект-карты для разработки содержания мероприятий по охране здоровья военнослужащих, который также высвечивается на экране. В центре расположен образ (эмфаза), олицетворяющий систему мероприятий по охране здоровья военнослужащих. От него отходит четыре базовых ответвления – учебные вопросы, рассматриваемые на семинаре (дидактические единицы тематического плана).

Преподаватель предлагает воспроизвести учебные вопросы семинара, по мере перечисления которых заполняются базовые ответвления вокруг центрального образа: лечебно-профилактические мероприятия (ЛПМ), медицинский контроль за условиями жизнедеятельности, санитарно-противоэпидемические мероприятия, законы (руководящие документы, регламентирующие работу должностных лиц по охране здоровья) (рис. 1). По активности обучающихся на этом этапе занятия у преподавателя создается начальное представление о степени подготовленности учебной группы и ее заинтересованности в изучении темы. В свою очередь, у обучающихся возникает осмысление и целостное представление об основных направлениях деятельности командиров и должностных лиц подразделения по охране здоровья военнослужащих.

После того, как базовые ветви (ветви первого порядка) интеллект-карты заполнены, обучающимся предлагается вспомнить из лекции «Основы организации медицинского обеспечения личного состава ВС РФ в мирное время» определения тех понятий, которые нанесены на эти ветви. Этим реализуются коммуникативные принципы целенаправленности и речемыслительной активности при изучении учебной дисциплины, а также принцип попутного повторения изучаемого материала.

Преподаватель оценивает степень совпадения/несовпадения определений, данных обучающимися и высвечивает на экране определения из руководящих документов. В каждом из них выделяются ключевые слова (существенные признаки), которые будут составлять следующий уровень ассоциаций.

Далее, обращаясь ко всем обучающимся, преподаватель ставит задачу перечислить основные составные элементы лечебно-профилактических мероприятий. Одни угадывают, другие придумывают, третьи находят ответ в конспекте лекции, четвертые воспроизводят положения из документов. При этом никакое высказывание не отвергается и не критикуется, правильные ответы поощряются выставлением баллов. Поддерживается полная свобода высказываний, что стимулирует познавательную активность обучающихся. Преподаватель может намекать, приводить выдержки из руководящих документов и учебных пособий, задавать обучающимся наводящие вопросы, направляя процесс осмысления учебного вопроса в нужное направление.

По мере воспроизведения обучающимися правильных ответов им объявляются баллы и на макете интеллект-карты появляются элементы лечебно-профилактических мероприятий (ветви второго порядка): профилактика, медицинский контроль за состоянием здоровья, медицинская помощь, медицинская реабилитация, санаторно-курортное лечение, донорство, военно-врачебная экспертиза (рис. 1).

В таком же порядке выделяются основные элементы (ветви второго порядка) следующего вопроса семинара – медицинского контроля условий жизнедеятельности: безопасность военной службы, организация распорядка дня, соблюдение регламента служебного времени, охрана окружающей среды, санитарно-гигиенические нормативы по размещению, водоснабжению, питанию, вещевому обеспечению, банно-прачечному обслуживанию. По мере воспроизведения обучающимися правильных ответов на макете интеллект-карты появляются элементы медицинского контроля условий жизнедеятельности военнослужащих (см. рис. 1).

Аналогично заполняются ветви второго порядка макета интеллект карты по содержанию вопроса семинара – санитарно-противоэпидемические мероприятия: мероприятия, направленные на нейтрализацию источника инфекции; на разрыв механизма передачи инфекции; на создание невосприимчивости организма к инфекции (рис. 1).

Базовая ветвь «законы» разделяется на три укрупненные группы: законодательные акты государственного и федерального уровня, приказы Министерства здравоохранения, руководящие документы Министерства обороны (рис. 1). Порядок осмысления и заполнения макета интеллект-карты по этому учебному вопросу аналогичный предыдущим. После этого преподаватель предлагает всем обучающимся разделиться на четыре группы по количеству базовых ветвей интеллект-карты (ветви первого порядка). Каждой из этих групп дополнительно выдается незаполненный исходный макет одной из базовых основных ветвей интеллект-карты в более увеличенном масштабе, на формате А-4.

Обучающиеся обеспечиваются необходимым раздаточным материалом, подготовленным преподавателем к занятию, к которому относятся: выдержки из руководящих документов, регламентирующих деятельность командиров по охране здоровья военнослужащих, учебные пособия, справочная литература. Часть необходимого материала может демонстрироваться преподавателем на экране. Для более детальной проработки учебного материала каждая из этих групп делится по своим предпочтениям на микрогруппы, которые работают над заполнением ветвей третьего и последующих порядков.

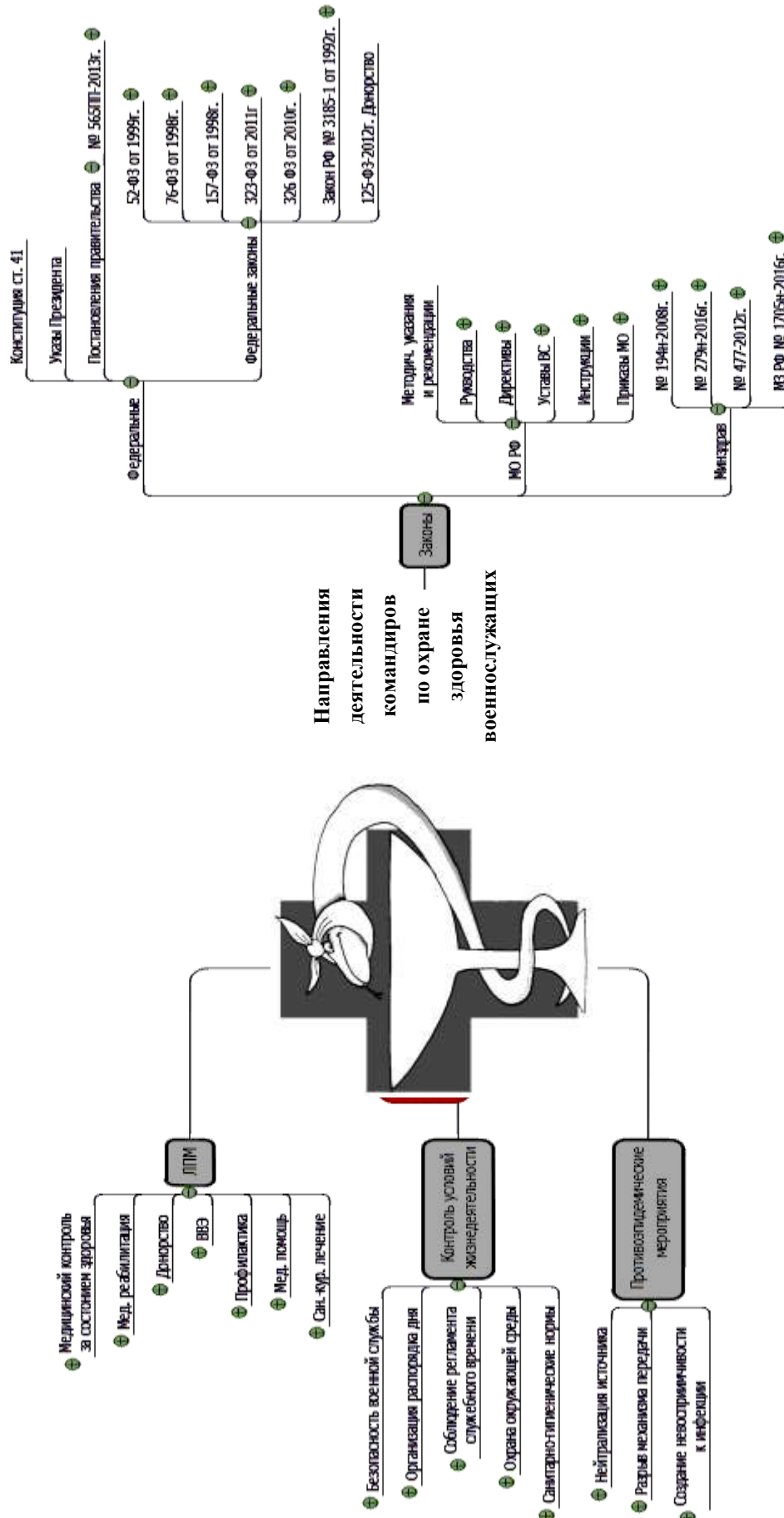


Рис. 1. Интеллект-карта «Направления деятельности командиров и должностных лиц подразделения по охране здоровья военнослужащих» (уровень ветвей 1-4 порядков)

Записи на макете своих направлений разработки интеллект-карты оформляются простым карандашом, чтобы можно было вносить изменения. Так рождаются интегративные характеристики – ветви интеллект-карты, составляющие содержание понятия «мероприятия по охране здоровья военнослужащих». Все обучающиеся причастны к решению проблемы в той или иной степени. Каждый оценивает свой успех в познании. В этом заключается процесс интерактивного занятия, стимулирующего познавательную активность обучающихся.

После доклада о завершении работы групп начинается разбор и обсуждение полученных результатов со всеми обучающимися. Докладчик от каждой микрогруппы представляет полученные результаты, правильные из которых преподаватель отображает для всех обучающихся на интеллект-карте, расположенной на экране. Обучающиеся, в свою очередь, сравнивают или переносят эту информацию на свои макеты интеллект-карты. При своем ответе докладчик дает характеристику рассматриваемому понятию или раскрывает содержание мероприятий по охране здоровья военнослужащих. Если ответ полный, то вся микрогруппа получает максимальный балл.

Работа с интеллект-картой позволяет сосредоточить внимание обучающихся на предмете изучения. Некоторые раскрашивают интеллект-карту разными цветами, добавляют ответвления для элементов, которые дополняют сами в процессе работы с дополнительной литературой. На таком занятии обучающиеся подходят к решению учебной проблемы творчески, активно включаясь в работу.

В конце занятия преподаватель высвечивает на экране заполненную (полную) версию интеллект-карты «Направления деятельности командиров и должностных лиц подразделения по сохранению здоровья военнослужащих (уровень ветвей 1-4-го порядка)», которая демонстрирует объем материала, изучаемой темы (рис. 1). Обучающиеся осознают, какая ими была проделана работа, с каким массивом информации они сумели справиться совместными усилиями.

В итоге формируется целостное представление о мероприятиях, проводимых в ВС РФ по охране здоровья военнослужащих. У каждого обучающегося остается заполненная интеллект-карта, которая является моделью системы мероприятий по сохранению здоровья военнослужащих.

Обсуждение завершается кратким подведением итогов занятия, при котором преподавателем обобщаются высказанные точки зрения, оценивается степень точности понятий и трактовок мероприятий, отмечаются положительные стороны выступлений и основные недостатки.

Преподаватель оценивает ответы обучающихся и делает вывод о степени достижения цели занятия и далее ориентирует их по заданию на самостоятельную работу.

Для текущего контроля успеваемости на семинарском занятии по представленной методике с помощью интеллект-карты предлагается использовать рейтинговую систему оценки качества учебной работы обучающихся, так как она позволяет повышать активность обучающихся, придает процессу обучения состоятельность, является отражением дифференцированного подхода к каждому обучающемуся.

Все ответы, дополнения, собственные формулировки в ходе всего занятия оцениваются преподавателем в баллах. Ответы могут быть как внезапными, так и подготовленными в группах в результате обсуждения мнений. Преподавателю следует иметь набор карточек с разными величинами баллов, чтобы сразу выдавать их за ответ. Обучающиеся будут стремиться больше набрать баллов, активнее работать с литературой, помогать друг другу заработать высокую оценку.

Оценка результатов, достигнутых обучающимися, складывается из следующих критериев, по каждому из которых предусмотрено выставление баллов (табл. 1).

Таблица 1

Критерии оценивания ответов обучающихся

Критерий оценивания	Баллы
1. Содержание ответа: а) полнота ответа (диапазон охваченных в ответе положений, определений, признаков понятия); б) степень детализации ответа (подробность изложения)	1 – 5
2. Ответы на вопросы преподавателя, обращенные к аудитории, или дополнения к ответам других докладчиков.	1 – 3
3. Предложенные собственные идеи, дополнения к разработанному макету интеллект-карты, отвечающие требованиям руководящих документов или со ссылкой на справочную литературу	0 – 4
4. Качество составления интеллект-карты (использование цвета, символов, стрелок, аккуратность)	1 – 3
Итого:	4 – 20

Максимальное количество баллов, которое может набрать за занятие обучающийся – 20 баллов, минимальное – 4 балла. Преподаватель может использовать «штрафы» в виде уменьшения набранных баллов за нарушение учебной дисциплины или отказ отвечать на поставленный вопрос.

Порядок перевода рейтинговых баллов, полученных на занятии, в академическую оценку, которая отражается в журнале учета учебных занятий обучающихся, приведен в табл. 2.

Таблица 2

Порядок перевода рейтинговых баллов в академическую оценку

Оценка	Количество баллов
«Отлично»	От 11 и выше
«Хорошо»	От 8 до 10
«Удовлетворительно»	От 4 до 7
«Неудовлетворительно»	Не принимал участие в докладах, не проявлял активности на занятии

Таким образом, интеллект-карты позволяют сделать преподавание интерактивным, а семинарское занятие более интересным, продуктивным, повысить интенсивность процесса личного осмысления учебного материала.

С целью успешного и эффективного проведения занятий практической направленности с использованием интеллект-карт необходимо предварительно детально проработать организационные моменты, а именно:

1) разработать интеллект-карту, включающую содержание учебных вопросов занятия (дисциплины);

2) подготовить для обучающихся задание на семинар (практическое занятие), в котором наряду с необходимым содержанием следует отобразить методические указания по подготовке и проведению занятия, порядок оценивания успехов (см. табл. 1 и 2).

3) подготовить необходимый раздаточный материал:

– макет (несколько разновидностей макетов) интеллект-карты, который предстоит заполнить в ходе занятия;

– необходимую учебную и справочную литературу, которой смогут воспользоваться обучающиеся на занятии;

4) подготовить презентацию к занятию для наглядного отображения результатов работы обучающихся по заполнению интеллект-карты, слайды с необходимой учебной информацией (определения основных понятий, выдержки из руководящих документов).

