

ISSN 2224-1132



ВООРУЖЕННЫЕ СИЛЫ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОЕННАЯ АКАДЕМИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ»

**СБОРНИК
НАУЧНЫХ СТАТЕЙ
ВОЕННОЙ АКАДЕМИИ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

№ 21

**Минск
2011**

Редакционная коллегия

В.М. Булойчик (главный редактор), доктор технических наук, профессор; **В.А. Куренёв** (заместитель главного редактора), доктор технических наук, профессор;
А.Н. Мацкевич (ответственный секретарь), кандидат технических наук, доцент; **В.И. Гринюк**, кандидат военных наук, профессор; **В.П. Дикселис**, доктор философских наук, профессор; **В.Ф. Ермолович**, доктор юридических наук, профессор; **В.В. Колодяжный**, доктор военных наук, профессор;
В.В. Кругликов, доктор технических наук, профессор;
С.В. Кругликов, кандидат технических наук, доцент;
С.Н. Кузикевич, кандидат военных наук; **Ю.Е. Кулешов**, кандидат военных наук, доцент; **А.В. Лебёдкин**, доктор военных наук, доцент; **В.А. Малкин**, доктор технических наук, доцент; **А.С. Масилевич**, кандидат военных наук, доцент; **С.Б. Матвийчук**, кандидат юридических наук, доцент; **А.Г. Онищук**, доктор технических наук, профессор; **В.Н. Цыганков**, кандидат военных наук, доцент;
В.Б. Шабанов, доктор юридических наук, профессор

Набор и верстка: Т.Я. Талейкина
Дизайн обложки: О.К. Котоласов

Изд. лиц. № 02330/0494406 от 27.03.09. Подп. в печ.
Формат 60x84/8. Бумага писчая. Гарнитура «Таймс».
Печать офсетная. Уч.-изд. л. 6,8. Усл. печ. л. 7,91. Тираж 100 экз. Зак.....
Издательство УО «Военная академия Республики Беларусь». 220057, Минск-57.
Типография учреждения образования «ВА РБ». 220057, Минск-57.
Лиц. № 02330/0150499 от 11.03.09.

Требования к статьям, представляемым для опубликования в сборнике научных статей Военной академии Республики Беларусь

Представляемые в редакцию статьи должны быть актуальными по содержанию, раскрывать проблемы военной теории и практики, предлагать пути их решения. Они должны содержать элементы новизны и анализа, иметь практическую направленность. Автор несет ответственность за точность цитируемого текста и ссылки на источник, а также за то, что в материалах нет данных, не подлежащих открытой публикации.

Текст статьи (в рукописном и электронном вариантах), выписка из протокола заседания кафедры (подразделения) с рекомендацией к опубликованию и экспертное заключение о возможности опубликования в открытой печати направляются в секретариат редколлегии.

Требования к оформлению статей:

объем – не более 5 страниц формата А4;

поля – 2 см;

текстовый редактор – Word for Windows версии 6.0 или выше;

высота символов – 12 pt, межстрочное расстояние – 1 интервал, шрифт – Times New Roman Cyr.

Текст статьи должны предварять: название (по центру, полужирный шрифт, прописные буквы); УДК (ниже заглавия слева); инициалы и фамилия автора (ниже заглавия справа); аннотация на русском и английском языках (курсив, 100–150 слов).

На обороте последней страницы статьи необходимо указать фамилию, имя, отчество автора, подразделение (организацию), номер контактного телефона.

Материалы, не отвечающие требованиям по содержанию и оформлению, редколлегией не рассматриваются.

СБОРНИК НАУЧНЫХ СТАТЕЙ ВОЕННОЙ АКАДЕМИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

№ 21

СОДЕРЖАНИЕ

1. Военные науки

Вервейко Б. М., Гульбис С. К. Подход к разработке концептуальной модели системы управления Вооруженных Сил и оценки ее функционирования в операции.....	3
Гременок А. Ф., Сагун В. Б. Миротворчество в современных условиях.....	15
Силенок А. А. Истребительно-авиационное прикрытие региональной группировки войск (сил): тактические и методические аспекты совершенствования.....	20
Избаш М. Ю. Формирование модели группировки войск противника в ходе огневого поражения в операции и оценка ее достоверности.....	27
Гринюк В. И., Богодель А. П. Проблемы позиционной обороны в современных условиях.....	35
Германович И. П., Акулич С. В. Подход к принятию решения при противодействии средствам радиолокационной разведки космического базирования.....	42
Цыганков В. Н., Долудо С. В. О методе оценки эффективности работы ремонтно-восстановительных подразделений автомобильной техники отдельной механизированной бригады.....	51
Богданов Д. Ю. Проблемы применения существующих моделей оптимизации, используемых при планировании материального обеспечения войск в ходе боевых действий, и способы их решения.....	56
Железняков А. В., Алиев К. Е. Особенности организации взаимодействия органов внутренних дел и внутренних войск министерства внутренних дел Республики Казахстан.....	64
Лебедин А. В., Белоконев О. А., Богданов С. В. Ретроспективный анализ опыта ведения партизанских действий в современных условиях.....	69

2. Технические науки

Неборская Н. Н. Структура имитационной модели для исследования эффективности аэрозольного противодействия оптическим средствам разведки противника	74
Берикбаев В. М., Крупин Н. В., Москвин Г. А. Имитационная модель боевого применения ударного вертолета.....	79
Гринкевич В. И. Обоснование требований к организации контроля технического состояния объектов радиоэлектронной техники при техническом обслуживании малой периодичности.....	85
Лисейчиков Н. И., Желудок И. С., Хандошко С. Н. Обоснование плана перемещения боеприпасов с учетом партий между объектами их хранения.....	91

Ружечко А. В. Обеспечение оптимальных значений показателей экономичности хранения артиллерийского вооружения.....	96
Шматин С. Г., Мацкевич А. Н., Шматин А. С., Комяк А. В., Ватулин М. Е. Кодирование двумерных массивов информации в оптоэлектронных системах памяти.....	102
Шаболтиев В. В. Исследование характеристик беспроводной AD-НОС сети на основе имитационных моделей.....	107
Филиппович Г. А., Шашок В. Н., Белевич В. Ф. Широкополосный синтез на основе нарастающе-волновой аппроксимации функции передачи.....	114
Никитенок В. И. Быстрая непараметрическая проверка простой гипотезы относительно параметра экспоненциального распределения.....	120
Куренев В. А., Нуднов Е. В., Коротышевский А. А. Идентификация состояний системы с возможными нарушениями структуры.....	126

3. Гуманитарные науки

Курмашов А. Н., Жаксылыков Р. Ф. Некоторые тенденции профессиональной подготовки офицеров высшей квалификации Республики Казахстан.....	129
---	-----

1. ВОЕННЫЕ НАУКИ

ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ И ОЦЕНКИ ЕЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ В ОПЕРАЦИИ

УДК 6(075):519.8(075.8):355.1

Б. М. Вервейко, С. К. Гульбис*

Предлагается системное решение задачи формирования подхода к разработке концептуальной модели исследования эффективности функционирования системы управления Вооруженных Сил (ИЭФ СУ ВС).

The system decision of a task of formation of the approach to development of conceptual model of research of efficiency of functioning of a control system of Armed forces is offered.

Введение

Развитие теории и практики управленческой деятельности органов военного управления (ОВУ) предполагает использование ими систем математического моделирования боевых действий [1] и, в частности, исследование эффективности функционирования (ИЭФ) системы управления Вооруженных Сил (СУ ВС) при подготовке и в ходе военных (боевых) действий (далее – операций) [2]. Одной из важных целей ИЭФ является определение рациональной организации и прогноза влияния функционирования СУ ВС на ход и исход управления операцией ВС в широком диапазоне условий обстановки. Достижение указанной и других целей ИЭФ [3] требует разработки моделей СУ ВС и ее функционирования в условиях неопределенности как сложной организационно-технической системы. В связи с этим исследование процесса моделирования, построение и изучение соответствующих моделей и на их основе программных средств является актуальным.

Анализ моделей социально-экономических систем, результатов оценки функционирования СУ ВС как сложных организационно-технических систем (СОТС) в ходе научно-исследовательских работ [3–7] отчетливо показал, что:

весь процесс моделирования необходимо представлять рядом системно осуществляемых этапов;

наиболее важными для достижения качества конечного результата моделирования – создания программного средства ИЭФ – целесообразно считать начальные этапы, содержанием которых являются последовательно разрабатываемые: содержательная модель (С-модель); концептуальная модель (К-модель); математическая модель (М-модель).

Основными причинами проблем при разработке М-модели как основы будущего программного средства ИЭФ могут быть: недостаточное качество подготовки и взаимодействия военных специалистов и постановщиков задач ИЭФ в предметной области военного управления; отсутствие системного подхода; некачественная разработка С-модели; отсутствие К-модели; недооценка влияния особенностей СУ ВС, ее функционирования; нарушение целостности отображаемых свойств; некорректный выбор методов исследования [1, 3, 7].