Предложенная методика проведения занятий практической направленности с помощью интеллект-карт обладает многочисленными преимуществами по сравнению с традиционными методиками обучения. С ее помощью при изучении и оформлении учебного материала достигаются [3]:

- экономия времени записывания и прочтения слов (от 50 до 90 %);
- экономия времени поиска ключевых слов (более 90 %);
- высокая концентрация внимания на ключевые слова, которые в интеллект-карте связаны между собой в единую целостную систему изучаемого предмета (явления) и находятся одновременно в одном поле зрения;
- облегчение запоминания учебной информации по сравнению с монотонным линейным конспектом;
- более глубокое понимание изучаемого предмета, так как в отличие от линейного текста интеллект-карты показывают взаимосвязь между фактами и понятиями;
- активизация процесса мышления;
- структурирование информации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интеллект-карты позволяют сделать преподавание интерактивным, а семинарское занятие более интересным, продуктивным, дают возможность повысить интенсивность процесса личного осмысления учебного материала. Благодаря их использованию преподаватель может без значительных затрат времени вносить в учебный материал свои коррективы, делая его гибким и легко приспособляемым к меняющимся условиям. Этот метод позволяет повысить эффективность усвоения учебного материала; увеличивать объем восприятия и запоминания; способствует анализу многообразия аспектов объекта изучения, что увеличивает вероятность удачных творческих ассоциаций или умозаключений у обучающихся.

Вместе с тем для проведения занятий с использованием интеллект-карты преподаватель должен не только уверенно владеть своими профессиональными знаниями, но и обладать коммуникативными навыками, четко представлять цель своего занятия, понимать психологические и физиологические особенности обучающихся, сферу их интересов.

Список используемых источников

1. *Голубев М.А.* Нормативно-правовые основы системы образования: учеб. пособие / И.Ю. Воронков, М.А. Голубев, И.В. Иванюк, В.И. Крантовский; под ред. канд. философ. наук, доцента Н.А. Репяха. – СПб: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2016. – 165 с.
2. *Пассов Е.Н.* Русское слово в методике как путь в мир русского слова. – СПб.: МИРС, 2008. – 60 с.
3. *Бьюзен Т. и Б.* Супер-мышление / пер. с англ. Е.А. Самсонова. – 2-е изд. – Мн.: ООО Попурри, 2003. – 304 с.
4. *Бехтерев С.* Майнд-менеджмент: решение бизнес-задач с помощью интеллект-карт / под ред. Г. Архангельского. – М.: Альпина Паблишерз, 2009. – 308 с.
5. *Мюллер Хорст.* Составление ментальных карт: метод генерации и структурирования идей / пер. с нем. В.В. Мартыновой, М.М. Дремина. – М.-Л.: Омега, 2007. – 126 с.

6. Яковлев А.Г., Зрянина Н.В., Карайланов М.Г. Использование интеллект-карт в обучении врачей медико-профилактического профиля // Вестник Российской Военно-медицинской академии. – 2017. – № 3. – С. 244–249.

7. Современные технологии обучения: учеб. пособие / Н.Б. Ачкасов, В.В. Майоров, Н.А. Репах, А.Н. Хрустова. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2009. – 234 с.

Л.А. Иноземцева;
Н.С. Кужекин,
кандидат философских наук, профессор

ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ УЧЕБНОГО КОНТЕНТА ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ДИДАКТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

В публикации рассмотрены некоторые психолого-педагогические аспекты создания электронных дидактических материалов, а также принципы учета психофизиологических особенностей обучающихся и психолого-педагогической эргономичности методов и технологии визуализации учебного контента в электронных дидактических материалах.

Ключевые слова: визуализация, учебный контент, электронные дидактические материалы, психолого-педагогическая эргономичность, психофизиологические особенности обучающихся, восприятие, внимание.

Постоянно увеличивающийся информационный поток требует от обучающихся навыков работы не только с традиционными информационными технологиями, но и компьютерными информационными технологиями, такими как электронные учебники и учебные пособия, учебные компьютерные программы (репетиторы и тренажеры, виртуальные мастерские, презентации, энциклопедии, виртуальные музеи, путеводители, развивающие игры) и другие электронные дидактические материалы.

Электронные средства обучения активно внедряются в образовательный процесс высшей военной школы и начинают применяться практически на всех видах учебных занятий по всем учебным дисциплинам. На основании утвержденного Министром обороны Российской Федерации единого стандарта вузовскими коллективами разработаны и оцифрованы свыше 12,5 тысяч учебников и учебных пособий. Внедрены базовые электронные учебники по 40 общим для всех вузов дисциплинам. Все они объединены в единый информационный образовательный ресурс, к которому обеспечен доступ каждого военно-учебного заведения [3]. Применение электронных дидактических материалов в образовательном процессе позволяет повысить результативность учебно-познавательной деятельности слушателей и курсантов, активизировать самостоятельную работу обучающихся.

Важным компонентом электронных дидактических материалов являются разнообразные методы и технологии визуализации учебного контента. Визуализация учебного контента в электронных дидактических материалах позволяет реализовать дидактический принцип наглядности на качественно новом уровне путем обеспечения единства конкретного и абстрактного, понятийного и чувственного, логического и эмоционального в процессе обучения.

Психолого-педагогические исследования Л.В. Сидоровой, Л.П. Окуловой, А.В. Гаряева, А.Г. Демидовой и других доказывают, что визуальное представление информации способствует более успешному восприятию и запоминанию учебного материала. Вместе с тем практика показывает, что качество и характер учебной информации, представленной в электронных ресурсах вуза, находится на недостаточно высоком уровне, так как не всегда учитываются психологические особенности и возможности человека. Ошибки, искажающие адекватное восприятие информации, определяются несколькими группами факторов, а именно:

– уровнем индивидуальной чувствительности соответствующих анализаторов (органов чувств);

- физическими характеристиками сигналов: их интенсивностью, длительностью, периодичностью, раздельностью или одновременностью воздействия и др.;
- особенностями личности: функциональным состоянием, профессиональной подготовленностью, уровнем мотивации, наличием психологических и физических ограничений;
- степенью учета в электронных средствах обучения психофизиологических особенностей обучаемого по восприятию информации.

Такие недостатки требуют совершенствования визуального представления учебного контента в электронных дидактических материалах. Основными принципами визуализации учебного контента в электронных дидактических материалах являются принцип учета психофизиологических особенностей обучающихся и принцип психолого-педагогической эргономичности.

Принцип учета психофизиологических особенностей обучающихся состоит в том, что визуализация учебного контента в электронных дидактических материалах должна создаваться с учетом прежде всего таких психических познавательных процессов, как восприятие (преимущественно зрительное) и внимание.

Принцип психолого-педагогической эргономичности заключается в том, что электронные дидактические материалы должны допускать адаптацию к нуждам конкретного пользователя в процессе учебы, позволять варьировать глубину и сложность изучаемого материала и его прикладную направленность в зависимости от будущей специальности обучающегося, применительно к нуждам пользователя генерировать дополнительный иллюстративный материал, предоставлять графические и геометрические интерпретации изучаемых понятий и полученных обучающимся решений задач. Под эргономичностью электронных дидактических материалов понимают свойства средств обучения, повышающие эффективность учебной деятельности в зависимости от степени их соответствия психологическим и физиологическим особенностям обучающегося [6].

Под понятием *восприятие* информации подразумевается включение в процесс усвоения информации органов чувств: слуховых, зрительных, двигательных и др. Чем больше органов чувств участвуют в восприятии учебной информации, тем легче она усваивается.

Несмотря на всё более активное использование электронных дидактических материалов, предполагающих комбинирование информационного воздействия на различные органы чувств человека (слух, осязание, и даже обоняние), а следовательно, и на способы предъявления информации, ведущим видом восприятия информации при работе с ними является зрительное.

Технологические приемы визуализации направлены на то, чтобы обеспечить образное, наглядное представление информации. Использование мультимедиа-технологий при разработке электронных дидактических материалов способствует увеличению объема восприятия информации, а также предоставляет возможность выбора скорости, объема подачи материала, стратегии обучения в соответствии с его индивидуально-психологическими особенностями.

Среди разработчиков электронных дидактических материалов распространено, по нашему мнению, ошибочное представление, согласно которому обучающемуся необходимо предоставить максимально возможную информацию по учебной теме, зачастую без учета необходимости данной информации для дальнейшей его деятельности. Наряду с увеличением общего объема программы такой подход приводит к перегрузке пользователя излишней информацией, увеличению ее потерь и в конечном счете к падению эффективности обучения.

Вместе с тем эффективность деятельности обучающегося снижается не только при избыточности информации, но и при ее недостаточности. Так, монотонность и бедность внешних воздействий у обучающихся развивают явления, сходные с утомлением: учащаются ошибки, снижается эмоциональный тонус, развивается сонливость. Поэтому необходимо ориентироваться на некоторую оптимальную скорость подачи информации, которая бы не превышала

«пропускной способности» курсанта, но в то же время была достаточной для того, чтобы поддерживать активность обучающегося на высоком уровне.

Необходимо учитывать, что интерактивные средства обучения, формы и способы осуществления диалога в нем выполняют существенную роль в построении эффективного учебного процесса. Обучающиеся с образным типом памяти и художественным складом мышления предпочитают активные формы обучения с преобладанием наглядно-образных форм подачи материала в интересной игровой форме. Обучающимся с мыслительным типом индивидуальности больше подходит самостоятельная работа с материалом, отработка различных умений, аналитические виды заданий [1].

В процессе обучения с использованием электронных дидактических материалов курсантам предъявляются сложные сочетания сенсорных стимулов, которые необходимо распознать и усвоить. При этом различные стимулы влияют на определенные чувственные рецепторы, возникают сенсорные ощущения. «Видения» мира становятся более ясными и реальными. Электронные дидактические материалы, в свою очередь, предоставляют все возможности для получения различной информации (звук, графика, видео и текст), что необходимо учитывать при разработке электронных образовательных ресурсов.

Визуальный образ в процессе восприятия анализируется по различным параметрам: цвет, шрифт, контуры объектов, масштаб, пространство и перспектива, движение элементов, графика и др.

При подборе *цвета* в ходе создания электронных дидактических материалов необходимо учитывать, как цвет влияет на психику и восприятие информации. Различают три вида воздействия цвета на человека: физиологическое, оптическое и эмоциональное.

Каждый из цветов несет свою эмоциональную нагрузку, преобладание какого-либо цвета (или сочетания цветов) создает определенное эмоциональное воздействие на обучающегося и влияет на его работоспособность. Так, при длительной работе повышению производительности способствует зеленый цвет. Фиолетовый цвет снижает производительность.

Физиологическое воздействие цвета проявляется в его воздействии на нервную систему. Так, красный цвет возбуждает нервную систему, вызывает учащение дыхания и пульса и активизирует работу мускулатуры. Синий цвет оказывает тормозящее действие на нервную систему. При использовании оранжевого и желтого цветов в электронных дидактических материалах возбуждается наряду со зрительным и слуховой центр мозга, что вызывает кажущееся увеличение громкости звука. Зеленый и синий ослабляют возбуждение слухового центра, так как ослабляют громкость звука.

Теплые цвета (красный, оранжевый) необходимо использовать при отображении объектов переднего плана. Темные объекты «отяжеляют» восприятие, поэтому их следует располагать в нижней части экрана. Для создания фона рекомендуется использовать холодные цвета (синий, фиолетовый, цвет морской волны), так как они визуально создают ощущение стабильности.

Оптическое воздействие цвета создает иллюзии или оптические явления, изменяющие внешний вид предметов. Светлые цвета, такие как белый или желтый, создают эффект иррадиации, то есть распространяются на расположенные рядом с ними более темные цвета и таким образом визуально уменьшают окрашенные в эти цвета поверхности.

Желтый цвет зрительно как бы приподнимает поверхность. Красный цвет приближает фигуру к глазу, голубой – удаляет от глаза. Плоскости, окрашенные в темно-синий, фиолетовый и черный цвета, зрительно уменьшаются и устремляются книзу.

При эмоциональном воздействии цвета изменяются чувства и переживания обучающихся. Например, красный цвет воспринимается внутренне как живой и беспокойный; желтый – как легкомысленный; фиолетовый – как болезненный и печальный.

Для выделения (смыслового акцентирования) фрагментов текста не рекомендуется применять резко контрастирующие с основным текстом цвета. К цветовым сочетаниям, активизирующим восприятие информации, относятся «желто-красный», «бело-синий», «черный на

оранжевом», «красно-желто-зеленый», «бело-красный» и «красно-бело-синий». Не следует отображать текст на темном фоне – от этого устают глаза. Не имеет смысла и большое разнообразие выделяющих цветов. Достаточно использовать разные по насыщенности оттенки одного цвета. Оптимальным является использование не более четырех основных цветов на экране. Для разных разделов электронных дидактических материалов можно варьировать оттенки фона или его текстуру. В пределах же одного тематического раздела цвет и текстура должны оставаться постоянными для всех страниц.

Должен быть понятным и легко воспринимаемым *шрифт*. Размер шрифта не должен быть менее 12 п. Не допускается использование нестандартных символов, должен быть единый стиль в оформлении и изложении материала. По мнению психологов, шрифт с засечками (типа Times New Roman) читается легче, поскольку глазу есть за что «зацепиться» при чтении текста – засечки как бы служат направляющими для перемещения глаза по буквам, и он устает меньше. Гладкие шрифты (типа Arial) требуют больше внимания и усилий при чтении, в результате чего прочитанное лучше запоминается. Поэтому в небольших фрагментах текста (формулировки, определения и так далее), следует использовать преимущественно гладкие шрифты.

В сложных схемах, требующих напряженного внимания, не стоит использовать шрифты с украшениями. Текст в фигурах-понятиях должен быть достаточно кратким. Понятия должны быть только названы, не более 2-3 слов. Пространство фигуры не рекомендуется загромождать текстом, целесообразнее применять поясненные в выносках сокращения.

Важно не только благоприятный размер при разработке электронных дидактических материалов, но и размещение основных элементов в соответствии с законами композиции. Наш взгляд концентрирует внимание на достаточно небольшой области изображения, а остальную часть, ближе к краям, как бы размывает. В ходе психологических исследований выявлено, что лучше всего усваивается информация, расположенная в правом верхнем углу экрана. Ей принадлежит 33 % нашего внимания. Затем по продуктивности – левый верхний угол (28 %), правый нижний (23 %) и левый нижний углы (16 %).