Анализ методологических основ моделирования эффективности СУ ВС, изложенных в работах [1–8], показал, что для устранения причин проблем при разработке М-модели требуется промежуточный этап в виде строгого логического, теоретико-множественного знакового описания информации о предметной области реальной СУ ВС на основе С-модели. Содержанием этого описания ВС, группировки войск (сил) противника (ГВ (С) П), СУ ВС, ее подсистем в терминах теории систем, теории военного управления, логики, других предметных областей являются: цели, задачи; их состав и главные взаимосвязи; структура; свойства; факторы внутренней и внешней среды; процессы функционирования; показатели, критерии ИЭФ; возможные состояния. Эти требования и теоретико-

множественное знаковое описание предметной области реальной СУ ВС принято реализовывать в К-модели [6, 9].

В данной статье предлагается системное решение задачи формирования подхода к разработке К-модели при ИЭФ СУ ВС, что является дальнейшим развитием методологических основ исследования эффективности СУ ВС на этапе моделирования, изложенных в работах [1–8].

1. Постановка задачи, формирование исходных данных концептуальной модели СУ ВС и оценки ее функционирования в операции

Считаем, что операция ВС проводится в системе противоборствующих сторон: ВС – S_0 и ГВ (С) П – $S_{пр}$. Исследуемые уровни управления: стратегический, оперативно-стратегический, оперативный, оперативно-тактический, тактический обозначаются $i = 1 \dots 5$, соответственно. Состав задействованных в операции воинских формирований a_{ij} ВС известен, $j = 1, 2, \dots, J$. Каждое из a_{ij} включает подсистему управления S_k , $k = 1, 2, \dots, K$ и подчиненные ей объекты управления, объединенные в СУ ВС – $S_{СУ} = \{S_k, k = 1, 2, \dots, K\}$. Вместе СУ ВС и система объектов управления ВС образуют иерархическую структуру ВС. Известны структуры СУ ВС и ее подсистем управления S_k , $k = 1, 2, \dots, K$. Управление операцией ВС в сложившихся условиях обстановки осуществляет СУ ВС $S_{СУ}$. Имеется вариант структуры противостоящей ГВ (С) П с аналогичными характеристиками ее воинских формирований $a_{прig}$, $g = 1, 2, \dots, G$ и системы управления $S_{пр}$.

Известны также типовые задачи управления $X(t) = \varphi(t)$, методы управления, условия применения, функционирования; свойства СУ ВС $\Psi_{СУ}$; воздействия противника $\Psi_{пр}$, других факторов внешней среды $\Psi_{вн.с}$, системы $S_{вн.с}$; используемые ресурсы R_x . Считается, что неопределенность условий обстановки в операции обуславливается воздействиями указанных выше факторов.

Порядок разработки С-модели, являющейся вариантом сценария, исходных данных и знаний об операции противоборствующих сторон на естественном языке, достаточно хорошо известен [4, 6, 7], апробирован авторами на практике применительно к разработке модели СУ ВС в работе [6], что позволяет при разработке К-модели использовать структуру данных и знаний, полученную ранее и представленную в таблице 1.

Принято, что в условиях неопределенности достижение целей Z_{ij} операции ВС S_0 при управлении СУ ВС $S_{СУ}$ достигается управлением воинскими формированиями a_{ij} при выполнении ими некоторой пространственно-временной последовательности частных задач (ПВБЗ $_{ij}$), обеспечивающих поражение воинских формирований $a_{прig}$ противостоящей ГВ (С) П $S_{пр}$ – с целями $Z_{прig}$, $g = 1, 2, \dots, G$. Среди них выделяются ПВБЗ $_{ijn}$, $n = 1, 2, \dots, N$, результаты которых оказывают решающее влияние на ход выполнения операции ВС, а выполнение требует высокой активности функционирования систем управления противодействующих сторон [6]. Эти ПВБЗ $_{ijn}$ относят к так называемым узловым точкам, в которых и определяется эффективность функционирования СУ ВС (в UT_n), ее подсистем (в UT_{ijn}). Поэтому типовые задачи управления $\varphi(t)$, методы управления ОВУ, циклы управления $G_{цн}$ ($n = 1, 2, \dots, N$) СУ ВС, циклы $G_{цкн}$ ее подсистем S_k , $k = 1, 2, \dots, K$ должны координироваться по отношению к UT_n , UT_{ijn} соответственно. В процессах управления ПВБЗ $_{ijn}$ в UT_{ijn} участвуют не все подсистемы СУ противоборствующих сторон, а лишь отдельные, в соответствии с целью операции. Процессы непосредственного функционирования (циклы управления) СУ и ее подсистем синхронизируются по времени в UT_{ijn} , обеспечивая организацию и управление ВС в операции.

Таблица 1 – Вариант структуры данных и знаний в составе К-модели

Обозначение	Используемые данные, знания
$УОП_{ij}$	Уровень оперативной подготовки ОВУ A_{ij}
$УСС_{ij}$	Устойчивость к стрессовым ситуациям ОВУ A_{ij}
$МЕТ_{ij}$	Методы работы, способы применения ОВУ A_{ij}
$S_{пу}$	Площадь пункта управления $B = \{B_{ij}\}$
q_{ij}	Координаты φ, Λ места действия a_{ij} (СУ ВС, ее подсистем, ПУ, его элементов)
$Q = q_i\{\varphi, \Lambda\}, i = 1 \dots N$	Вектор конфигурации, размеров, координат $B = \{B_{ij}\}$
t_{ij}	Время действия (цикл управления) воинского формирования ВС a_{ij}
$t_{прог}$	Время действия (цикл управления) воинского формирования противника $a_{прог}$
φ^t	Временная структура типового цикла управления СУ ВС, подсистем
P_{ij}	Показатели внутренних свойств: $S_{су}$; S_k ; типовой подсистемы – S_{ij} ; ПУ – B_{ij}
W_{ij}	Факторы внешней среды, воздействующие на $S_{су}$, S_k , S_{ij} , B_{ij}
$ОП_{прог}$	Огневое поражение противником $S_{су}$, S_k , S_{ij} , B_{ij}
$РЭБ_{прог}$	Средства радиоэлектронной борьбы противника с $S_{су}$, S_k , S_{ij} , B_{ij}
$ДР_{прог}$	Действия разведки, диверсионных групп противника для подавления $S_{су}$, S_k , S_{ij} , B_{ij}
$ПВО_{ij}$	Факторы, связанные с прикрытием $S_{су}$, S_k , S_{ij} , B_{ij} силами и средствами ВВС и войск ПВО
$ОУ_{ij}$	Огневые удары по системе управления $S_{пр}$ противника
$РЭБ_{ij}$	Факторы, связанные с прикрытием $S_{су}$, S_k , S_{ij} , B_{ij} силами и средствами РЭБ специальных войск ВС
$ДР_{ij}$	Факторы, связанные с прикрытием $S_{су}$, S_k , B_{ij} силами и средствами сил специальных операций ВС
$МАС_{ij}$	Силы и средства маскировки объектов ВС и $S_{су}$, S_k , S_{ij} , B_{ij}
L_{ij}	Логическое условие реализации целей, свойств, действий, мероприятий, состояний $S_{су}$, S_k , S_{ij} , B_{ij}
$ЗК_{ij}$	Закономерности процессов в операции при осуществлении ПВЕЗ $S_{су}$, S_k , S_{ij} , B_{ij}
$H_{су}$	Состояние СУ ВС $S_{су}$ в операции ВС с противоборствующей операцией ГВ (С) П
N_{ij}	Результат, достигнутый формированием a_{ij} после реализации стратегии u_{ij}

На основе проблемного анализа, выполненного выше, для разработки К-модели СУ ВС $S_{су}$ представим ее в структуре надсистемы ВС – S_0 , используя кибернетический подход [9], в виде элемента обобщенной схемы, представленной на рисунке 1.

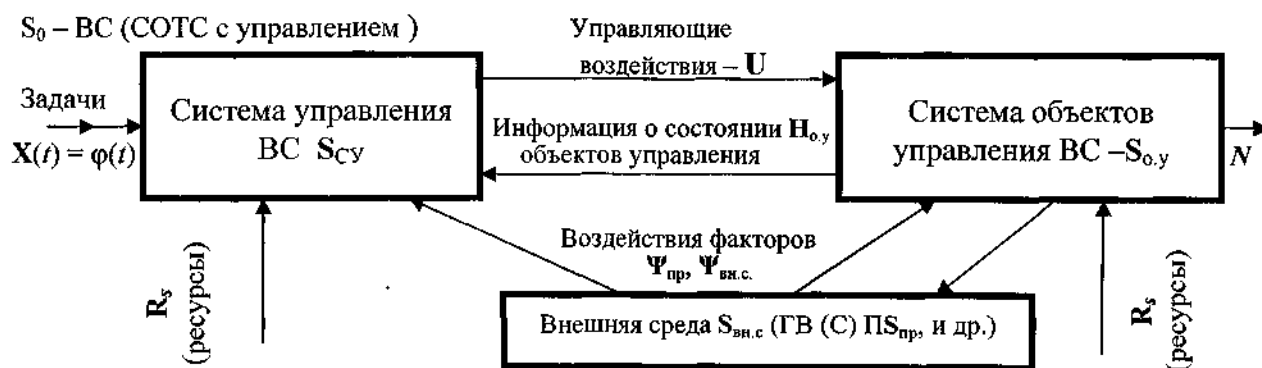


Рисунок 1 – Обобщенная модель Вооруженных Сил как боевой системы (модель противоборствующих боевых систем)