При восприятии *динамических изображений* (видеоряда) важную роль играет инерционное свойство зрительного анализатора сохранять зрительное впечатление от объекта в течение доли секунды после удаления его с экрана. Такой эффект последствия зрительного образа создает целостное восприятие изображаемого явления. Для правильной оценки эффективности применения динамического изображения необходимо учитывать нагрузку видеоизображения как источника информации, а также возможность обучающихся усваивать передаваемую информацию.

Необходимо понимать, что использование большого количества коротких клипов рассеивает внимание, использование небольшого количества клипов большой продолжительности повышает утомляемость. Объединение в одном продукте голоса, цветных движущихся образов, статического изображения, текста и различных эффектов по привлечению внимания и акцентированию главной мысли способно многократно повысить скорость усвоения информации [8].

Внимание определяется как избирательная направленность восприятия на тот или иной объект. Чтобы справиться с большим потоком информации, курсанты должны направлять внимание только на некоторые признаки. На внимание человека влияют такие факторы, как пропускная способность глаза человека, управление вниманием, уровень возбуждения и интерес, что необходимо учитывать при создании электронных дидактических материалов. Интеграция различных стимулов (текстовых, звуковых, графических) в одном электронном дидактическом материале, возможность быстрого и легкого получения необходимой информации, осознанного использования гиперссылок – все это должно способствовать повышению эффективности обучения. Общение с компьютерными средствами вызывает повышенный интерес у обучающихся и оказывает значительное влияние на внимание, так как поддерживает в активном состоянии способность обучающихся к восприятию сенсорных

сигналов. Поэтому при реализации «учебного диалога» с электронным средством должны быть предъявлены повышенные требования к эргономическим характеристикам его интерфейса, что делает это взаимодействие более привлекательным в условиях недостаточной мотивации учебной деятельности.

Конечно, кроме наличия иллюстративного материала для активизации процесса осмысления учебного текста важно, чтобы он был доступным, интересным, логически взаимосвязанным, актуализированным. В этих целях лучше использовать яркие и точные формулировки, таблицы, схемы, репродукции картин, рисунки, анимацию, аудио- и видеофрагменты.

При разработке электронных дидактических материалов необходимо учитывать, что наилучший результат в усвоении учебной программы показывает комбинированное воздействие аудио и визуальной информации. Исследования показали, что человек запоминает 15 % информации, получаемой в речевой форме, и 25 % – в зрительной. В случае одновременного предъявления зрительной и слуховой информации, обучающиеся воспринимают до 65 % содержания учебного контента.

Таким образом, эффективная визуализация учебного контента, учитывающая принцип учета психофизиологических особенностей психических познавательных процессов обучающихся, а также принцип психолого-педагогической эргономичности, позволит решить целый ряд педагогических задач в процессе разработки электронных дидактических материалов – обеспечение интенсификации обучения, передачи знаний и активизации учебной и познавательной деятельности, формирование и развитие критического мышления и зрительного восприятия. Решение этих задач будет способствовать формированию профессиональных компетенций и в целом повысит качество образовательного процесса.

Список используемых источников

1. *Беляев М.И., Гриншкун В.В., Краснова Г.А.* Технология создания электронных средств обучения // Разработка Института дистантного образования Российского университета дружбы народов. – М., 2006. – 130 с.
2. *Гаряев А.В., Гаряева Т.П.* Психолого-физиологические основы визуального восприятия информации и их учет при создании учебных презентаций // Вестник Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета. – 2008. – № 4. – С. 106–113.
3. *Горемыкин В.П.* Военное образование: цель – на развитие // Вестник военного образования. – 2017. – № 1(4). – С.4–12.
4. *Демидова А.Г.* Учет психологии пользователя в требованиях к электронному учебнику // Известия Тульского государственного университета. – 2011. – № 3. – С. 342–357.
5. Методические рекомендации по созданию интерактивных электронных учебников и обучающих курсов для подготовки военных специалистов по основным и дополнительным профессиональным образовательным программам. – Утверждены статс-секретарем – заместителем Министра обороны Российской Федерации от 30 мая 2016 года. – М., 2016. – 88 с.
6. *Окулова Л.П.* Эргономические требования к дидактическим средствам обучения в целях создания комфортной учебной среды // Сибирский педагогический журнал. – 2013. – № 6. – С. 70–74.
7. *Сидорова Л.В.* Обучение будущих педагогов проектированию средств-мультимедиа-визуализации учебной информации // Вестник Брянского государственного университета. – 2008. – № 1. – С. 65–69.
8. Современные информационные технологии и ИТ-образование: учеб.-метод. пособие / под ред. В.А. Сухомлина. – М.: МАКС Пресс, 2008. – 568 с.

С.В. Кудряшов,
кандидат военных наук;
А.В. Лосик,
доктор исторических наук, профессор;
Л.В. Розанова

ОБ ИСТОРИЧЕСКОМ ВОЗРОЖДЕНИИ ИНСТИТУТА ВОЕННОГО ДУХОВЕНСТВА В УСЛОВИЯХ НОВОЙ ПОСТСОВЕТСКОЙ РОССИИ

Рассмотрено становление института военного духовенства на современном этапе строительства Вооруженных сил Российской Федерации; показано, что военное духовенство в структуре Вооруженных сил выполняет функцию, обеспечивающую боевую и повседневную деятельность в рамках морально-психологического обеспечения, что основным звеном взаимодействия между Русской Православной Церковью и Министерством обороны выступает помощник командира по работе с верующими военнослужащими и указано на имеющиеся проблемы в этом взаимодействии.

Ключевые слова: Русская Православная Церковь, Министерство обороны Российской Федерации, православию, военные священники, морально-психологическое обеспечение, свобода совести, религиозные права верующих.

Одним из основных условий для активности церкви в обществе является отношение светской власти к религии и, в частности, к христианству. Примеров этому, в том числе исторических, и в былые эпохи, и в современном мире достаточно много. Это времена как гонения на церковь (например, при римском императоре Нероне), так и времена, благоприятные для ее процветания (например, в Византии при императоре Константине Великом). Относительно Русской Православной Церкви (РПЦ) периодом, благоприятным для ее существования, можно считать время от крещения Руси (988) и до 1917 года, когда во главе страны в соответствии с законодательством того времени стоял православный правитель. Период же, начало которого относится к 1917 году, характеризуется богоборческой властью, особенно на начальном этапе ее становления. В это время активно стал насаждаться атеизм в обществе, а в отношении религии дело доходило до неприкрытого гонения не только на церковь и священнослужителей, но и на рядовых православных христиан, что шло в разрез с вековыми традициями русского народа.

Но даже и внутри указанных периодов отечественной истории можно наблюдать как охлаждение, так и потепление отношений между светской и церковной властями.

Так, например, в России «до правления Петра I нормой в отношениях между церковной и государственной властью оставалась симфония, унаследованная у Византии. Властной рукой Петра Православная Церковь была отодвинута от главного русла национальной жизни. Начиная с Петра I, светское правительство стало смотреть на Церковь не как на высочайшую святыню народа, а как на одну из опор государственного аппарата, будто бы нуждающуюся в опеке и надзоре. Для этого правительству понадобилось сломать старый строй церковного управления, сочетавший в себе соборное начало и первосвятительское возглавление, а на его месте учредить новую – синодальную систему» [1].

Другой пример, но уже времен советской власти, то есть периода гонения на церковь и насаждения в обществе глобального атеизма, говорит об обратном: «В 1943 году митрополиты Сергей и Алексей просили Сталина разрешить открыть богословские курсы в нескольких епархиях. Сталин, согласившись с этим, в то же время спросил, почему они ставят вопрос о богословских курсах, тогда как правительство может разрешить организацию духовной академии и открытие духовных семинарий во всех епархиях, где это нужно» [1]. То есть руко-

водитель государства не только пошел навстречу церковным иерархам, но и стимулировал их деятельность.

Сейчас Россия находится на новом этапе своей истории, начало которого связано с утерей влияния и руководящей роли КПСС, формировавшей идеологическую основу политики Советского Союза, в том числе и по отношению к религии. Внешним проявлением этого явился принятый Верховным Советом СССР 1 октября 1990 года закон «О свободе совести и религиозных организациях» [2]. Прямым результатом этого закона стало изменение статуса РПЦ и других религиозных организаций, которые получили должную правовую основу своей деятельности.

Закон РСФСР «О свободе вероисповеданий», подтвердивший большинство положений союзного закона, был принят 25 октября 1990 года [3]. РПЦ незамедлительно отреагировала на принятие данного закона. 27 октября 1990 года в Определении Архиерейского собора была дана оценка принятому закону. Там, в частности, было указано, что «Архиерейский Собор выражает удовлетворение принятием нового Закона РСФСР о свободе вероисповеданий, а также и иных аналогичных законов в других союзных республиках. Собор надеется, что все это будет служить благу наших народов и Святой Церкви» [4].

В 1997 году 19 сентября Государственной Думой был принят, а 24 сентября одобрен Советом Федерации Федеральный закон № 125-ФЗ «О свободе совести и о религиозных объединениях». В данном законе не были оставлены без внимания и верующие военнослужащие. Там, в частности, в ст. 16, п. 4 сказано: «Командование воинских частей с учетом требований воинских уставов не препятствует участию военнослужащих в богослужениях, других религиозных обрядах и церемониях» [5].

В Федеральном законе от 27 мая 1998 года №73-ФЗ «О статусе военнослужащих» в ст. 8 также говорится, что «военнослужащие в свободное от военной службы время вправе участвовать в богослужениях и религиозных церемониях как частные лица» [6].

То есть мы видим, что происходит сближение церкви и государства в интересах процветания и защиты Отечества. Причем Вооруженные силы, как часть государственного аппарата, не остаются вне поля внимания.

Однако необходимо отметить, что взаимодействие между религиозными объединениями и Вооруженными силами не есть нечто вновь открываемое. Мы знаем, что в царской России этот процесс был налажен, так как в системе воспитательной работы личного состава русской армии существенное место отводилось религиозно-нравственной стороне. Внешним проявлением этого являются обрядовые действия, совершаемые духовными лицами того или иного вероисповедания. Так, например, основными обрядовыми действиями воспитательно-го характера с участием армейских и флотских православных священнослужителей в русской армии являлись такие как: встреча новобранцев и проводы в запас нижних чинов; приведение молодых солдат к присяге; освящение новых Высочайше пожалованных знамен и штандартов полковых, корабельных, батальонных и эскадронных образцов; закладка, сооружение и освящение не только новых часовен, церквей, но и других зданий и помещений воинского формирования; проведение полковых, корабельных праздников и церковных праздников, других юбилейных дат в жизни войск и флота; увековечивание памяти героев (черные доски – в храмах, белые – отличники на входе в учебные заведения, георгиевские доски – перед входом в храм фамилиями георгиевских кавалеров) и др. [7].

Наличие храмов для проведения богослужений в воинских формированиях также является признаком, характеризующим активное участие церкви в деле духовно-нравственного воспитания воинов Русской Императорской армии. Так, например, в корпусах военных учебных заведений (Павловского военного училища, Второго кадетского Императора Петра Великого корпуса, Военно-топографического училища), которые в настоящее время являются учебными корпусами Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского, были свои домовые храмы. В Павловском пехотном военном училище был храм, освященный в честь равноапостольных Константина и Елены; во Втором кадетском Императора Петра Великого

корпусе – в честь Благоверного великого князя Александра Невского; в Военно-топографическом училище – в честь Архистратига Михаила.

Традиция взаимодействия Церкви и Вооруженных сил не нова, и в настоящий момент времени она восстанавливается. Уже в начале 1990-х годов командиры воинских частей, военных учреждений и военно-учебных заведений начали проявлять активность по взаимодействию с церковными организациями. В последующем в процесс военно-церковных взаимоотношений постепенно вовлекались органы управления более высокого порядка, как со стороны руководства Вооруженных сил Российской Федерации (ВС РФ), так и со стороны РПЦ. В октябре 1992 года в стенах Военной академии Генерального штаба ВС РФ при участии Православного Свято-Тихоновского богословского института была проведена научно-практическая конференция, которую можно расценивать как первую попытку теоретического обоснования необходимости тесного сотрудничества ВС РФ с Церковью [8].

В дальнейшем взаимоотношение между РПЦ и Министерством обороны Российской Федерации (МО РФ) стало закрепляться законодательно. Первым официальным актом, закрепляющим принципы военно-церковных отношений, стало Совместное заявление, подписанное 2 марта 1994 года Святейшим Патриархом Алексием и Министром обороны РФ генералом армии Павлом Грачёвым. В этом заявлении, в частности, говорилось, что сотрудничество Церкви и Российской армии послужит укреплению духовно-нравственных начал в жизни российского воинства, расширит возможности для реализации прав верующих военнослужащих, поможет решить многие насущные проблемы, стоящие перед Российскими Вооруженными силами и Русской Православной Церковью [8]. По итогам этой встречи был создан Координационный комитет по взаимодействию Вооруженных сил Российской Федерации с Русской Православной Церковью, который уже на втором заседании в мае 1994 года принял соответствующую Концепцию («Концепция взаимоотношений между органами военного управления и традиционными религиозными объединениями России») [9]. Предусматривалось, что Комитет будет сотрудничать не только с РПЦ, но и с другими религиозными объединениями, причем их представители могут входить в его состав. Представители других конфессий принимали участие в нескольких заседаниях комитета, но в состав комитета не вводились и вскоре от участия в его работе отказались [10].

В апреле 1994 года на заседании Коллегии МО РФ было принято решение о введении в штат ряда воинских структур должностей офицеров по связям с религиозными организациями. В июле 1995 года определением Священного Синода был сформирован Отдел по взаимодействию с ВС РФ и правоохранительными учреждениями, разработан и принят Устав для вновь созданной структуры. В соответствии с требованиями этого документа главной задачей отдела определено осуществление взаимодействия Московской Патриархии с ВС РФ и правоохранительными учреждениями, координация и практическое осуществление пастырской и духовно-просветительской деятельности среди военнослужащих, сотрудников правоохранительных учреждений, членов их семей, а также лиц, находящихся в местах лишения свободы [11]. На епархиальном уровне РПЦ также начала создавать аналогичные отделы. При этом деятельность Координационного комитета по взаимодействию ВС РФ с РПЦ была полностью свернута.