Структура S_0 модели ВС (рисунок 1) отражает кибернетический принцип ее построения, состав, общие контуры управления СУ ВС, границы входящих подсистем. В самом общем виде структуру S_0 , изображенную на рисунке 1, зададим выражением

$$S_0 = \langle S_{СУ}; S_{о,у}; S_{вн.с} \rangle, \quad (1)$$

где $S_{СУ}$ – иерархическая К-модель СУ ВС; $S_{о,у}$ – иерархическая К-модель объектов управления ВС; $S_{вн.с}$ – иерархическая К-модель объектов внешней среды,

Для решения задачи разработки К-модели $S_{СУ}$ выделим из (1) и представим СУ ВС совокупностью функционально взаимосвязанных, при необходимости рассредоточенных в пространстве военных действий, подсистем (элементов)

$$S_{СУ} = \{S_k, k = 1, 2, \dots, K\} = \{A; B; C; D; E\}, \quad (2)$$

где S_k – некоторая структура подсистем, входящих в $S_{СУ}$; $A = \{A_{ij}\}$ – подсистема ОВУ; $C = \{C_{ij}\}$ – подсистема связи (СС); $D = \{D_{ij}\}$ – подсистема комплексов средств автоматизации (СКСА); $E = \{E_{ij}\}$ – подсистема защиты информации, специальная подсистема (СЗИ); организационно-технические подсистемы $A; B; C; D; E$ содержатся в соответствующей ij -й подсистеме пунктов управления (командных, запасных командных, тыловых пунктов) (ПУ) – $B = \{B_{ij}\}$. Пункт управления B_{ij} с контурами управления образует элементарную j -ю подсистему управления S_{ij} i -го уровня.

Построение объективной К-модели $S_{СУ}$ требует дальнейшей структуризации моделей (1) и (2), выявления, теоретико-множественного описания данных и знаний, содержащихся в С-модели.

К-модель должна учитывать воздействия как противника, так и других факторов внешней среды, порождающих условия неопределенности в обстановке и неполноту информации ее состояния (таблица 1).

Процессы информационного взаимодействия системы управления $S_{СУ}$ с системой объектов управления $S_{о,у}$ и внешней средой $S_{вн.с}$ задаются в структуре S_0 .

Принятие допущения о ПВБЗ_{ij} позволяет анализировать результаты декомпозиции моделей (1) и (2) как дискретных в UT_{ijn} , упростить К-модель при концептуальном анализе, сократить объем вычислений в будущей М-модели.

На основе сформулированных постановки задачи, варианта исходных данных и знаний, допущений и ограничений в дальнейшем будет получена $S_{СУ}$ – иерархическая К-модель СУ ВС (2) при управлении ВС в операции. Ее разработка выполняется на основе положений концептуального анализа [6, 9], систематизированных и адаптированных для решаемой задачи.

2. Содержание концептуального анализа и правила создания К-модели

Под концептуальным анализом СУ ВС будем понимать фазу исследований С-модели, обеспечивающих системное построение К-модели.

Анализ и систематизация общих положений работ [4, 7, 9], использование опыта моделирования [6] позволили предложить порядок концептуального анализа при выявлении варианта данных и знаний о реальной СУ ВС, ее подсистемах и правила построения К-модели с учетом цели моделирования (см. таблицу 1). Порядок и правила создания К-модели приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Порядок и правила создания К-модели

Выявление данных и знаний в ходе концептуального анализа	Правила построения К-модели
1. О целях и задачах исследования и функционирования СУ ВС – S_{cy} в составе ВС в операции применительно к наиболее важным $ПВБЗ_{ijk}$ и соответствующим им $УТ_{ijk}$.	Цели исследования, законы, закономерности, структура системы, подсистемы, элементы, информационные аспекты функционирования, параметры, факты, факторы, ограничения, критерии, условия обстановки, области их изменения и действия должны отражаться в К-модели СУ ВС, если они имеются в реальной системе
2. О структуре S_{cy} подсистем S_k , $k = 1, 2, \dots, K$, S_{ij} , элементов B_{ij} , при функционировании в составе надсистемы ВС S_0	Все подсистемы, элементы, задействованные в К-модели, описываются с одинаковой степенью детализации с использованием кибернетического подхода
3. О связях r_{ij} между подсистемами S_k , S_{ij} , элементами B_{ij} системы S_{cy}	При создании К-модели для описания структуры используются графы, вершины которых соответствуют пунктам управления, а ребра – типам связей между ними
4. О границах систем S_{cy} , $S_{0,y}$, подсистем S_k , $k = 1, 2, \dots, K$, S_{ij} , элементов системы B_{ij} , при функционировании в составе надсистемы ВС	Конкретизация цели функционирования СУ ВС выполняется исходя из цели применения надсистемы; упрощение К-модели возможно принятием допущения о дискретной последовательности решаемых пространственно-временных боевых задач ($ПВБЗ_{ijk}$) ВС
5. О функционировании СУ ВС, подсистем, элементов в условиях стохастической или нестохастической неопределенности	В ходе концептуального анализа допускается выделение существенных и не учет относительно несущественных компонент СУ ВС, подсистем, пунктов управления, их свойств
6. О составе свойств и их показателей, обеспечивающих целостность для СУ ВС, подсистем, элементов	С максимальной степенью детализации представляется лишь та информация, которая необходима для достижения цели моделирования
7. О механизме синхронизации внутренних состояний системы и внешней среды	Управление выполнением $ПВБЗ_{ijk}$ ВС на уровне $i = 1$ выполняется СУ ВС. Для обозначения ее структуры примем обозначение S_{cy} . На других уровнях $i = 2 \dots 5$ управление производится подсистемами S_k , S_{ij} .
8. О внешних и внутренних факторах, воздействующих на систему S_{cy} , подсистемы S_k , $k = 1, 2, \dots, K$, S_{ij}	Структуры S_{cy} , S_k , S_{ij} строятся в соответствии с составом и связями воинских формирований группировки ВС, задействованных при выполнении тех или иных $ПВБЗ_{ijk}$
9. О состояниях H_{ij} СУ ВС, подсистем S_k , $k = 1, 2, \dots, K$, элементов системы B_{ij} при функционировании в операции	Выявляются ограничения для К-модели S_{cy} , связанные с выбором моделируемых подсистем и элементов, их свойств, состояний и закономерностей, полнота их представления в К-модели обеспечивает ее адекватность
10. О размерности модели СУ ВС и подсистем, критериях ИЭФ (уровнях функционирования)	К-модель S_{cy} строится на основе требований процессов функционирования, управления, боевых процессов, процессов внешней среды [9] и предполагает преобразование входных воздействий $X(t)$ (типовой задачи управления) в выходные управляющие воздействия U с учетом воздействия факторов внешней среды $\Psi_{пр}$, $\Psi_{вн.с}$ и внутренних факторов Ψ_{cy} . Правило является основополагающим при решении задачи ИЭФ

Предлагаемый порядок и правила создания К-модели для принятой постановки задачи позволяют выявить необходимые для этого данные, знания и представить модели S_{cy} (2), ее подсистем S_k , элементов A_{ij} , B_{ij} , C_{ij} , D_{ij} , E_{ij} в виде структуры типовых взаимосвязанных моделей и составляющих их агрегатов определения показателей свойств.

3. Подход к решению задачи создания концептуальной модели СУ ВС

Содержание подхода и последовательность решения задачи создания концептуальной модели СУ ВС, $S_{СУ} = \{A; B; C; D; E\}$ (2) на основе приведенной выше постановки заключается в системном применении к С-модели порядка и правил концептуального анализа, предложенных в таблице 2. При этом считаем, что каждый $B_{ij}\{A_{ij}, C_{ij}, D_{ij}, E_{ij}\}$ при наличии контуров управления образует элементарную типовую подсистему S_{ij} . Ее использование позволяет создать как К-модель СУ ВС $S_{СУ} = \{S_{ij}\}$, так и любую частную К-модель некоторого объединения $S_k = B^k_{ij}\{A^k_{ij}, C^k_{ij}, D^k_{ij}, E^k_{ij}\}$ ($i=1 \dots 5, j=1, 2, \dots, J$) при управлении выполнением некоторой ПВБЗ $_{ijn}$ в соответствующей УТ $_{ijn}$ или для их последовательности. Данное утверждение обосновывается действием закона о единстве сущности, содержания и критериев (показателей) эффективности военного управления на всех уровнях [9].