Министр обороны Российской Федерации Игорь Родионов и Патриарх Алексий II 4 апреля 1997 года подписали «Соглашение о сотрудничестве». Данный документ предполагал более тесные и разносторонние отношения Церкви и Армии, что и привело к развитию и детализации этих взаимоотношений. Более того, импульс взаимодействия между Церковью и Армией был воспринят и другими силовыми структурами: Министерством внутренних дел, Министерством юстиции, Фельдъегерской службой, а также Советом атаманов войсковых казачьих обществ России, с которыми заключены аналогичные соглашения, что дает правовое основание для христианской православной миссии среди личного состава силовых ведомств Российской Федерации.

В указанном документе общие цели сотрудничества были определены следующим образом:

- содействие возрождению государственно-патриотической идеи как основополагающей нравственной ценности военнослужащих и духовной основы воспитательной работы;
- укрепление морально-психологического состояния личного состава ВС РФ;
- укрепление традиций верного служения Отечеству и духовно-нравственных начал в жизни воинских коллективов;
- совершенствование воспитательной работы с военнослужащими и членами их семей;
- содействие созданию и совершенствованию системы военно-патриотического воспитания и допризывной подготовки;
- расширение возможностей для реализации прав верующих военнослужащих;
- содействие процессу гуманизации внутриармейских отношений.

В целях реализации указанного соглашения в войска была направлена директива Министра обороны Российской Федерации, в которой ставилась задача «спланировать, организовать и поддержать взаимодействие с религиозными объединениями, прежде всего с РПЦ» [10].

В июле 2009 года Президент Российской Федерации Дмитрий Медведев выразил согласие с предложениями целого ряда религиозных объединений и поручил МО РФ возродить в России институт военного духовенства. Было заявлено о том, что на первом этапе священнослужители появятся в военных подразделениях за рубежом, а в ходе второго этапа (с 1 января 2010 года) будут назначены священнослужители РПЦ во всех ВС РФ до бригады включительно [11].

Министр обороны Российской Федерации Анатолий Сердюков 24 января 2010 года утвердил «Положение по организации работы с верующими военнослужащими ВС РФ», основная идея которого заключалась в том, чтобы создать условия для реализации верующими военнослужащими прав на свободу совести и свободу вероисповедания в соответствии с Конституцией и иными правовыми актами Российской Федерации [12]. В разделе 4 данного Положения перед должностными лицами по работе с верующими военнослужащими перечислены следующие задачи:

- организация и проведение религиозных обрядов, церемоний и удовлетворение религиозных потребностей личного состава ВС РФ;
- организация и проведение духовно-просветительской работы;
- участие в мероприятиях, проводимых органами военного управления, в целях патриотического и духовно-нравственного воспитания;
- участие в работе по укреплению правопорядка и воинской дисциплины, профилактике правонарушений и суицидальных происшествий.

При этом определялось, что на должностных лиц по работе с верующими военнослужащими не может быть возложено выполнение задач, противоречащих статусу духовенства.

Очевидно, что военное духовенство в структуре ВС РФ выполняет функцию, обеспечивающую боевую и повседневную деятельность. Отметим, что из существующих в настоящее время пяти видов обеспечения (боевое, морально-психологическое, тыловое, техническое, медицинское) деятельности военного духовенства наиболее соответствует морально-психологическое обеспечение, представляющее собой комплекс согласованных и взаимосвязанных по целям, задачам, направлениям, месту и времени мероприятий по формированию, поддержанию и восстановлению у личного состава устойчивого морально-психологического состояния, обеспечивающих безусловное выполнение поставленных задач по защите Отечества [13].

Директивно морально-психологическое обеспечение как новый вид обеспечения было введено в ВС РФ в 1992 году в связи с тем, что система партийно-политической работы на то время уже не в полной мере соответствовала изменениям, происходящим в средствах вооруженной борьбы, отставала от развития военной науки и военного искусства, не отвечала тре-

бованиям подготовки сознания и психики военнослужащих к выполнению учебно-боевых задач в мирное время и боевых задач во время войны [13]. Именно в это же время и началось активное взаимодействие между РПЦ и ВС РФ.

После введения в структуру воинского формирования должности помощника командира по работе с верующими военнослужащими по благословению Святейшего Патриарха Московского и всея Руси в епархии Московского Патриархата из Синодального отдела по взаимодействию с ВС РФ в феврале 2011 года было выслано указание по подбору и назначению священнослужителей на должности помощников командиров по работе с верующими военнослужащими в те воинские формирования, в которых эти должности были определены Министром обороны Российской Федерации. В Санкт-Петербургской митрополии к соответствующим воинским формированиям относительно военно-учебных заведений были отнесены: «Михайловская военная артиллерийская академия, филиал ВУНЦ ВВС «Военно-Воздушная Академия им. Жуковского», филиал №1 ВУНЦ ВМФ «Военно-морская Академия», Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Военная академия связи, Военная академия тыла и транспорта, Военно-медицинская академия» [14].

В марте 2011 года митрополитом Санкт-Петербургским и Ладужским Владимиром на должности в военно-учебных заведениях соответственно были благословлены следующие кандидаты: архимандрит Иероним Тестин, священник Сергей Калинин, протоиерей Александр Паничкин, священник Сергей Кудряшов, священник Валериан Камитов, протоиерей Богдан Сойко [14]. В июне 2011 года каждый из перечисленных кандидатов соответствующими Указами управляющего Санкт-Петербургской епархии был назначен на должность помощника командира по работе с верующими военнослужащими в указанные военно-учебные заведения. Эти указы являются документами по духовному ведомству и сам документ необходимо воспринимать как акт послушания священнослужителя воле епархиального архиерея. Назначение же духовного лица на штатную должность помощника командира по работе с верующими военнослужащими в воинском формировании осуществляется решением Министра обороны Российской Федерации.

Всё сказанное выше убедительно подтверждает, что процесс совершенствования института военного духовенства в современной России закрепляется в нормативных документах как со стороны светской, так и духовной власти. Однако проблемы взаимоотношений между командирами воинских формирований и представителями военного духовенства до конца не решены. Так по линии МО РФ не определен порядок взаимоотношений между командиром и его помощником по работе с верующими законодательно и поэтому, на наш взгляд, командиры (начальники) строят эти отношения с военными священниками по своему разумению. Так что командиру нужна законодательная основа для должного построения взаимоотношений с помощником из числа духовенства. Эту проблему отчасти решает «Положение о военном духовенстве Русской Православной Церкви в Российской Федерации», разработанное в РПЦ МП и принятое на заседании Священного Синода в декабре 2013 года [15]. Данное Положение разработано в соответствии с «Положением по организации работы с верующими военнослужащими ВС РФ» и по задачам, стоящим перед военным священником, уточняет, расширяет и углубляет его с учетом специфики и нюансов священнического служения.

Важность Положения о военном духовенстве в том, что это Положение устанавливает порядок взаимодействия РПЦ с ВС РФ по вопросам пастырского окормления и религиозного просвещения военнослужащих (служащих) и членов их семей, а также совершения богослужений и обрядов на территории воинских формирований. При этом основным звеном взаимодействия между РПЦ и МО РФ выступает помощник командира (начальника) по работе с верующими военнослужащими.

Помощник командира (начальника) по работе с верующими военнослужащими по вопросам основной своей деятельности, а именно богослужбной и пастырской, подчинен и подотчетен епархиальному архиерею, командиру – в рамках должностных обязанностей, обусловленных трудовым договором (контрактом).

Тех, кто обеспокоен «клерикализацией армии», следует успокоить тем, что современное присутствие РПЦ в ВС РФ вовсе не избыточное, а их взаимоотношения затруднены следующими факторами:

- правовой неопределенностью механизма взаимоотношений и реализации прав верующих военнослужащих;
- почти полной неинституционализированностью церковного присутствия, неразвитостью организационных и информационных систем современного типа в этой сфере;
- отсутствием необходимых кадров;
- загруженностью священников, окормляющих верующих военнослужащих в своих приходах, что существенно ослабляет катехизаторскую и миссионерскую работу церкви в армии;
- сложностью субъективного фактора, когда религиозная ситуация в конкретной воинской части зависит от личной позиции командира, степени его персональной религиозности;
- изменениями в отношении к религии всей массы военнослужащих (уже не раз отмечалось, что религиозный бум 1990-х годов в 2000-е годы сменился религиозным откатом);
- слабой научной проработкой проблематики свободы слова и вероисповедной политики в армейских условиях;
- столкновением интересов военной бюрократии и церковной иерархии (несоответствие целей и уровня практической реализации задач сотрудничества; стремление с выгодой для себя консолидировать финансово-экономические резервы; межконфессиональные отношения и пр.) [10].

Вместе с тем можно утверждать, что с учетом нормативно-правовой неурегулированности всей системы отношений исторический опыт военного реформирования убедительно свидетельствует в пользу позитивной преемственности всего того, что положительно зарекомендовало себя в прошлом. Вся отечественная история наполнена церковным участием, в том числе в направлении формирования морального духа российского воинства. То есть и сегодня православие может стать верным помощником командиру в воспитании военнослужащих.

Список используемых источников

1. *Протоиерей Владислав Ципин*. История Русской Церкви: Синодальный и новейший периоды. – 4-е изд. – М.: Изд-во Сретенского монастыря, 2010. – 816 с.
2. О свободе совести и религиозных организациях: Закон СССР от 01.10.1990 № 1689-1 // Ведомости Съезда народных депутатов СССР и Верховного Совета СССР. – 1990. – № 41, ст. 813. – URL: http://www.libussr.ru/doc_ussr/usr_17302.htm (дата обращения: 29.11.2016).
3. О свободе вероисповеданий // Ведомости Съезда народных депутатов РСФСР и Верховного Совета РСФСР. – 1990. – № 21, ст. 241. – URL: <http://docs.pravo.ru/document/view/57432/> (дата обращения: 29.11.2016).
4. Определение о принятом Законе СССР о свободе совести // Архиерейский Собор Русской Православной Церкви 25–27 октября 1990 г. – URL: <http://www.patriarchia.ru/db/text/525413.html> (дата обращения: 29.11.2016).
5. О свободе совести и о религиозных объединениях: федеральный закон от 26.09.1997 № 125-ФЗ. – URL: <http://docs.pravo.ru/document/view/2967/16033422/> (дата обращения: 29.11.2016).
6. О статусе военнослужащих: федеральный закон от 27.05.1998 № 76-ФЗ. – URL: <http://rulaws.ru/laws/Federalnyy-zakon-ot-27.05.1998-N-76-FZ/> (дата обращения: 29.11.2016).
7. *Чимаров С.Ю.* Религиозно-нравственное воспитание в русской армии: ритуалы, обряды и церемонии: исторический очерк. – СПб.: ВИККА им. А.Ф. Можайского, 1977. – 68 с.

8. *Владимир Рогоза*. Жизнь положить за друзей своих // История. – 2003. – №29. – URL: <http://his.1september.ru/index.php?year=2003&num=29> (дата обращения: 29.11.2016).
9. *Лукичев Б.М.* Патриарх Кирилл и военное духовенство (О трудах Патриарха Московского и всея Руси Кирилла по возрождению института военного духовенства в Вооруженных Силах Российской Федерации). – М.: ФИВ, 2016. – 240 с.
10. *Осьмачко С.Г.* Русская православная церковь и Вооруженные силы РФ // Ярославский педагогический вестник – 2013. – № 1, том I. – С. 42–52.
11. Особенности функционирования института военных священнослужителей на современном этапе строительства Вооруженных сил Российской Федерации. – URL: http://ens.mil.ru/science/sociological_center/army_in_numbers/more.htm?id=11481165%40cmsArticle (дата обращения: 17.01.2017).
12. Положение по организации работы с верующими военнослужащими ВС РФ // Утверждено Министром обороны Российской Федерации 24 января 2010 г. – URL: <http://kapellan.ru/polozhenie-po-organizacii-raboty-s-veruyushhimi-v-vooruzhennykh-silax-rf.html> (дата обращения: 29.11.2016).
13. Введение в теорию и практику морально-психологического обеспечения войск (сил): учебник / под ред. И.Б. Субботина. – М.: ВУ, 2014. – 206 с.
14. Взаимодействие с вооруженными силами и правоохранительными органами // Архив С.-Петербургской епархии. – Д.6 (2009–2011). – 167 с.
15. Положение о военном духовенстве Русской Православной Церкви в Российской Федерации // Документ принят на заседании Священного Синода Русской Православной Церкви 25-26 декабря 2013. – URL: <http://www.patriarchia.ru/db/text/3481010.html> (дата обращения: 29.11.2016).

Н.В. Курдай,
кандидат военных наук, доцент;
А.Б. Пауков,
кандидат военных наук, доцент;
Р.Ф. Фаттахов,
кандидат военных наук

СИСТЕМА ПОДГОТОВКИ КУРСОВОГО ОФИЦЕРА-ПРЕПОДАВАТЕЛЯ К ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Выполнен анализ структуры служебной деятельности курсового офицера-преподавателя. На основе проведенного анализа определены направления подготовки офицеров к выполнению должностных обязанностей и предложено содержание модуля рабочей программы, освоение которого позволяет сформировать необходимые компетенции курсового офицера-преподавателя.

Ключевые слова: курсовой офицер-преподаватель, подготовка личного состава, обучение, воспитание.

Система военно-профессиональной подготовки курсантов академии представляет собой совокупность взаимосвязанных и взаимообусловленных компонентов, образующих единый, целостный, непрерывный процесс формирования личности будущего офицера. Очевидно, что без высокообразованных, образцово подготовленных командиров курсантских подразделений не может быть и речи о качественном обучении и воспитании наших курсантов.

В академии неоднократно обращались к вопросу совершенствования системы подготовки командиров подразделений курсантов [1].

В 2016 году в штат военных образовательных организаций высшего образования Министерства обороны Российской Федерации¹ были включены должности курсовых офицеров-преподавателей. Данное обстоятельство вызвало острую необходимость в определении порядка подбора кандидатов на указанные должности, профессиональной подготовки в процессе становления в должности, профессионального совершенствования при выполнении должностных обязанностей.

Анализ положений нормативных правовых актов, регламентирующих деятельность вузов, позволил сформулировать основные направления служебной деятельности курсового офицера-преподавателя, представляющие по своей сути совокупность функционала офицера-командира и преподавателя вуза (рис.1).