Использование выявленных данных о целях, задачах, составе $S_{СУ}$ и S_k , о связях r_{ij} , между B_{ij} , их протяженности l_{jm} , процессах функционирования при управлении наиболее важными ПВБЗ $_{ijn}$ в УТ $_{ijn}$ позволяет задать структуру $S_{СУ}$ для К-модели в виде графа

$$G_{стр} = G(\mathbf{B}, \mathbf{R}, \mathbf{L}). \quad (3)$$

Вершины графа $\mathbf{B} = \{B^k_{ij}\}$ соответствуют пунктам управления B^k_{ij} , а ребра $\mathbf{R} = \{r_{ij}\}$ – связям между ними. Наличие или отсутствие связей вершин $B_{ij}\{A_{ij}, C_{ij}, D_{ij}, E_{ij}\}$ К-модели $S_{СУ}$ в общем виде представим матрицей смежности

$$R_{от} = \begin{vmatrix} 0 & r_{12} & \dots & r_{1\mu} & \dots & r_{1I} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ r_{i1} & r_{i2} & \dots & r_{i\mu} & \dots & r_{iI} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \dots & \dots & \dots & r_{I\mu i} & \dots & 0 \end{vmatrix}. \quad (4)$$

Логические связи \mathbf{L} являются совокупностью линий l_{jm} , соединяющих абонентские пары p_m (вершины B_{ij}), ($m=1 \dots M$). Выражение (4) задает структуру контуров $S_{СУ} = \{S_{ij}\}$, $S_{СУ} = \{S_k\}$, где $S_k = B^k_{ij}\{A^k_{ij}, C^k_{ij}, D^k_{ij}, E^k_{ij}\}$ при управлении ВС в операции. Использование выражений (3), (4) позволяет с требуемой полнотой отразить любые состав и связи реально существующей СУ ВС, а модифицируя (4), учесть динамику изменения ее структуры в ходе функционирования.

Пример варианта структуры К-модели $S_{СУ} = \{S_k\}$ в виде обобщенного графа $G(\mathbf{B}, \mathbf{R})$ для $i=1 \dots 5$ приведен на рисунке 2.

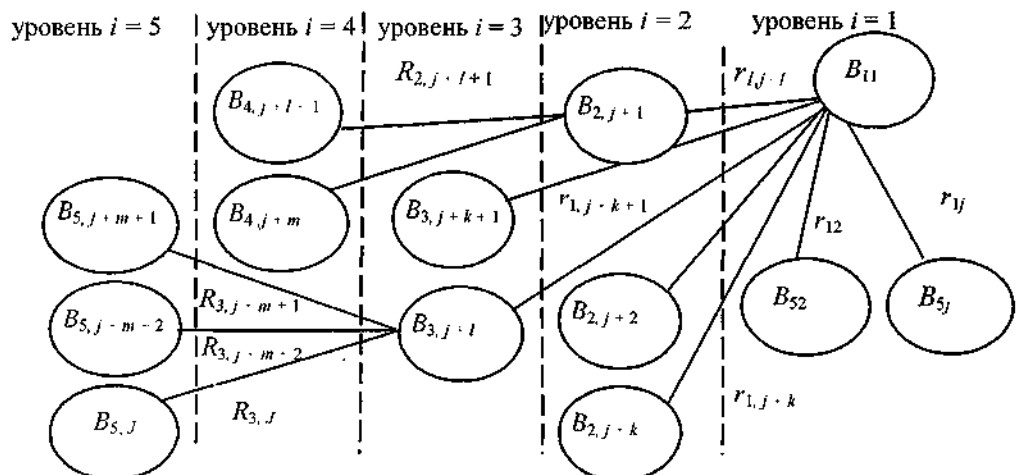


Рисунок 2 – Физический граф $G(\mathbf{B}, \mathbf{R})$ варианта иерархической пятиуровневой К-модели $S_{СУ}$

Из рисунка 2 видим, что наличие типовой К-модели S_{ij} для B_{ij} позволяет образовать как полную структуру К-модели $S_{cy} = \{S_{ij}\}$, так и любую промежуточную $S_k = B_{ij}^k \{A_{ij}^k; C_{ij}^k; D_{ij}^k; E_{ij}^k\}$, $k = 1, 2, \dots, K$, обеспечивающую достижение некоторой цели Z_{ij} .

В общем случае принято считать [5], что сложная организационно-техническая система (1)–(4) функционирует в условиях нестохастической и стохастической неопределенности из-за неполноты информации о состоянии СУ ВС, объектов управления, внешней среды, трудностей учета воздействий человеческого фактора. При создании К-модели принято допущение, что она функционирует в условиях стохастической неопределенности. В этом случае отображение процессов функционирования К-модели S_{cy} должно осуществляться в вероятностном пространстве [6]. В нашем случае оно задается выражением

$$\Omega = (H_{cy}, \Psi_{cy}, P_{cy}), \quad (5)$$

где H_{cy} – пространство множества состояний S_{cy} ; Ψ_{cy} – подмножества свойств S_{cy} , входящих в множество H_{cy} ; P_{cy} – множество значений вероятностей (числовых функций), определенных на множестве H_{cy} . Процессы функционирования S_{cy} для условий нестохастической неопределенности, в частности целевой, подходы по ее учету с использованием теории нечетких множеств будут рассмотрены отдельно.

Состав свойств Ψ_{cy} в структуре К-модели S_{cy} зависит от полноты их представления в С-модели. Анализ публикаций по теории военного управления, теории построения системы военного управления, результатов моделирования [2, 3, 6, 8, 9, 11] показал, что для адекватной имитации достижения цели функционирования существующей СУ ВС носителями целостности может быть совокупность Ψ_{cy} взаимосвязанных свойств, таких как: Ψ_{br} – готовность (боевая готовность), Ψ_y – устойчивость, Ψ_o – оперативность, Ψ_c – скрытность, Ψ_{npr} – непрерывность.

Благодаря автоматизации на основе новых информационных технологий актуализируется учет при формализации и таких свойств СУ ВС, как качество используемых моделей, методик и алгоритмов управления – Ψ_m ; способность к децентрализованному управлению – $\Psi_{дц}$; управляемость – $\Psi_{л}$; обоснованность решения – $\Psi_{o,p}$; ресурсопотребление – Ψ_{rs} [6, 8, 11]. Таким образом, вариант состава свойств Ψ_{cy} , формирующих целостность СУ ВС (подсистем), можно представить как

$$\Psi_{cy} = \{\Psi_{br}, \Psi_y, \Psi_o, \Psi_c, \Psi_n, \Psi_m, \Psi_{дц}, \Psi_{л}, \Psi_{o,p}, \Psi_{rs}\}. \quad (6)$$

Считаем, что все комплексные свойства (6) в той или иной степени присущи каждой из подсистем S_{ij} , образуемых на основе любого из j -х ПУ B_{ij} , ($j = 1, 2, \dots, J$) на любом из уровней $i = 1 \dots 5$, но мера реализации для (6) различается в зависимости от условий обстановки. Концептуальный анализ С-модели реальной подсистемы с учетом (6) и необходимого условия целостности [6] позволил графически (рисунок 3) представить ее типовую модель S_{ij} в виде логически связанных агрегатов для определения вероятностных показателей свойств A_{ij} , B_{ij} , C_{ij} , D_{ij} , E_{ij} , где $\{C_{ij}; D_{ij}; E_{ij}\}$ объединены в систему обмена информацией (СОИ).

С учетом показателей (6) агрегатов типовой модели S_{ij} (рисунок 3), ее внутренне состояние будем характеризовать в вероятностном пространстве Ω (5) многомерным вектором вероятности пригодности состояния (уровнем функционирования) вида

$$P_{упр}^j = \left| \begin{array}{cccccccccccc} P_{brj} & P_{yj} & P_{oj} & P_{cj} & P_{nj} & P_{mj} & P_{дцj} & P_{лj} & P_{o,pj} & P_{rsj} \end{array} \right|, \quad (7)$$

где в правую часть выражения включены вероятностные меры проявления соответствующих свойств (6) типовой подсистемы S_{ij} .

Поскольку типовая К-модель S_{ij} (см. рисунок 3) является системообразующей, то результаты моделирования (7) могут использоваться при построении более крупных агрегатов К-модели: для любого планируемого числа подсистем S_k и в целом для СУ ВС $S_{cy} = \{S_k\}$ или $S_{cy} = \{S_{ij}\}$.