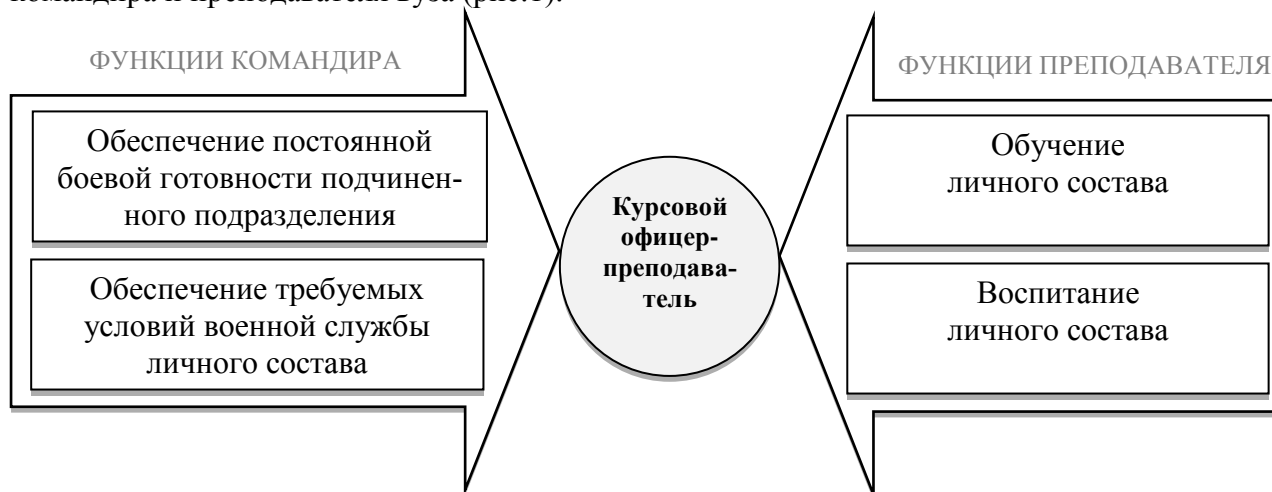


Рис. 1. Направления служебной деятельности курсового офицера-преподавателя

¹ Далее, для краткости – вузы

Образовательная деятельность преподавателя вуза направлена на подготовку военных кадров и требует от офицера политической и жизненной зрелости, разносторонних личностных качеств, знаний, умений и навыков, творческого подхода к своей работе [2].

Деятельность преподавателя – это процесс решения задач, связанных с обучением (организация работы обучающихся по овладению знаниями, умениями, навыками и компетенцией, приобретению опыта деятельности, развитию способностей, приобретению опыта применения знаний в повседневной жизни и формированию у обучающихся мотивации получения образования в течение всей жизни) и воспитанием (деятельность, направленная на развитие личности, создание условий для самоопределения и социализации обучающегося на основе социокультурных, духовно-нравственных ценностей и принятых в обществе правил и норм поведения в интересах человека, семьи, общества и государства) [3].

Деятельность командира осуществляется по двум направлениям: обеспечение постоянной боевой готовности подчиненного подразделения и обеспечение требуемых условий военной службы.

Сущность деятельности по обеспечению постоянной боевой готовности подчиненного подразделения заключается в следующем:

- совершенствовании физической тренированности личного состава, систематическом проведении с ним занятия по физической подготовке;
- знании материальной части, правил эксплуатации вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) и другого военного имущества и личной проверки их боевой готовности;
- контроле правильности эксплуатации ВВСТ и другого военного имущества, личном осмотре и проверке наличия;
- проверке подготовки ВВСТ к каждому занятию, а также их наличия и состояния по возвращении с занятий.

Сущность обеспечения требуемых условий военной службы заключается в следующем:

- работе по воинскому воспитанию;
- обеспечении высокого уровня воинской дисциплины;
- принятии мер по выполнению подчиненным личным составом требований безопасности военной службы при проведении всех мероприятий повседневной деятельности;
- заботе о быте подчиненных;
- контроле внешнего вида, выполнении правил ношения военной формы одежды, правильности подгонки снаряжения, обмундирования и соблюдении правил личной гигиены.

Обобщая результаты проведенного анализа, можно сделать вывод, что особенностью выполнения должностных обязанностей курсового офицера-преподавателя является необходимость сочетания командирской и педагогической деятельности, в связи с чем возникла необходимость разработки такой системы подготовки, которая позволяет с высоким качеством сформировать необходимую квалификацию² личного состава, назначенного на эти должности.

Для успешного выполнения должностных обязанностей курсовой офицер-преподаватель должен обладать множеством необходимых качеств и знаниями в разнообразных областях, соответствовать определенным требованиям.

Всю совокупность качеств, необходимых для выполнения обязанностей курсового офицера-преподавателя можно разделить на три группы:

- 1) идейно-нравственные;
- 2) военно-профессиональные;
- 3) особые личностные.

² Уровень знаний, умений, навыков и компетенции, характеризующий подготовленность к выполнению определенного вида профессиональной деятельности [2].

К первой группе качеств можно отнести: патриотизм и приверженность национальной идее, государственный подход к деятельности, наличие нравственного стержня, умение формировать и сколачивать воинский коллектив, наличие социологических навыков.

Ко второй группе относятся военно-профессиональные качества, глубокие знания военного искусства, знания вооружения и военной техники, наличие управленческих навыков, владение современными методами в управлении, наличие организаторских способностей, методических и педагогических навыков, уважение к науке и непрерывное пополнение знаний [4].

К третьей группе качеств (особых личностных или специфичных) относятся: наличие аналитического ума и развитого мышления, воли и настойчивости в решении поставленных задач, умение влиять на людей вообще и подчиненных в частности, наличие развитого чувства долга, работоспособность, умение работать в коллективе, высокая культура, умение излагать свои мысли точно и кратко, т. е. культура речи.

Однако наличие названных качеств еще не гарантирует успеха. Важно, чтобы все они, как можно полнее реализовывались и проявлялись в практической деятельности. Для достижения этой цели необходима четко отлаженная система подготовки курсового офицера-преподавателя, включающая комплекс мероприятий, направленных на формирование и совершенствование профессиональных умений и навыков офицеров в выполнении своих должностных обязанностей по управлению подчиненными подразделениями, по овладению ВВСТ и их использованию, по организации образовательного процесса, методике обучения и воспитания. Вариант системы подготовки показан на рис. 2.

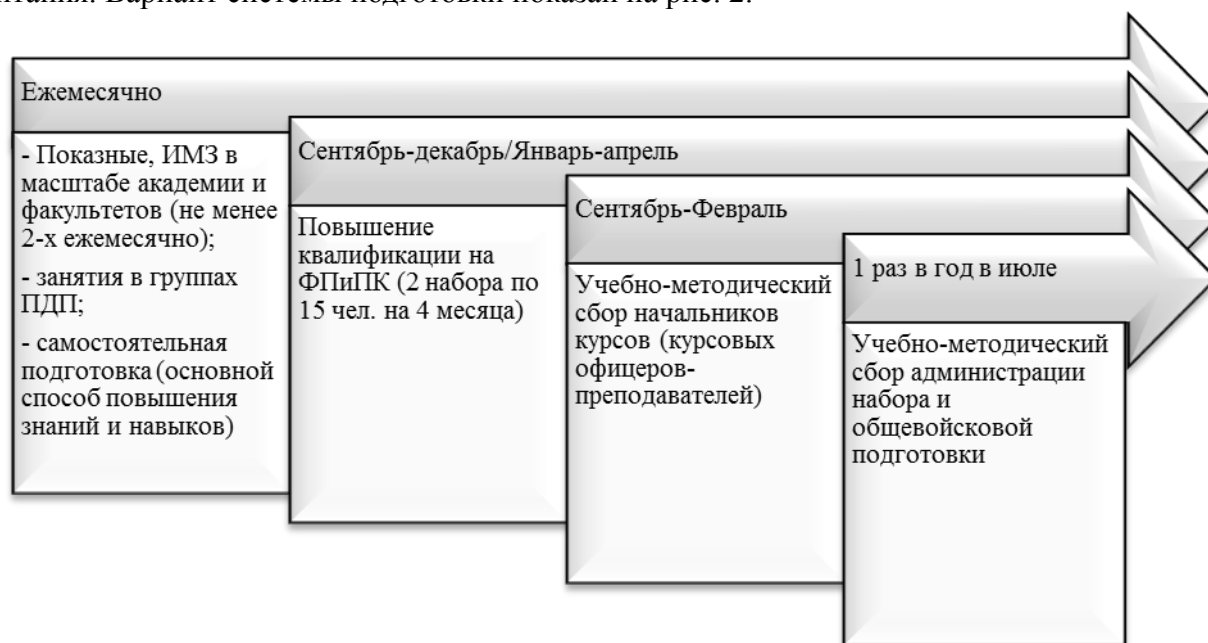


Рис. 2. Вариант системы подготовки курсового офицера-преподавателя

С 2015 года на факультете переподготовки и повышения квалификации (ФПиПК) в системе дополнительного профессионального образования создана группа повышения квалификации начальников курсов и курсовых офицеров. Обучение осуществляется два раза в год (группы по 15–17 человек) из расчета, чтобы все начальники курсов и курсовые офицеры проходили повышение квалификации один раз в три года.

Дополнительная профессиональная программа основана на модульном принципе представления программы и построения учебного плана. Программа включает четыре модуля, совершенствующих профессиональные компетенции начальника курса (курсowego офицера), что обеспечивает способность управлять подразделением в мирное и военное время. Мо-

дульный принцип построения программы предполагает возможность ее реализации дискретно, в течение четырех месяцев.

Для выполнения задач формирования требуемого уровня квалификации курсового офицера-преподавателя необходимо:

1) внести изменения в Положения о факультетах, а именно, переработать должностные обязанности курсовых офицеров-преподавателей;

2) определить учебные дисциплины и то, в каком качестве курсовые офицеры-преподаватели будут проводить занятия самостоятельно:

– по учебным дисциплинам «Общевоинские уставы Вооруженных Сил Российской Федерации», «Строевая подготовка» в период общевоинской подготовки;

– по учебным дисциплинам «Общевоинские уставы Вооруженных Сил Российской Федерации», «Строевая подготовка» в течение семестров обучения;

3) определить учебные дисциплины и то, в каком качестве курсовые офицеры-преподаватели будут проводить занятия в качестве помощников руководителя занятия:

– по модулю «Общевоинская подготовка» по разделам: «Общевоинские уставы Вооруженных Сил Российской Федерации», «Строевая подготовка» в семестрах обучения при отработке вопросов методики и практики проведения занятий;

– по общей тактике – при проведении практических и тактических занятий;

– физической подготовке – при проведении практических занятий;

– РХБ защите – при проведении практических занятий;

– инженерной подготовке – при проведении практических занятий;

– военной топографии – при проведении практических занятий;

4) организовать всестороннюю подготовку курсовых офицеров-преподавателей к выполнению нового для них вида деятельности на ФПиПК – в системе дополнительного профессионального образования в группе повышения квалификации начальников курсов и курсовых офицеров-преподавателей, для чего предусмотреть включение в рабочие программы модуля «Организация образовательной деятельности в военных образовательных организациях».

При изучении данного модуля необходимо предусмотреть изучение вопросов, указанных на рис. 2.

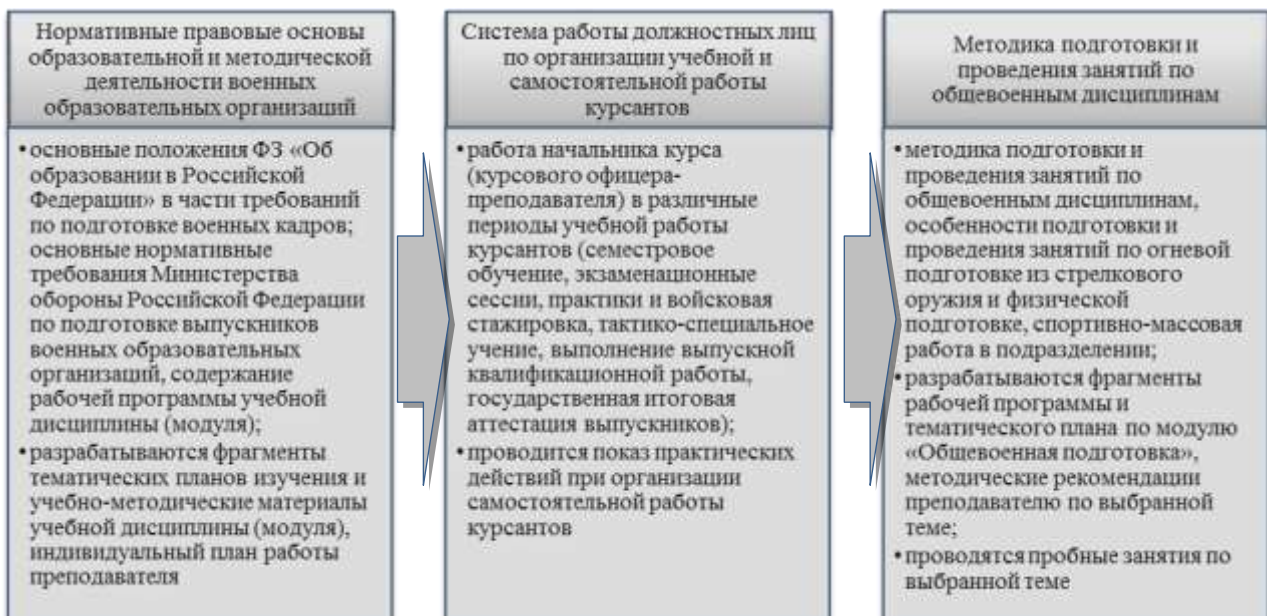


Рис. 2. Содержание модуля «Организация образовательной деятельности в военных образовательных организациях»

Результаты пробных занятий, проведенных курсовыми офицерами-преподавателями, до внедрения в рабочую программу и после освоения модуля показаны на рис. 3.

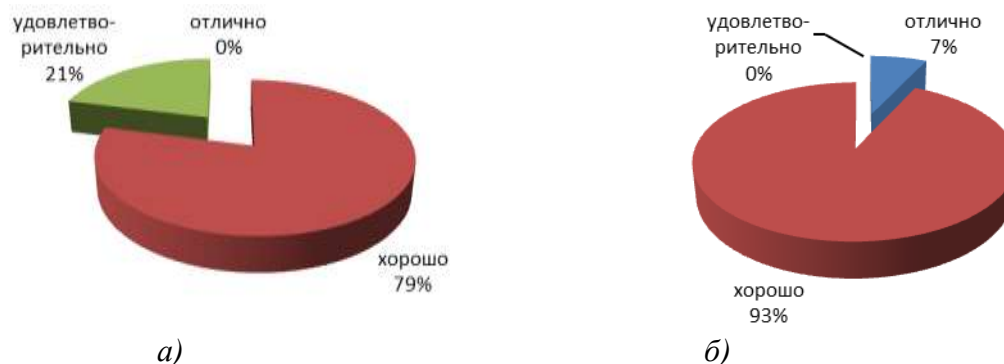


Рис. 3. Результаты проведения пробных занятий до освоения модуля «Организация образовательной деятельности в военных образовательных организациях» (а) и после (б)

По результатам пробного занятия можно сделать вывод, что примерно 50 % курсовых офицеров-преподавателей способны методически правильно провести занятия по модулю «Общевойсковая подготовка», при условии оказания методической помощи преподавательским составом.

При необходимости установления учебной нагрузки курсовым офицерам-преподавателям предлагается руководствоваться пунктом 17 главы 3 Приложения № 1 к указанию статс-секретаря – заместителя Министра обороны Российской Федерации.

При проведении:

- практических занятий с применением имитационных средств, практических занятий по физической подготовке (культуре), практических занятий, групповых упражнений по тактическим, тактико-специальным дисциплинам по тематике от роты (батареи) учебные группы делятся на подгруппы численностью до 15 курсантов в зависимости от количества рабочих мест;
- практических занятий, связанных с применением опасных для жизни взрывчатых, ядовитых и агрессивных жидкостей, а также связанных со стрельбой боевыми патронами, гранатами, метанием боевых гранат и прочим учебные группы делятся на подгруппы численностью до 8 курсантов.

Данное деление учебных групп на подгруппы предлагается учитывать при расчете объема годовой учебной работы академии, планировании и учете труда преподавательского состава кафедр и курсовых офицеров-преподавателей факультетов по общевойсковым дисциплинам. Это позволит спланировать учебную нагрузку курсовым офицерам-преподавателям, не снижая общей нагрузки кафедр.

Таким образом, предложенный комплекс мероприятий по подготовке курсовых офицеров-преподавателей академии к педагогической деятельности позволит сформировать профессиональные компетенции, необходимые для выполнения должностных обязанностей, а именно:

- способность организовывать и обеспечивать самостоятельную работу подчиненного личного состава в интересах повышения эффективности освоения основной профессиональной образовательной программы;
- способность проводить занятия по общевойсковым дисциплинам.

Обеспечит уровни обученности, при которых курсовой офицер-преподаватель будет:

а) знать:

- нормативные правовые основы подготовки выпускников военных образовательных организаций;
- требования нормативных документов по организации образовательной деятельности курсантов;

- организацию образовательной деятельности при переходе на сокращенные сроки обучения;
 - основы учебной и методической деятельности преподавателя;
 - порядок разработки, структуру и содержание разделов рабочих программ, тематических планов изучения и учебно-методических материалов учебных дисциплин (модулей);
 - методику подготовки и проведения учебных занятий по общевоинским дисциплинам;
- б) уметь:
- организовывать и проводить занятия по общевоинским дисциплинам;
 - планировать свою работу в различные периоды обучения курсантов, осуществлять контроль организации и обеспечения учебной и самостоятельной работы курсантов.

Список используемых источников

1. *Чистяков С.В., Пауков А.Б., Фёдоров Д.А.* О совершенствовании системы подготовки командиров курсантских подразделений // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2015. – Вып. 646. – С. 193–196.
2. *Майоров В.В., Репях Н.А.* Педагогика и психология высшей военной школы: учеб. пособие. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2008 – 429 с.
3. Об образовании в Российской Федерации: Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ. – URL: http://legalacts.ru/doc/273_FZ-ob-obrazovanii/ (дата обращения: 12.04.2017).
4. *Фаттахов Р.Ф., Кучинский В.Н.* Практико-ориентированная подготовка специалистов для высокотехнологичных сфер деятельности войск // Сборник материалов VII Общероссийской научно-практической конференции «Инновационные технологии и технические средства специального назначения». – СПб.: Военмех, 2015. – С. 427–431.

А.В. Тарасов,
кандидат военных наук;
Е.В. Шалонов,
кандидат военных наук

ВОЕННО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС В ВУЗЕ МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ: ОСОБЕННОСТИ ПРОТЕКАНИЯ И АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ

Рассмотрены основные направления военно-педагогического процесса в военном учебном заведении МО РФ и особенности реализации требований к профессиональной подготовке обучающихся.

Ключевые слова: военно-педагогический процесс, принципы воспитания, субъект, объект воспитания, социальное поведение, воинский коллектив, личная примерность.

Продолжающееся реформирование Вооруженных сил Российской Федерации, современные требования, предъявляемые к обучению и воспитанию военнослужащих, вызывают потребность непрерывного совершенствования военно-педагогического процесса в военных вузах. Важнейшим направлением выполнения этой задачи является организация более качественной работы всех субъектов военно-педагогической деятельности в конкретном вузе Министерства обороны Российской Федерации. Это возможно, на наш взгляд, при выполнении следующих условий:

- 1) в случае повышения эффективности при постановке военно-педагогических задач, улучшения качества планирования мероприятий военно-педагогического процесса;
- 2) при совершенствовании организации занятий в системе профессионально-должностной подготовки;
- 3) при повышении ответственности субъектов военно-педагогического процесса за результаты своей работы;
- 4) в случае применения инновационных технологий в обучении и воспитании военнослужащих вуза, постоянного поиска и систематического внедрения в военно-педагогический процесс передового опыта.

Важнейшим условием реализации современных подходов к планированию, организации, обеспечению и контролю военно-педагогического процесса в вузах Министерства обороны Российской Федерации является прежде всего научное понимание сущности процесса воспитания.

Своеобразным переходным «мостиком» от теории к практике воспитания выступают принципы воспитания. Понятие «принцип» происходит от латинского *principium* – начало, основа. По своему происхождению принципы воспитания являются теоретическим обобщением педагогической практики, формируются на основе опыта практической деятельности и, следовательно, носят объективный характер. Именно поэтому принципы воспитания становятся руководящими положениями, которые регулируют деятельность всех субъектов военно-педагогического процесса в вузе Министерства обороны Российской Федерации. Таким образом, принципы воспитания лежат в основе, охватывают все стороны военно-педагогического процесса и делают его более целенаправленным и логически выстроенным.

Анализ содержания и структуры военно-педагогического процесса показывает, что он является сложным, противоречивым и многоступенчатым. На этот процесс оказывают влияние самые разнообразные факторы (внутренние и внешние, объективные и субъективные, долговременные и ситуативные). В силу этого в нем своеобразно проявляются законы и закономерности различного уровня и порядка, прежде всего всеобщие законы развития природы,

общества и мышления. Кроме того, в этом процессе своеобразно проявляются закономерности развития общества, военного дела, формирования личности военнослужащего и воинского коллектива (группы военнослужащих), познавательной деятельности, социальной психологии. В то же время ему присущи и собственно педагогические закономерности, комплексно выражающие наиболее существенные связи и отношения военно-педагогического процесса.

Источником развития военно-педагогического процесса являются объективно присущие ему противоречия, к которым следует отнести:

- противоречия между требованиями социально-экономических, военно-технических факторов к военно-педагогическому процессу и его реальным состоянием;
- противоречия между целостным характером формирования личности военнослужащего и степенью развития ее отдельных качеств;
- противоречия между процессами формирования и развития воинского коллектива;
- противоречия собственно педагогического характера (в воспитании, обучении, развитии, психологической подготовке и т. д.).

Противоречия военно-педагогического процесса конкретного вуза разрешаются совместными усилиями всех его субъектов, пониманием механизма закономерностей его развития, грамотным применением всех форм и методов воспитания.

Военно-педагогический процесс вуза Министерства обороны Российской Федерации выступает в роли неотъемлемой составной части подготовки военнослужащего как гражданина, патриота и высоконравственной личности и осуществляется с учетом закономерностей формирования личности (выражающих связи и отношения между факторами, влияющими на формирование личности, а также наиболее типичные, устойчивые тенденции данного процесса в целом и его отдельных составляющих). Он должен быть динамичным и развивающимся, требующим постоянного проявления усилий по своему совершенствованию со стороны всех его субъектов.

Таким образом, военно-педагогический процесс в вузе Министерства обороны Российской Федерации представляет собой целенаправленную деятельность всех субъектов по обучению и воспитанию обучающихся (курсантов и офицеров), воинских и трудовых коллективов в целях подготовки высококвалифицированных выпускников. Основными его субъектами являются начальник вуза и его заместители, командиры (начальники) подразделений обучающихся (курсантов и офицеров) и других структурных подразделений, специалисты отдела по работе с личным составом, других отделов и служб, преподавательский состав кафедр, а также общественные организации вуза. В рамках военно-педагогического процесса решается общая для всех воинских и трудовых коллективов вуза задача по воспитанию активной и развитой личности будущего офицера.

Главной целью военно-педагогического процесса в мирное время является формирование у военнослужащих профессионализма, высоких морально-нравственных качеств, организованности, дисциплинированности, патриотизма, верности конституционному долгу, традициям Вооруженных сил Российской Федерации и своего вуза. Ведущую роль в этой работе играет целенаправленное воздействие всех субъектов военно-педагогического процесса на поддержание уставных правил взаимоотношений между военнослужащими, формирование строгой регламентации их жизни, деятельности и досуга, создание здоровой моральной и духовной атмосферы в каждом воинском коллективе. При этом следует учитывать, что сам военно-педагогический процесс является динамичным, целостным, закономерно развивающимся и управляемым процессом, в ходе которого обучающиеся (курсанты и офицеры), воинские коллективы и трудовые коллективы последовательно решают частные задачи военно-педагогического процесса, сложность которых непрерывно растет.

Одной из главных особенностей военно-педагогического процесса в вузе Министерства обороны Российской Федерации является то, что основной объект военно-педагогического воздействия в рамках этого процесса – обучающиеся этого вуза (курсанты и офицеры), а также

другие военнослужащие вуза. Все они являются взрослыми людьми со сформировавшимся мировоззрением, сложившимися взглядами, представлениями, сильными и слабыми сторонами характера и другими индивидуальными особенностями. Каждый из них несет личную ответственность (юридическую и моральную) за качество выполнения своих должностных и специальных обязанностей и своей учебы, за свое поведение. Однако не все из них в полной мере обладают качествами, необходимыми защитнику Отечества. Данная особенность, в частности, явно наблюдается при организации военно-педагогического процесса в Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. Она проявляется, например, в немалом количестве правонарушений, совершаемых военнослужащими академии, в том числе обучающимися в ней. В свою очередь, это требует при организации военно-педагогического процесса в академии учитывать факторы, оказывающие негативное влияние на формирование значимо важных качеств у обучающихся и других категорий военнослужащих.

Среди причин, определяющих девиантное и асоциальное поведение отдельных военнослужащих академии (прежде всего обучающихся в ней курсантов), можно выделить две основные группы. К первой группе можно отнести недостатки семейного воспитания, связанные с ошибками родителей в выборе мер воздействия на детей (эти ошибки в дальнейшем проявляются у обучающихся в негативном отношении к любым педагогическим воздействиям на них, в том числе при их обучении в академии), противоречивостью и несогласованностью воспитательных воздействий внутри семьи, отсутствием у большинства родителей элементарных психолого-педагогических знаний, а порой отрицательный пример родителей (так называемые асоциальные аморальные семьи).

Другая группа причин, обуславливающая трудности воспитания курсантов в академии, связана с недостатками педагогического процесса в школе. К ним, в частности, относятся, формализм в учебно-воспитательной работе, подмена воспитательных воздействий администрированием, отсутствие самостоятельности учащихся, слабое вовлечение учеников в творческую работу, коллективную жизнь класса и школы, запущенность или отсутствие внеклассной и внешкольной работы, неумение и нежелание педагогов работать с трудными подростками и другие недостатки педагогического процесса.

Педагогические ошибки и недоработки семейного и школьного воспитания в формировании личности будущего защитника Отечества дополняются и усугубляются социально-педагогическими причинами в масштабе общества, способствующими в известной степени закреплению отрицательных качеств у будущих офицеров. К основным из них следует отнести:

- низкое состояние военно-патриотического воспитания и допризывной подготовки молодежи в обществе;
- отрицательное воздействие средств массовой информации на формирование духовных и морально-нравственных качеств молодежи;
- недостатки воспитания в образовательных организациях среднего профессионального образования (лицеях и колледжах);
- негативное влияние бесцельного времяпрепровождения на улице и дома (за компьютером или смартфоном);
- участие в неформальных группах и объединениях отрицательной направленности;
- влияние различных проявлений саморазрушения личности, самонаправленной жестокости.

Перечисленные социально-педагогические причины также отрицательно воздействуют на сознание и поведение тех, кто приходит служить в Вооруженные силы Российской Федерации, создают предпосылки для появления психологических причин формирования негативных личностных качеств военнослужащих в дальнейшем.

В таких условиях особое значение в военно-педагогическом процессе в академии приобретает такой субъект военно-педагогического процесса, как воинский коллектив. Это связано с тем, что сама личность военнослужащего формируется в воинском коллективе (группе).

В то же время воинский коллектив является организмом, предназначенным для выполнения различных служебных (в том числе и учебных) задач. Поэтому при организации военно-педагогического процесса в академии необходимо обратить пристальное внимание на сплочение курсантских воинских коллективов первых курсов.

Каждое структурное подразделение академии, к которым относятся общеакадемические кафедры и имеющие более сложную структуру факультеты, представляет собой сложную систему воинских (офицерских и курсантских), педагогических и общественных взаимодействий. Ведущая роль в учебно-воспитательном процессе в академии принадлежит офицерам этих и других структурных подразделений академии, а важнейшей особенностью всех субъектов военно-педагогического процесса в академии является их высокая ответственность за организацию всех видов деятельности военнослужащих, являющихся объектами военно-педагогического воздействия (образовательной, воспитательной, научной, служебной, общественной, отдыха и досуга). Именно офицер, как военный педагог, сочетает в себе функции учителя, воспитателя подчиненных, руководителя и организатора воспитательной работы. Особые обязанности и права офицера накладывают свой отпечаток на характер его взаимоотношений с обучающимися. Суть их определена Общевоинскими уставами Вооруженных сил Российской Федерации, которые являются основными нормативно-правовыми документами по организации военно-педагогического процесса, предусматривающими, что основными отношениями между начальниками и подчиненными являются не административные, а педагогические взаимоотношения.