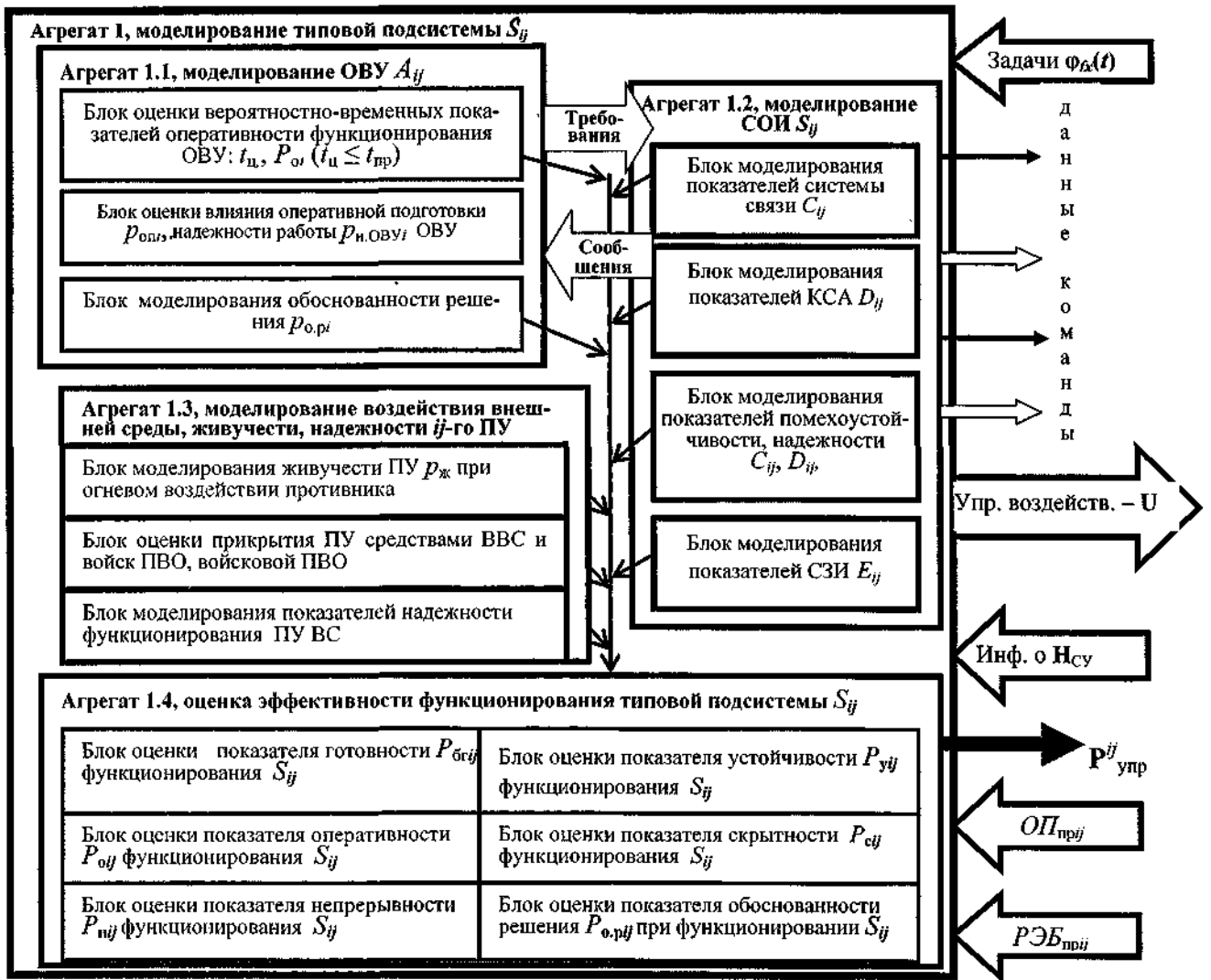


Рисунок 3 – Типовая К-модель S_{ij} в виде совокупности агрегатов показателей свойств (б) (упрощенный вариант)

Так, для оценки состояния СУ ВС $H_{cy} = \{H^n\}$, $n = 1, 2, \dots, N$ по уровню функционирования в UT_{ijn} , многомерный показатель в К-модели с учетом (7) характеризуется матрицей-строкой

$$P^{cy}_{упр} = [P^1_{упр} \quad P^2_{упр} \quad \dots \quad P^k_{упр} \quad P^{k+1}_{упр} \quad \dots \quad P^K_{упр}], \quad (8)$$

где $P^k_{упр}$, $k = 1, 2, \dots, K$ – вектор вероятностей пригодности состояния (уровня функционирования) СУ ВС в составе объединения некоторого числа подсистем $S_k = B^k_{ij} \{A^k_{ij}; C^k_{ij}; D^k_{ij}; E^k_{ij}\}$.

Многомерный показатель (8) уровня функционирования СУ ВС $P^{cy}_{упр}$ характеризует проявление совокупности свойств (6), присущих СУ ВС $S_{cy} = \{S_k\}$, и представляется во времени множеством значений вероятностей (числовых функций) $P^k_{упр}$, определенных на множестве H_{cy} (5).

Синхронизация показателей пригодности состояния (уровней функционирования) $S_{cy} = \{S_k\}$ и S_k , $k = 1, 2, \dots, K$, получаемых с использованием агрегатов (7), (8) в соответствии с последовательностью ПВБЗ $_{ij}$ в UT_{ijn} , осуществляется по времени. Для этого используется модель типового порядка работы должностных лиц (ДЛ) ОВУ в UT_{ijk} цикла функционирования в операции в виде

$$\varphi(t) = \{\varphi_{fx}\}, \quad (9)$$

где $f = 1, 2, \dots, F$ – начало очередной работы цикла, $x = 1, 2, \dots, X$ – ее окончание.

Структура значений времен типового цикла управления (9) для S_{ij} , $S_k\{B_{ij}\}$, $S_{cy} = \{S_k\}$ получена в обобщенном виде на основе анализа [2, 6, 9] как

$$\varphi^t = \{t_{c.б.у}; t_{o.o}; t_{y.z}; t_d; t_{б.з}; t_{д.н}; t_{o.у}; t_{пр.у}; t_{в.у}; t_{в.б.з}; t_{c.пз}; t_{в.б}; t_{д.г}\}, \quad (10)$$

где работы (9) характеризуются временем: $t_{c.б.у}$ – выдачи, обеспечения прохождения сигнала боевого управления о начале операции; $t_{y.z}$ – уточнения задачи; $t_{o.o}$ – оценки обстановки; $t_{y.z}$ – уточнения замысла; $t_{y.p}$ – уточнения решения; t_d – доклада решения старшему начальнику; $t_{б.з}$ – постановки уточненных боевых задач подчиненным; $t_{д.н}$ – доклада старшему начальнику о начале выполнения боевой задачи; $t_{o.у}$ – оперативного управления войсками в ходе выполнения боевой задачи; $t_{пр.у}$ – передачи управления с пораженного противником ПУ; $t_{в.у}$ – восстановления на ПУ нарушенного управления войсками; $t_{в.б.з}$ – доклада о выполнении боевой задачи; $t_{c.пз}$ – смены позиции воинского формирования; $t_{в.б}$ – восстановления боеспособности; $t_{д.г}$ – доклада о готовности к выполнению новой задачи. Продолжительность t_{fx} отдельных работ цикла ОВУ и продолжительности типового цикла $t_{ц.т}$ зависит от уровня $i = 1, 2, \dots, 5$ функционирования, изменения состояния $S_{ij}\{B_{ij}\}$, $S_k\{S_{ij}\}$, $S_{cy} = \{S_k\}$ под воздействием внутренних и внешних случайных факторов [7].

Сетевой граф, характеризующий типовой цикл управления с учетом (9), (10), можно задать как

$$G_{ц} = G(\varphi \supseteq B; \varphi^t \supseteq R), \quad (11)$$

где работы φ в типовом цикле (9) привязываются к соответствующим вершинам B (ij -му ПУ) (см. рисунок 2), а временные параметры (10) работ φ^t соотносятся с соответствующими ребрами R .

Показатели (6)–(10) формируются дискретно в течение цикла (11) в UT_{ijn} и используются для определения показателей внутренних свойств (6) и состояния H_{cy} . Изменение показателей внутреннего состояния (6)–(10) с учетом воздействия внешних факторов характеризует процесс функционирования СУ ВС, ее подсистем, элементов.

Концептуальная модель (1)–(11) будет неполно отображать динамику изменения состояния, если не учесть топологию СУ ВС, воздействие на нее внешних факторов, влияющих на боеготовность, мобильность, взаимозаменяемость, скрытность, защищенность, живучесть и устойчивость. Рассмотрим эти зависимости в общем виде и дополним ими К-модель.

Пространственное, в том числе значительно рассредоточенное расположение $q_i(\varphi, \Lambda)$ ij -х ПУ (их элементов: КЦМ, КУНГ, узлов связи, аппаратных и др.), СУ ВС, ее подсистем (φ, Λ – географические координаты границ площади $S_{пу}$ или центра ПУ), размеры $l(a, \vartheta)$, взаимное положение $q_{ij}(q_i, q_j)$, скорость $V_{пу}$ перемещения ПУ при моделировании учитываются в К-модели вектором

$$Q = \{q_i(\varphi, \Lambda); q_{ij}(q_i, q_j); S_{пу}; l(a, \vartheta); S_{рго}; V_{пу}\}, i = 1, 2, \dots, N. \quad (12)$$

Вектор (12) вместе с матрицей смежности (4) полностью характеризует топологию СУ ВС, подсистем и ПУ.

Учет влияния факторов внешней среды $\Psi_{пр}$, $\Psi_{вн.с}$ по отношению к СУ ВС в ее К-модели зададим матрицей $W_{вн.с}$ векторов W_{iz}

$$W_{\text{вн.с}} = \begin{pmatrix} W_{11} & W_{12} & W_{13} & W_{14} & W_{15} & W_{16} & W_{17} & W_{18} \\ W_{21} & W_{22} & W_{23} & W_{24} & W_{25} & W_{26} & W_{27} & W_{28} \\ W_{31} & W_{32} & W_{33} & W_{34} & W_{35} & W_{36} & W_{37} & W_{38} \\ W_{41} & W_{42} & W_{43} & W_{44} & W_{45} & W_{46} & W_{47} & W_{48} \\ W_{51} & W_{52} & W_{53} & W_{54} & W_{55} & W_{56} & W_{57} & W_{58} \end{pmatrix}. \quad (13)$$

Компонентами векторов W_{iz} в выражении (13) являются векторы показателей, характеризующих: огневое воздействие противника W_{i1} ; информационное воздействие (средств РЭБ) противника W_{i2} ; действия разведки противника по вскрытию объектов СУ ВС W_{i3} ; географические характеристики региона военных (боевых) действий W_{i4} ; время года, погоду W_{i5} ; прикрытие объектов СУ ВС силами и средствами ВВС и войск ПВО, другими средствами W_{i6} ; подавление радиоэлектронных средств противника W_{i7} ; маневренные действия противника W_{i8} ; $i = 1 \dots 5$ – уровень иерархии СУ ВС; $z = 1 \dots 8$ – номер учитываемого внешнего фактора. Каждая из подсистем S_{ij} , назначенная противником для воздействий средствами огневого поражения и РЭБ, представляется при оценке живучести как рассредоточенный групповой объект $S_{гг}$.

Таким образом, К-модель (1)–(13) при внутренних (6)–(12) и внешних факторах (13) позволяет определить состояние СУ ВС $H_{\text{СУ}}$ (ее подсистем, отдельных ПУ) в общем виде как

$$H_{\text{СУ}} = \{H^n\} = \{R; Q; P_{\text{упр}}^{\text{СУ}}; W_{\text{вн.с}}; \Phi^t\}, \quad (14)$$

где H^n – состояние СУ ВС в некоторой узловой точке $n = 1, 2, \dots, N$, соответствующей ПВБЗ $_{ijn}$.

Расчет параметров, характеристик (12)–(14) привязывается к узловым точкам. В зависимости от целей и задач ИЭФ в выражения (6)–(14) могут добавляться другие показатели (или обоснованно из них удаляться).

Оценка состояния $H_{\text{СУ}}$ (14) в ходе цикла функционирования СУ ВС при данной типовой задаче управления $X(t) = \Phi(t) = \{\varphi_{fk}\}$ (ее S_k, S_{ij}) при управлении ПВБЗ $_{ijn}$ выполняется дискретно в моменты времени t_n (в UT_n) в соответствии с К-моделью (1)–(14).

Необходимым условием пригодности состояния (14) $S_{\text{СУ}}$, полученного с использованием формальной модели (1)–(14), является условие, связанное с циклом Φ^t :

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{цт}} + \Delta t_{\text{ог}} + \Delta t_{\text{у}} + \Delta t_{\text{оп}} + \Delta t_{\text{к.с.а}} + \Delta t_{\text{с.с}} + \Delta t_{\text{д.в}} \leq t_{\text{пр}}. \quad (15)$$

Это означает, что время $t_{\text{ц}}$ цикла функционирования $S_{\text{СУ}}$ (подсистемы S_k, S_{ij}) (15) не должно превосходить время $t_{\text{пр}}$ выполнения действий противником. Очевидно, что время цикла $t_{\text{ц}}$ в процессе функционирования $S_{\text{СУ}}$ меняется и зависит от времени $t_{\text{цт}}$ выполнения типового цикла управления (10) и добавок времени, обусловленных влиянием на показатели оперативности изменения показателей других свойств: боеготовности – $\Delta t_{\text{ог}}$; скрытности – $\Delta t_{\text{сж}}$; устойчивости – $\Delta t_{\text{у}}$; обоснованности решения – $\Delta t_{\text{оп}}$; степени автоматизации – $\Delta t_{\text{к.с.а}}$; задержек информации в линиях связи – $\Delta t_{\text{с.с}}$ и других добавок времени $\Delta t_{\text{д.в}}$ по решению исследователя.

Условие (15) позволяет свести многомерные показатели (7)–(10) к одномерному, например к показателю оперативности при условии, что на другие показатели функционирования СУ ВС и ее подсистем можно наложить приемлемые ограничения. Так, для агрегата (7) оценка состояния по показателю оперативности приобретает в этом случае статус оценки по уровню функционирования и характеризуется выражением

$$P_{oj} = P(t_{uj} \leq t_{npj}) = \frac{1}{2} \left[1 + \Phi_0 \left(\frac{t_{npj} - \bar{t}_{uj}}{\sigma_{uj}} \right) \right] = P_{уп}^{ij}, \quad (16)$$

где $\Phi_0(\cdot)$ – функция Лапласа; \bar{t}_{uj} – среднее время цикла; σ_{uj} – среднеквадратическое отклонение времени цикла.

Возможны и другие способы решения многомерной задачи оценки пригодности состояния (14) [4, 5]. Однако решение этих задач относится к разработке М-модели и здесь не рассматривается.

Достаточное условие (критерий) пригодности состояния (14), как в одномерном, так и в многомерном случаях предполагает использование шкалы уровней функционирования [6]

$$\left. \begin{aligned} P_{уп1}^{тр} &\geq U_{f1} - \text{функционирование нормальное;} \\ U_{f2} &\leq P_{уп2}^{тр} \leq U_{f1} - \text{функционирование затруднено;} \\ U_{f3} &\leq P_{уп3}^{тр} \leq U_{f2} - \text{функционирование нарушено;} \\ U_{f4} &\leq P_{уп4}^{тр} \leq U_{f3} - \text{функционирование на грани срыва;} \\ U_{f5} &\leq P_{уп5}^{тр} \leq U_{f4} - \text{функционирование сорвано;} \\ P_{уп6}^{тр} &= U_{f5} - \text{функционирование отсутствует;} \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

где $P_{уп N}^{тр}$ – полученные при моделировании показатели уровня функционирования СУ ВС, $N = 1 \dots 6$; U_{fq} – заданные значения шкалы оценок, $q = 1 \dots 5$.

Выводы

Предлагаемый подход позволяет разработать вариант К-модели в соответствии с алгоритмом (1)–(17) для создания комплексной дискретной М-модели оценивания показателей эффективности функционирования СУ ВС в узловых точках, связанных с управлением наиболее важными для достижения цели ПВЕЗ ВС. Исследование эффективности функционирования СУ ВС как территориально рассредоточенной сложной организационно-технической системы при этом синхронизируется не только в пространстве, но и по времени цикла. Подход может использоваться при любом уровне автоматизации СУ ВС.

Основными результатами, способствующими развитию методологических основ ИЭФ СУ ВС на современном этапе моделирования, являются: порядок и правила создания К-модели; частная графическая К-модель типовой подсистемы управления; алгоритм (1)–(17) для разработки комплексной К-модели СУ ВС, ее подсистем, вариант структуры данных и знаний, которые должны присутствовать в С-модели. К-модель разработана в виде агрегативной иерархической динамической дискретной стохастической модели и представляет совокупность взаимодействующих агрегатов (2)–(14) в вероятностном пространстве состояний (5).

Отображение процессов функционирования СУ ВС в вероятностном пространстве (5), использование необходимого и достаточного условий пригодности состояния СУ ВС (15), (16) гарантирует выявление его соответствия требуемой эффективности функционирования

(уровню функционирования), необходимой для достижения цели в условиях стохастической неопределенности.

Создание К- и М-моделей ИЭФ СУ ВС предполагает использование методов теории графов, теории вероятностей, сетевого планирования и управления при случайных временах работ, исследования операций, теории массового обслуживания, имитационного моделирования, методов теории нечетких множеств.

Возможно использование К-модели (1)–(17) как этапа при разработке К-модели военных (боевых) действий ВС в виде (1) благодаря учету в ней пространственных, информационных и временных связей процессов функционирования, управления и боевых процессов системы противоборствующих сторон в операции.

Литература

1. Булойчик, В. М. Системный подход к формализации процессов боевых действий при создании моделирующих комплексов / В. М. Булойчик, В. К. Синявский // Наука и воен. безопасность. – 2008. – № 4. – С. 40–45.
2. Вервейко, Б. М. Оценка эффективности системы управления войсками / Б. М. Вервейко, С. К. Гульбис // Наука и воен. безопасность. – 2006. – № 4. – С. 13–19.
3. Вервейко, Б. М., Особенности моделирования системы управления Вооруженных Сил как сложной организационно-технической системы / Б. М. Вервейко, С. К. Гульбис // Наука и воен. безопасность. – 2010. – № 1. – С. 26–29.
4. Власов, М. П. Моделирование экономических процессов / М. П. Власов. – Ростов н/Д: Феникс, 2005. – 409 с.
5. Сирота, А. Компьютерное моделирование и оценка эффективности сложных систем / А. Сирота. – М.: Техносфера, 2006. – 280 с.
6. Вервейко, Б. М. Разработка формальной модели оценки эффективности функционирования системы управления: отчет о НИР «Оценка» / Б. М. Вервейко. – Минск: НИИ ВС РБ, 2008. – С. 125–196.
7. Вервейко, Б. М. Концептуальная модель исследования эффективности функционирования системы управления Вооруженных Сил / Б. М. Вервейко: материалы 4-й Междунар. науч. конф. по воен.-техн. проблемам, проблемам обороны, Минск, 20–21 мая 2009 г. / ГУ «БелИСА». – Минск, 2009. – С. 197–200.
8. Синявский, В. К. Возможный подход к оценке эффективности системы управления войсками (силами) / В. К. Синявский // Наука и воен. безопасность. – 2008. – № 2. – С. 13–18.
9. Вервейко, Б. М. Методологические основы исследования эффективности функционирования системы управления Вооруженных Сил / Б. М. Вервейко // Система управления Вооруженных Сил. Сущность, содержание, подходы к оценке эффективности ее функционирования: сб. докл. науч.-практ. семинара. – Минск: НИИ ВС РБ, 2008. – С. 28–60 с.
10. Методическое обеспечение военно-экономической оценки автоматизированных систем управления тактического звена / Ю. С. Сухоруков [и др.] // Воен. мысль. – 2007. – № 7. – С. 27–38.