Однако в любом вузе Министерства обороны Российской Федерации воспитательная роль офицера является более значимой, так как в этом случае для обучающихся офицер является не только командиром (начальником), но и преподавателем, наставником, старшим товарищем, научным руководителем. Каждый офицер готовит себе достойную смену и не только передает обучающимся свои знания, но и является для них в определенном смысле примером в службе, образцом российского офицера, эталоном, к которому надо стремиться и которому необходимо подражать. Вполне закономерно, что в таких крупных вузах Министерства обороны Российской Федерации, как Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского после реорганизации и значительного сокращения воспитательных структур, проведенных несколько лет назад, при совершенствовании военно-педагогического процесса первостепенная роль принадлежит прежде всего непосредственно командирам (начальникам) всех степеней, а также преподавательскому составу. Одним из центральных направлений деятельности этих субъектов военно-педагогического процесса является повышение их научно-методического уровня, проявление настойчивости и ответственности в решении поставленных воспитательных задач.

В то же время организация военно-педагогического процесса в вузе Министерства обороны Российской Федерации связана не только с воспитательным воздействием на обучающихся в нем курсантов и офицеров. Систематически проводимый анализ состояния воинской дисциплины и правопорядка в Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского позволяет сделать однозначный вывод, что за последние годы основной категорией военнослужащих, совершающей различного рода правонарушения, являются офицеры, занимающие штатные должности в академии. Это необходимо учитывать при организации военно-педагогического процесса.

Кроме того, воспитательная работа с офицерами как с субъектами воспитания (а каждый офицер – это в первую очередь воспитатель своих подчиненных) также требует совершенствования. От обеспечения личной примерности офицерского состава вуза Министерства обороны Российской Федерации в вопросах службы и воинской дисциплины зависит качество решения задач подготовки высококвалифицированных выпускников.

Результаты работы по организации военно-педагогического процесса в Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского показывают, что особое внимание в сфере воспитательной деятельности необходимо обращать на работу с молодыми офицерами, за-

нимающими с недавнего времени должности преподавателей и адъюнктов, начальников и инженеров учебных лабораторий, начальников курсов и курсовых офицеров, а также научных работников.

Список используемых источников

1. Военная педагогика: учебник для вузов / под ред. О.Ю. Ефремова. – СПб.: Питер, 2015. – 640 с.
2. Об организации работы с личным составом в Вооруженных Силах Российской Федерации: приказ Министра обороны Российской Федерации № 655 от 12 октября 2016 года. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/456046040> (дата обращения: 14.03.2017).
3. Макаренко А.С. Педагогические сочинения: в 8 т. – М.: Педагогика, 1984. – Т. 4. – 221 с.
4. Психология и педагогика: учеб. пособие / И.В. Дурнов, Н.В. Ершов, В.П. Башкирцев и др.; под общ. ред. Н.В. Ершова. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2011. – 515 с.

Goncharenko V. A. Decomposition method of calculating the network service models with parametric uncertainty // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 657. – P. 5–14.

The approaches to the formation and approximation of the initial data in conditions of uncertainty are considered. The technique of calculation of parameters of the combined request flow, components of which are several recurrent flows approximated phase distributions, is proposed. The methods of calculating the characteristics of the residence time of requests at the nodes and in the network in the presence of interval uncertainty of parameters of distributions describing the input flow and the network nodes are considered.

Key words: network service model, recurrent flow, parametric uncertainty, the network node, random parameter, phase function, approximation, randomization, decomposition method.

Information-computational model of a planning application of orbital groups of space vehicles / E.V. Kotyashov, O.L. Kuvaev, M.G. Kudinov, V.A. Chernyavskiy // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 657. – P. 15–22.

The article discusses the stages of the planning process the application of the orbital groupings of spacecraft, built information and design model of a planning application of orbital grouping of space vehicles.

Key words: spacecraft, space object, the near-earth space, orbital group, the planning application.

Malyshev D.V., Makhrov K.B, Skorohodov Y.A. Imitation model of marine ships traffic control space system functioning // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 657. – P. 23–33.

In this paper, a set of algorithms for simulating of marine ships traffic control space system functioning is proposed. A comparative analysis of the ship groupings detection quantitative indicators obtained using simulation modeling and analytical expressions proposed by other authors is carried out.

Key words: automatic identification system, information processing, statistical modeling.

Steganov G.B., Chudnovskij Y.A. Mathematical model of battery for the charging process of step current // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 657. – P. 34–40.

In presented article is shown the mathematical model of the battery, adapted to analyze the charging process and synthesis of control algorithms for multistep pre-riviste the process of replenishing the energy level of the storage subsystem, the characteristic space of the apparatus. In contrast to the known, the model was improved to simulate the battery with a arbitrary varying depth of line, an arbitrary shape and duration of the speed profiles of the charge current that best describes the charge-discharge processes in Nickel-hydrogen rechargeable batteries installed on board the spacecraft. Simulation data allowed us to estimate the benefits of battery charge rationally selected current and to select such current value, in which for each source-go thermal and power status of the battery achievable increment of energy possible. The transition to charge even once adjusted current allows to increase the amount of stored useful energy to 14% in comparison with the standard charge.

Key words: battery, mathematical model, algorithm.

Bogdanovsky S.V., Ovcharenko K.L., Simonov A.N. Method of determinig coordinates of radio emission sources based on polarisation measurements // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 657. – P. 41–46.

The method of determination of coordinates of radio sources on the basis of the polarization measurement based on the use of concentrated small-sized antenna systems, invariant to changes in

polarization of radio emission. Noted that the developed method of determining coordinates of radio sources on the basis of polarization measurements as a coordinate-informative parameter is the polarization of the radio emission.

Key words: polarization, radio location, the coordinate-information setting method, bearing, an unmanned aerial vehicle.

Kravchenko I.D., Stepanjuk O.M, Trofimova N.A. Providing a predetermined cryptostrength of block encryption for messages authentication in terms of adaptation to key length changing // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 657. – P. 47–52.

The article considers the possibility of providing the cryptostrength of block encryption in the mode cipher block chaining for messages authentication. The results of numerical exploration of dependence the amount of key space on key length and the argument of the cryptographic module addition in encryption function are presented. Also the modified messages authentication algorithm is shown.

Key words: authentication, cipher, key, cryptanalysis, block encryption, cryptostrength, the amount of key space.

Krupskiy K.A., Uspenskiy K.K. Methodical approach to the determination of the systematic components of the errors in the estimated motion parameters of the monitoring object changing // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 657. – P. 53–59.

Abstract: The developed methodical approach to the determination of the systematic components of the errors in the estimated motion parameters of the monitoring object to account for systematic errors of measurement in problems of estimation of readiness of polygon measuring complex test site, consisting of different types of measuring instruments, to ensure testing of samples of weapons, tasks of forming an optimal plan of observations of air (space) control systems.

Key words: Object of observation, parameters of motion, accuracy index, polygon measuring complex, measuring instruments.

Absaljamov D.R., Aitov R.N., Druzhinin P.V. A power supply system of ground-based space complexes based on diesel generator sets with variable rotation frequency // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 657. – P. 60–66.

A method of enhancing energy performance indicators and technical economic indicators of uninterruptible power systems for ground-based space complexes using diesel generator sets based on an asynchronous synchronous generator is suggested. Economic and operational indicators of diesel power stations characterizing their operation when changing over to an asynchronous synchronous generator with variable rotation frequency are discussed. Advantages and disadvantages and possible use of diesel generator sets with variable rotation frequency in engineering systems of ground-based complexes are analyzed. Novel regression models characterizing dependency of technical economic indicators on rotation frequency and efficient power are presented. The novelty of the method consists in using a new model of power and resource consumption by a diesel generator set with a generator based on a doubly-fed electric machine obtained experimentally and having allowed the design of an adaptive system for controlling specific efficient fuel consumption that ensures minimum fuel consumption under variable load.

Key words: diesel generator set, variable speed, energy saving.

Aleshkin A.P., Borodulin R.Y., Gusakov V.M. The technique of constructive synthesis of small antennas // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 657. – P. 67–76.

Presents examples of constructive synthesis of small antennas. The synthesis is carried out on the basis of physical principles of radiation antennas of this type. The article presents the results of computer electromagnetic analysis of impedances and standing wave ratio of synthesized antennas. Calculations are made on the example of planar antennas types; explain the reasons for the increase of broadband properties.

Key words: Constructive synthesis, small antennas, capacity of antennas, constructive parameters, impedance, standing wave ratio.

Bondarev A.V., Koshechkin M.V. Application of the resource forecasting wall vertical steel tanks at low-cycle loading // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 657. – P. 77–80.

The results of the study on the use of methods of forecasting resource vertical steel tanks. Based on these results provide a rationale for the possibility of applying the method of forecasting resource walls of vertical steel tanks at low-cycle loading.

Key words: resource forecasting, reservoir, cyclic loading

Bondarev A.V., Semenov P.A., Smirnov A.V. Review of the state of scientific and technical developments and perspective directions of researches of complex automation systems of coal boilers with boiling boiler on the objects of the MO RF // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 657. – P. 81–86.

The article presents an analysis of the technical condition of boilers in the municipal and departmental-mations of the Russian Federation. A review of the status of research and development of automation systems in low-power boilers with fluidised bed. A brief description of the pilot thermal power-matic complex proposals for the modernization of automation systems for the far-re- search.

Key words: high-temperature fluidized bed boiler KVP-1.74VTKS.

A simulation model of intelligent accelerometer / M.P. Buyankin, M.A. Vatutin, Y.A. Kuzmichev, I.A. Trofimov // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 657. – P. 87–96.

Is considered the simulation model of accelerometer, which implements the function of metrological self-control and adaptation to a priori indeterminate disturbing factors of orbital flight. Given that the parameters drift of the torque sensor accelerometer makes the greatest contribution to error component of its scale factor, the technique of self-control which is based on sensor resonant frequency interrelationship and its scale factor. The accelerometer adaptation to perturbing factors, realizing by introduction to their structure regulating device.

Key words: pendulum accelerometer compensation type, self-control, adaptation.

Vlasov V.A., Malenin E.N. Algorithm of an independent operating mode of system of orientation of the solar battery // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 657. – P. 97–103.

The algorithm of an independent operating mode of system of orientation of the solar battery of the spacecraft is offered. A variant of the construction of the drive system based on a microcontroller PIC16F873A, with a primary focus on the implementation of a modified gradient descent method with crushing step and maintain the level of power generated by the solar cell is not lower than a predetermined level interval method. The results of simulations of such a system and its test results of the physical model.

Key words: spacecraft, microcontroller system of orientation solar panels, drive orientation system, a stepper motor.

Voronin A.E., Peshehonov N.E. The definition of the reliability index deeply portioned electricity supply // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 657. – P. 104–112

The article discusses issues of determining a reliability indicator system of electricity supply at deep partitioning. Examines various methodological approaches to the accounting section switches the indicator of reliability of power supply system. Analyzed the results of different assessment methods reliability system of electricity supply with deep partitioning and propose the most acceptable from the point of view of the authors, methodological approaches to the determination of the reliability system of electricity supply.

Key words: power system, reliability index, methods of determining reliability, deep partitioning.

Gorshkov L.K., Scherbakov V.I. Oscillations of the colliding in percussion mechanisms with periodic non-harmonic perturbation // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 657. – P. 113–117.

A new solution to the problem of forced oscillations of the colliding masses under the influence of periodic non-harmonic perturbation is shown with the example of operation of the percussion mechanisms. The solution is obtained in an analytical form with assumptions that do not contradict the conditions of operation of such multiscale percussion mechanisms as puncher or perforator.

Key words: forced oscillations, periodic non-harmonic perturbation, exciting force, the impacting mass, resonance phenomena, the amplitude-frequency characteristics.

Dzitoev A.M., Lapovok E.V., Khankov S.I. Method of calculation of temperatures of sides of space object in the form of the thin-walled parallelepiped in the circular solar – synchronized orbit // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 657. – P. 118–124.

The technique of calculations of stationary temperatures of sides of a space object in the form of a hollow parallelepiped with a thin wall is offered, one of sides of which is constantly combined with the plane of the local horizon. An object moves on a circular solar and fixed orbit to terminator's planes. The assumption about lack of conductive thermal communication between the adjoining sides is accepted. The internal cavity of the considered object is vacuumized. The flows of radiation of Earth absorbed by five sides of a parallelepiped depend on object height over its surface and are determined by sizes of local coefficient of an irradiation Earth for each of sides. One of these sides, besides, absorbs a flow of direct sunlight. When calculating temperatures of sides of a parallelepiped internal reradiation between each of sides with other five sides is considered, at the same time the quantity of options of calculations is limited to an assumption that internal surfaces of sides absolutely black. This technique is applied to calculations of temperatures of an object in the form of a cube. On the basis of determination of thermal conductivity between the cube sides absorbing sunlight, and also thermal radiation of Earth and opposite it sides determined criterion of thin walls of a cube.

Key words: space object, solar – synchronized, energy balance of a space object, thermal radiation of Earth, local and effective coefficients of an irradiation.

Sarkisov S.V. Probabilistic-technological method for predicting changes in the parametric characteristics of the functioning of the water supply system // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 657. – P. 125–130.

This article includes information about probabilistically technological method of calculating, consists of engineering methods for predicting water supply equipment and buildings functioning changes which depend on continuance of their operation.

Key words: water supply system, diagnostic, predicting, reliability, reconstruction, energy consumption.

Stavtsev B.S. The method to reduce level of the sidelobes of the UWB horn antenna // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 657. – P. 131–140.

The article studies the ways of technical implementation of the methods reducing level of the sidelobes of the UWB horn antenna, an irregular TEM horn with diverging current-carrying tire with slits according to the elliptic law. The proposed methods in the article are proven to be effective following the results of the electrodynamics modeling that confirmed their contribution to the development of the UWB horn antenna as an element of the antenna array.