*Сведения об авторах:
Вервейко Борис Михайлович,
Гульбис Сергей Карлович,
ГУ «Научно-исследовательский институт
Вооруженных Сил Республики Беларусь».
Статья поступила в редакцию 22.09.2011 г.

МИРОТВОРЧЕСТВО В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

УДК 355.4

А. Ф. Гременок, В. Б. Сагун*

В статье рассматриваются основы миротворческой деятельности как реального механизма предотвращения, урегулирования кризисных ситуаций и вооруженных конфликтов.

The article deals with the fundamentals of peacemaking as a real technique of prevention and settlement in crisis situations and armed conflicts.

Термины «миротворческая деятельность» или «операции Организации Объединенных Наций по поддержанию мира», которые воспринимаются сейчас как вполне обыденные и привычные, в Уставе ООН не упоминаются. Однако необходимо иметь в виду, что данный документ аккумулирует все принципы и механизмы, призванные обеспечить поддержание мира в рамках системы коллективной безопасности государств-участников.

Методы, применяемые для поддержания мира, были разработаны эмпирическим путем проб и ошибок с учетом того, что каждая из проводимых операций не похожа на предыдущую, и в каждой решались определенные задачи применительно к конкретным условиям и обстановке.

Об актуальности миротворчества говорят цифры и факты. В ноябре 2010 года ООН отметила 55-летие своей первой миротворческой операции (1956 год, Египет). С тех пор ООН провела более 60 миротворческих операций. В настоящее время осуществляется 15 операций по поддержанию мира и 12 политических миссий в странах Европы, Африки, Азии и Латинской Америки. По состоянию на 31 июля 2010 года общая численность персонала из 116 стран мира составила 127 401 чел. (из них «голубые каски» войск ООН – 82 897, военные наблюдатели – 2250, в составе полицейских сил – 14 065) [1].

Характер миротворческих операций определяется следующими факторами:

экономическим, социальным и политическим уровнем развития конфликтующих сторон и их внутриполитической обстановкой;

наличием внутригосударственных противостояний, вызванных прежде всего этноконфессиональными, этнотерриториальными и этнополитическими причинами;

наличием конфликтов между многочисленными вооруженными группировками внутри государств и действующими структурами власти;

причиной зарождения конфликта и этапа его прохождения на момент урегулирования международными организациями.

Наличие многих факторов, влияющих на характер миротворческой деятельности, обуславливает необходимость ее всестороннего изучения и исследования.

Принятие в ноябре 2003 года Закона № 254-З¹, внесение соответствующих изменений в действующее законодательство (Закон «Об обороне», Закон «О Вооруженных Силах Республики Беларусь») делают возможным участие наших граждан в миротворческой деятельности.

Принципиальной международно-правовой основой всей миротворческой деятельности является Устав ООН, а именно главы VI «Мирное разрешение споров», VII «Действия в отношении угрозы миру, нарушений мира и актов агрессии», VIII «Региональные соглашения». Следует отметить ст. 40, в соответствии с которой впервые в 1948 году были направлены военные наблюдатели ООН («голубые береты») на Ближний Восток и был создан Орган ООН по наблюдению за условиями перемирия в Палестине². С течением времени концепция

¹ «О порядке направления военнослужащих, лиц начальствующего и рядового состава органов внутренних дел, органов финансовых расследований комитета государственного контроля Республики Беларусь, органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям, прокурорских работников, а также гражданского персонала за пределы Республики Беларусь для участия в деятельности по поддержанию международного мира и безопасности».

² Резолюция СБ ООН № 50 от 29 мая 1948 года. В настоящее время во всем мире 29 мая отмечается как Международный день миротворцев ООН.

миротворчества развивалась и наполнялась новым содержанием. В 1956 году она была дополнена операциями ООН по поддержанию мира с применением вооруженных сил («голубых касок») стран-членов и были созданы первые Чрезвычайные вооруженные силы ООН (UNEF-I) на Ближнем Востоке [2].

В соответствии со ст. 24 Устава ООН именно Совет Безопасности несет главную ответственность за поддержание международного мира и безопасности, принимает решения о направлении миротворческих контингентов ООН, определяет круг задач этих сил и осуществляет политическое руководство операциями.

Миротворческие операции могут учреждаться решением Генеральной Ассамблеи ООН и региональными организациями, при этом определяющий критерий их легитимности – соответствие мандата требованиям Устава ООН, а применение силы, выходящее за рамки самообороны, ограничено сферой соответствующего географического охвата и обусловлено санкцией со стороны Совета Безопасности ООН [3].

В настоящее время миротворческие операции планируются и проводятся на основании следующих принципов [4]:

1. **Легитимность.** В основе ее лежит понимание того, что операция справедлива и отражает волю всего международного сообщества, а не какие-то частные интересы. Легитимность операции вытекает из факта ее учреждения и санкционирования Советом Безопасности, который несет ответственность за поддержание международного мира и безопасности.

2. **Ясный и осуществимый мандат.** Мандат операции по поддержанию мира определяется Советом Безопасности ООН. В нем должны ставиться ясные и реалистические цели с тем, чтобы операция по поддержанию мира, а также политическая и материальная поддержка, от которой она зависит, были целенаправленными и ориентированными на достижение общепринятых и согласованных целей.

3. **Постоянная и активная поддержка Совета Безопасности.** В ходе операции по поддержанию мира все ее участники исходят из того, что члены Совета Безопасности и другие государства-члены примут необходимые политические и дипломатические меры для поддержки Генерального секретаря, чтобы обеспечить выполнение решений Совета.

4. **Твердая решимость стран, предоставляющих войска,** предполагает постоянное и активное участие всех национальных контингентов в данной операции, особенно в обстановке нестабильности и опасности для жизни личного состава миротворческих сил.

5. **Согласие и сотрудничество.** В отличие от принудительных мер, операции по поддержанию мира не носят принудительного характера и требуют согласия и сотрудничества сторон в конфликте. Согласие – это требование правовое, а сотрудничество – это прежде всего практическое условие для того, чтобы можно было начать операцию и выполнить ее задачи.

6. **Беспристрастность и объективность.** Выполнение мандата должно быть беспристрастным, решительным и объективным, несмотря на провокации и противодействие. Важно, чтобы ни одна из сторон не получила несправедливым путем преимуществ в результате операции по поддержанию мира.

7. **Неприменение силы.** Военная сила может применяться только для самообороны воинских контингентов и гражданского персонала, участвующих в миссии по разрешению конфликта. Миротворцы всегда сохраняют за собой право на самооборону, а сила может применяться в качестве крайнего средства. Самооборона (в широком понимании) включает сопротивление попыткам насильственным путем помешать силам по поддержанию мира выполнить свои задачи, определенные мандатом Совета Безопасности.

8. **Единство.** Для того чтобы миссия ООН была эффективной, она должна функционировать как целостная структура, отражающая волю всего международного сообщества, особенно когда миротворческая операция осуществляется параллельно с крупной гуманитарной операцией или в целях ее защиты, поскольку в работе участвует целый ряд учреждений системы Организации.

Понятие *миротворческой деятельности* включает в себя превентивную дипломатию, установление мира (миротворчество – как самостоятельный сегмент миротворческих усилий), поддержание мира, принуждение к миру и миростроительство. Следует различать нюансы, поскольку эти понятия не являются набором технических приемов, применяемых один за другим, и могут быть востребованы на всех этапах урегулирования. Например, элементы поддержания мира и миростроительства требуются на этапе предотвращения конфликта, а также его урегулирования и разрешения [2].

В зависимости от складывающейся обстановки виды миротворческой деятельности тесно диалектически связаны между собой. Порядок этой взаимосвязи исходя из степени эскалации локализуемого конфликта представлен на рисунке.



Рассмотрим характерные черты каждой из операций и наиболее типичные условия для их проведения.

Превентивная дипломатия включает меры, направленные на предупреждение разногласий между сторонами, недопущение перерастания споров в военные конфликты и ограничение масштабов последних, если они все-таки возникли. В ее рамках предполагается более широкое использование мер по укреплению доверия, создание миссий по сбору фактов и систем раннего предупреждения об угрозах миру, использование демилитаризованных зон как превентивной меры и т. п. [4].

В наиболее напряженных ситуациях вооруженные силы могут оказать содействие превентивной дипломатии. Оно может заключаться в превентивном развертывании и размещении войск на границе или в зоне потенциального конфликта с целью продемонстрировать решимость и приверженность

мирному разрешению конфликта, одновременно подчеркивая готовность и способность при необходимости применить силу. Долгосрочное предотвращение конфликтов позволяет заняться структурными источниками конфликтов ради строительства прочного фундамента мира.