Key words: UWB horn antenna, directional factor (CPV), the radiation pattern (NAM), irregular TEM horn, the sidelobe.

Bagrecov S.A., Kulganov V.A., Fomichev A.D. Entry into force of regulations in the Russian Federation // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 657. – P. 141–147.

In the context of the general automation of all types of control in parts and divisions of aerospace forces of the relationship of man and military equipment has changed, it has become more complicated, more mediated by various factors. Proposed method allows the solution to the problem of choosing alternatives of acquisition of complex systems management groups. It does not restrict the set of estimated parameters of success of activity of operators management team that can effectively use it for a wide range of similar problems. Increasing the level of automation of technical systems, managed by a qualified operator, in most cases only leads to *dalneyshemuvozrastaniyu* role of the "human factor" as a result of a significant increase in the volume and complexity of the functions of equipment management process.

Key words: small group, a specialist operator, matrix number, efficiency.

Bochinin D.A. There is perfection of the system of preparation of specialists of command-measuring complex of space facilities of Department of defense of the USSR in 1980 th // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 657. – P. 148–154.

The article reflects the historical aspect of creation of the system of preparation of specialists of parts of management space vehicles in 1980 th. Accent is done on the analysis of dynamics of forming of structure of preparation of specialists of different levels directly in parts and subdivisions of Command-measuring complex of Space facilities of Department of defense of the USSR.

Key words: military-professional knowledge, military preparation of specialists, Commander-measuring complex, space vehicle, research ship, scientifically-measuring item, special and tactics-special preparation, management by space vehicles, education-material base.

Gytrovich O.V. Information warfare as a reflection of the strategy of development of mankind // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 657. – P. 155–163.

In this article the author addresses the phenomenon of the information war, the appearance of which reflects the strategy of development of human society. The author highlights such notions as "information warfare," "information operations" and "propaganda", correlating them with each other. The task is to show that the development of information civilization opens up new horizons for the development of information warfare, perfecting the technology of reference. The article deals with the possible goals and consequences of information warfare.

Key words: postindustrial society, information society, information warfare, information operations, informational influence, propaganda, frame, human network.

Zryanina N.V., Steshov A.V., Yakovlev A.G. The methodology of lessons organization with practical orientation using mind maps // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 657. – P. 164–172.

Offers methodology execution of seminar for academic discipline “Radiation, chemical and biological protection” using mind maps for maximum activation students on the lessons. Given recommendations for the preparation of methodical support and assessment of educational outcomes.

Key words: innovative method, principles of communication in education, mind map, methodical software.

Inozemtseva L.A., Kuzhekin N.S. Psycho-pedagogical bases of visualization of educational content in the development of electronic didactic materials // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 657. – P. 173–177.

The article describes some psycho-pedagogical aspects of creation of electronic didactic materials. Principles of accounting psychophysiological features of students and pedagogical ergonomics methods and technologies of visualization of educational content in electronic didactic materials/

Key words: visualization, educational content, electronic didactic materials, psycho-pedagogical ergonomics, psychophysiological features of students, perception, attention.

Kudryashov S.V., Losik A.V., Rozanova L.V. Historical revival of Institute of military clergy in the new post-Soviet Russia // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 657. – P. 178–184.

The article describes the formation of the Institute of chaplains at the present stage of development of the Armed forces of the Russian Federation; it is shown that the military clergy in the Armed forces performs the function of providing combat and everyday activities within the framework of moral and psychological support; it is shown that the main link of interaction between the Russian Orthodox Church and the Ministry of defence acts as assistant commander for work with religious servicemen, and shown on the existing problems in this interaction.

Key words: Russian Orthodox Church, the Ministry of defence of the Russian Federation, Christianity, military chaplains, morale and psychological support, freedom of conscience, religious rights of believers.

Kurday N.V., Paukov A.B., Fattakhov R.F. Platoon commander (tutor) training system for educational activities // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 657. – P. 185–190.

The article analyzes the structure of platoon commander (tutor-officer) service activities. On the analysis basis, the training officers' areas to the performance of their duties have been identified and the study program module content have been proposed too. It allows to form the necessary competences of a platoon commander (tutor-officer).

Key words: platoon commander (tutor-officer), personnel training, teaching, education.

Tarasov A.V., Schalonov E.V. Military and pedagogical process in higher education institution of defense agency of the Russian Federation: features courses and urgent // Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy. – SPb.: Mozhaisky MAA, 2017. – Release 657. – P. 191–195.

Article contains the main directions of military and pedagogical process in the military educational institution of MO Russian Federation and feature of implementation of requirements to professional training of students.

Key words: military and pedagogical process, principles of education, object of education, asocial behavior, military collective, personal example.

Абсалямов Дамир Расимович, профессор 103-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук; тел.: +7 (911) 244-33-13, e-mail: damir73@yandex.ru

Аитов Ренат Наильевич, адъюнкт 43-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812)347-95-44, e-mail: reshka462@mail.ru

Алёшкин Андрей Петрович, профессор 31-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-99-31, e-mail: a_aleshkin@mail.ru

Багрецов Сергей Алексеевич, старший научный сотрудник 61-й лаборатории Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (911) 779-86-94, e-mail: sergeibagrecov@bk.ru

Богдановский Сергей Валерьевич, адъюнкт 43-й кафедры Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного (194064, Россия, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., 3); тел.: 8(812) 247-98-35, e-mail: sergej.bogdanowsky@yandex.ru

Бондарев Алексей Валентинович, докторант ФГКВОУ ВО «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва» (199034, Россия, Санкт-Петербург, наб. Макарова, 8); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 578-82-50, e-mail: bondarev.aspb@mail.ru

Бородулин Роман Юрьевич, докторант кафедры радиосвязи Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного (197198, Россия, Тихорецкий пр., 3); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 247-93-11, e-mail: borodulroman@yandex.ru

Бочинин Дмитрий Анатольевич, профессор 108-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор военных наук; тел.: 8 (812) 580-79-31.

Буянкин Михаил Петрович, адъюнкт 25-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-95-27.

Ватугин Михаил Алексеевич, доцент 25-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-27.

Власов Вячеслав Александрович, 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) 347-96-22 e-mail: vlasovsl@rambler.ru

Воронин Алексей Евгеньевич, адъюнкт 44-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 023-30-88, e-mail: voroninalex87@yandex.ru

Гончаренко Владимир Анатольевич, профессор 24-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8(911) 242-01-19, e-mail: vlango@mail.ru

Горшков Лев Капитонович, профессор 114-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 694-33-86, e-mail: manev@mail.ru

Гусаков Виктор Михайлович, старший преподаватель 31-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-99-31, e-mail: viktorgusakov@inbox.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

Дзитоев Азамат Миронович, начальник 462-й лаборатории – старший бортовой оператор Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-95-18, e-mail: Leva0007@rambler.ru

Дружинин Пётр Владимирович, профессор 10-й кафедры Военного института (инженерно-технического) Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва (191123, Россия, Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, 22); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (921) 657-24-87, e-mail: a.l.barash@yandex.ru

Зрянина Надежда Васильевна, преподаватель 104-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат медицинских наук; тел.: 8 (812) 347-96-93, e-mail: zrnv22@gmail.com

Иноземцева Людмила Александровна, преподаватель 109-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 810-62-63, e-mail: lucilia@mail.ru

Котяшов Евгений Валериевич, заместитель начальника управления – начальник 21-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-97-21, e-mail: kev246@mail.ru

Кошечкин Максим Валерьевич, докторант ФГКВОУ ВО «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва» (199034, Россия, Санкт-Петербург, наб. Макарова, 8); кандидат технических наук; тел.: 8 (952) 268-81-88, e-mail: maxkmv@list.ru

Кравченко Игорь Дмитриевич, старший научный сотрудник 34-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 (960) 239-16-51, e-mail: Kid604@mail.ru

Крупский Кирилл Анатольевич, заместитель начальника 21-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-97-21, kirill11223@gmail.com

Куваев Олег Леонидович, адъюнкт 2-го управления Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-97-21, e-mail: kuvaevoleg84@mail.ru

Кудинов Михаил Георгиевич, преподаватель 23-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-97-21, e-mail: kudinov.m@gmail.ru

Кудряшов Сергей Владимирович, помощник начальника Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского по работе с верующими военнослужащими (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук; тел.: 8 (812) 573-22-78, e-mail: fonaga@rambler.ru

Кузьмичев Юрий Алексеевич, доцент 21-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-21.

Кулганов Владимир Александрович, профессор 104-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор медицинских наук, профессор; тел.: 8 (921) 756-24-00, e-mail: kulganof@mail.ru

Кужекин Николай Сергеевич, профессор 109-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат философских наук, профессор; тел.: 8 (911) 794-16-72, e-mail: kns656@mail.ru

Курдай Николай Владимирович, заместитель начальника 102-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-29, e-mail: kurdain@mail.ru

Лаповок Евгений Владимирович, старший научный сотрудник 43-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) 347-95-18, e-mail: Leva0007@rambler.ru

Лосик Александр Витальевич, старший научный сотрудник 61-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор исторических наук, профессор; тел.: 8 (812) 431-06-95.

Маленин Евгений Николаевич, старший преподаватель 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: vka_22kaf-maleninen@rambler.ru

Малышев Денис Владимирович, начальник лаборатории Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 347-97-59.

Махров Константин Борисович, начальник отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 347-97-59.

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

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) 347-95-29.

Пешехонов Николай Егорович, профессор 44-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (911) 224-59-48, 8 (812) 347-95-44, e-mail: peshehonov@bk.ru

Розанова Людмила Владимировна, научный сотрудник 61-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-97-31.

Саркисов Сергей Владимирович, доцент кафедры систем жизнеобеспечения объектов военной инфраструктуры Военного института (инженерно-технического) Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва (191123, Россия, Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, 22); кандидат технических наук, доцент; тел.: (812) 275-65-03, e-mail: sarkisovs@mail.ru

Семёнов Пётр Александрович, инженер 5-й кафедры Военного института (инженерно-технического) Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва (191123, Россия, Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, 22); тел.: 8 (812) 578-82-50, e-mail: petsem@mail.ru

Симонов Алексей Николаевич, доцент 43-й кафедры Военной академии связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного (194064, Россия, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., 3); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8(812) 247-98-35, e-mail: simonovalexey2010@yandex.ru

Скороходов Ярослав Анатольевич, начальник лаборатории Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 347-97-59.

Смирнов Александр Васильевич, заведующий 5-й кафедрой Военного института (инженерно-технического) Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва (191123, Россия, Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, 22); доктор технических наук; тел.: 8 (812) 578-82-50, e-mail: 9614082@gmail.com

Ставцев Борис Семёнович, старший научный сотрудник 42-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197349, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 393-95-72, e-mail: bstavtsev@mail.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

Степанюк Орест Михайлович, старший научный сотрудник 34-го отдела 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) 658-57-80, e-mail: orest43@bk.ru

Стешов Анатолий Валентинович, профессор 109-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-97-62, e-mail: mashasteshova@mail.ru

Тарасов Александр Владимирович, заведующий 108-й кафедрой Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук; тел.: 8 (812) 327-95-04, e-mail: vka@mil.ru

Трофимов Илья Анатольевич, старший преподаватель 25-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-95-27.

Трофимова Наталья Андреевна, научный сотрудник 34-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (911) 215-02-51, e-mail: hotmetroff@bk.ru

Успенский Константин Константинович, начальник лаборатории 24-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) 347-97-21, uskonstantink@yandex.ru

Фаттахов Руслан Фаритович, заместитель начальника 102-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук; тел.: 8 (812) 347-95-29, e-mail: fattarus@yandex.ru

Фомичев Андрей Дмитриевич, преподаватель 43-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); тел.: 8 (812) 347-95-44, e-mail: vip.fomichev1979@mail.ru

Ханков Сергей Иванович, старший научный сотрудник 43-го отдела Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук; тел.: 8 (812) 347-95-18, e-mail: Leva0007@rambler.ru

Чернявский Владимир Александрович, начальник 242-й лаборатории Военного института (научно-исследовательского) – старший научный сотрудник Военно-космической ака-

демии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-97-21, e-mail: vladimirchernyavsky@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.steganov@yandex.ru

Шалонов Евгений Владимирович, заместитель начальника Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского по работе с личным составом (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук; тел.: 8 (812) 327-95-42, e-mail: vka@mail.ru

Щербаков Валерий Иванович, заведующий 114-й кафедрой Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 707-16-75, e-mail: vka114@mail.ru

Яковлев Алексей Георгиевич, доцент кафедры общей и военной гигиены с курсом военно-морской и радиационной гигиены Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова (194044, Россия, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, 6); кандидат медицинских наук, доцент; тел.: 8 (904) 636-43-57, e-mail: yag_74_sim@mail.ru

Абдурахимов Алексей Александрович, доцент 12-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-96-12.

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.

Алексеев Тимофей Владимирович, профессор 108-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор исторических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-97-85.

Бирюков Денис Николаевич, начальник 61-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук; тел.: 8 (812) 347-96-87.

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.

Замарин Александр Иванович, профессор 53-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-95-57.

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, e-mail: vladimirkar@rambler.ru

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

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 (812) 347-96-31, e-mail: giz26@rambler.ru

Лебедев Евгений Леонидович, начальник 11-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8(812) 347-95-11, e-mail: zlebedev@yandex.ru

Логунов Сергей Владимирович, преподаватель 83-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-95-46.

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

Мысливцев Тимофей Олегович, начальник 31-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-31.

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) 347-95-94.

Онуфрей Андрей Юрьевич, ведущий научный сотрудник 5-го управления Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 230-28-15.

Пауков Александр Борисович, начальник 102-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат военных наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-96-29, e-mail: elal_04@mail.ru

Репях Николай Андреевич, заведующий 109-й кафедрой Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат философских наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-96, e-mail: utkinodacha@yandex.ru

Сасункевич Александр Анатольевич, старший преподаватель 21-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук; тел.: 8 (812) 347-95-21.

Сеньченков Валентин Иванович, профессор 43-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-96-43.

Силантьев Сергей Борисович, профессор 21-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-21.

Хомоненко Анатолий Дмитриевич, профессор 27-й кафедры Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); доктор технических наук, профессор; тел.: 8 (812) 347-99-25.

Щербаков Валерий Иванович, заведующий 114-й кафедрой Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13); кандидат технических наук, доцент; тел.: 8 (812) 347-95-89.