Установление мира применяется к возникшим конфликтам и имеет своей целью попытку остановить их с использованием инструментов дипломатии и посредничества, привести к согласию враждующие стороны, главным образом с помощью переговоров, посредничества, примирения, добрых услуг, арбитража и других мирных (невоенных) средств, предусмотренных в главе VI Устава ООН. Осуществляется все это политиками, дипломатами, видными общественными и государственными деятелями, представителями Генерального секретаря ООН.

Лица, занимающиеся установлением мира, могут быть посланниками правительств, групп государств, региональных организаций или Организации Объединенных Наций, либо они могут представлять неофициальные и неправительственные группы, как это было, например, в случае переговоров, приведших к мирному соглашению для Мозамбика. Установление мира может быть работой одного известного лица, действующего самостоятельно [5].

Роль вооруженных сил заключается в установлении и налаживании контактов между военными противоборствующих сторон, проведении учений, размещении войск и осуществлении других мероприятий, повышающих эффективность дипломатического процесса.

Поддержка мира предполагает проведение соответствующих операций с использованием военных наблюдателей, многонациональных вооруженных сил, миротворческих сил государств – членов ООН или государств – членов региональных соглашений. Эти операции должны обеспечивать соблюдение условий прекращения огня и разъединения сил уже после заключения соглашения о перемирии. В документах ООН они обычно определяются следующим образом: «Операция по поддержанию мира – это действия с участием военнослужащих, не имеющих права прибегать к использованию принудительных мер, предпринимаемые Объединенными Нациями с целью поддержания или восстановления международного мира и безопасности в районе конфликта». Для проведения операции требуются добровольное согласие и сотрудничество всех заинтересованных сторон. Задействованный в операции военный персонал выполняет поставленные задачи, не прибегая к силе оружия (кроме как в целях самообороны; в случае попыток со стороны отдельных лиц (групп) помешать миротворцам осуществлять задачи, оговоренные в мандате операции; для защиты гражданского персонала миротворческой миссии или других международных, региональных, общественных организаций, действующих в районе конфликта) [2, 4].

Миссия военных наблюдателей заключается в наблюдении за выполнением мирного соглашения, достигнутого противоборствующими сторонами, и информировании мирового сообщества через ООН о развитии ситуации в зоне ответственности. Они не действуют в отношении нарушений, просто наблюдают и сообщают о них [6].

Основными задачами вооруженных сил при проведении операции по поддержанию мира являются:

- контроль за соблюдением соглашения о перемирии и прекращении огня конфликтующими сторонами;
- контроль за отводом и разъединением сил противоборствующих сторон;
- контроль за разоружением и расформированием незаконных вооруженных формирований;
- контроль за обменом военнопленными;
- поддержание законности и правопорядка в районе проведения операции;
- организация и проведение переговоров между воюющими сторонами в целях снижения напряженности;
- содействие международным организациям в оказании гуманитарной помощи;
- разминирование местности;
- оказание помощи и содействие перемещенным лицам (беженцам).

В соответствии с перечисленными признаками к операции по поддержанию мира можно отнести действия Вооруженных сил ООН на Кипре с марта 1964 года, Кот-д'Ивуаре с апреля 2004 года, Гаити с июня 2004 года, Судане с марта 2005 года, Либерии с сентября 2003 года.

Операции по принуждению к миру – военные акции (форма вооруженного вмешательства, принятие принудительно-силовых мер) в поддержку дипломатических усилий по восстановлению мира, когда одна или несколько сторон конфликта не дают согласие на международное вмешательство при том, что между ними может существовать состояние войны, угрожающей международному (региональному) миру [2].

Принуждение к миру предполагает две формы: без использования вооруженных сил (экономические, правовые, финансовые санкции) и с использованием вооруженных сил

(ООН, региональных организаций безопасности или коалиций стран). Принуждение к миру не предполагает согласия враждующих сторон. В ходе операций по принуждению к миру вооружение и военная техника используются не только в целях самообороны, но и по прямому назначению: для уничтожения военных объектов, вооруженных группировок, препятствующих локализации конфликта, его урегулированию и разрешению. Подобные операции проводятся в рамках главы VII Устава ООН, предусматривающей принудительные действия, только с санкции Совета Безопасности ООН и под его контролем. При этом формы и способы действий войск существенно не отличаются от ведения обычных боевых действий [6].

Примерами принуждения к миру являются: операция многонациональных сил против Ирака, вторгшегося на территорию Кувейта в 1991 году; действия в Сомали в 1992–1993 годах; принуждение к миру Грузии в войне с Северной Осетией миротворцами России в августе 2008 года.

Миростроительство – термин, возникший не так давно и предполагающий постконфликтную деятельность (в том числе с участием вооруженных сил) в целях устранения причин конфликта и восстановления нормальной жизни. Миростроительство включает (но отнюдь не ограничивается этим) разоружение и реинтеграцию бывших комбатантов в гражданское общество, восстановление разрушенных в ходе конфликта экономических, общественно-политических, коммуникационных и иных структур, возвращение беженцев и перемещенных лиц, укрепление правопорядка (например, через подготовку кадров и реформирование структуры местной полиции, проведение реформ судебной и пенитенциарной систем), обеспечение соблюдения прав человека, оказание технической помощи в демократическом развитии, а также поощрение мирных методов урегулирования конфликтов, ликвидации причин и условий их возобновления [5].

Таким образом, знание и применение данной классификации миротворческой деятельности дает возможность правильно оценить развитие вооруженного конфликта с момента зарождения конфронтации до полной его локализации и перехода к мирной жизни. Это, в свою очередь, позволяет осуществлять контроль над складывающейся ситуацией, своевременно и адекватно действовать на всех этапах развития вооруженного конфликта.

Участие Беларуси в операциях по поддержанию мира отвечает национальным интересам государства и будет способствовать повышению авторитета нашей страны среди других государств – членов ООН, созданию благоприятных условий для осуществления внутренней и внешней политики.

Литература

1. Операции ООН по поддержанию мира [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.un.org/ru/>.
2. Заемский, В. Ф. Современные проблемы миротворческой деятельности ООН / В. Ф. Заемский [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.globalaffairs.ru/book/n_12063.
3. Устав Организации Объединенных Наций и Статут Международного Суда. – United Nations Department of Public Information, 1984.
4. Общие руководящие принципы операций по поддержанию мира / ООН, Департамент операций по поддержанию мира Секретариата ООН в Нью-Йорке. – 1995.
5. Доклад Группы по операциям ООН в пользу мира / A/55/305 – S/2000/809 от 21 авг. 2000 г.
6. Наставление по подготовке и проведению операций по поддержанию мира в Содружестве Независимых Государств: Штаб по координации военного сотрудничества государств – участников СНГ. – М., 1997. – С. 3–5.

*Сведения об авторах:

Гременок Анатолий Феликсович,

Сагун Виктор Борисович,

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 20.08.2011 г.

ИСТРЕБИТЕЛЬНО-АВИАЦИОННОЕ ПРИКРЫТИЕ РЕГИОНАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКИ ВОЙСК (СИЛ): ТАКТИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

УДК358.4

А. А. Силенок*

В статье раскрыты проблемы, обуславливающие разработку основных вариантов ввода в бой и поражения воздушного противника подразделениями и частями истребительной авиации в целях прикрытия региональной группировки войск (сил) на территории Республики Беларусь при отражении массированного ракетно-авиационного удара противника.

In the article the problems causing working out of the basic variants of input in fight and defeats of the air opponent by divisions and parts of fighter aviation with a view of cover of regional grouping of armies (forces) in territory of Byelorussia at reflexion of massed rocket-aviation blow of the opponent are opened.

Для Республики Беларусь успешно противостоять агрессии стран НАТО только своими Вооруженными Силами – задача трудновыполнимая. Поэтому согласно договору Союзных государств в угрожаемый период предусматривается создание региональной группировки войск (сил), состоящей из части Вооруженных Сил Республики Беларусь и части Вооруженных сил Российской Федерации. С началом военных действий региональная группировка основные усилия сосредоточит на отражении нападения противника, и прежде всего его первого массированного ракетно-авиационного удара (МРАУ). Общая продолжительность удара с момента пересечения средствами воздушного нападения (СВН) противника Государственной границы может составлять незначительное время. Такое построение СВН противника в условиях ограниченного количества истребительной авиации (ИА) Республики Беларусь и Российской Федерации требует согласованных и четких действий по месту и времени применения подразделений и частей ИА и организованного порядка ввода их в бой в целях наращивания усилий и поражения СВН противника во взаимодействии с зенитными ракетными войсками (ЗРВ) по наиболее опасным летательным аппаратам.

Для оценки эффективности их применения, разработки рациональных вариантов поражения воздушного противника ИА Республики Беларусь с привлечением истребительной авиации России для прикрытия региональной группировки войск (сил), других важных объектов на территории Республики Беларусь и необходимо иметь единую методику, позволяющую учитывать боевые возможности как подразделений и частей ИА Республики Беларусь и Российской Федерации, так и возможности взаимодействующих сил. В общем виде последовательность разработки рациональных вариантов ввода в бой и поражения воздушного противника включает формирование вариантов ввода в бой подразделений и частей ИА, оценку эффективности их действий по каждому варианту и выбор основных. Для получения количественных оценок соответствия вариантов ввода в бой необходимо выбрать и обосновать систему показателей и критериев оценки эффективности поражения воздушного противника.

1. Выбор системы показателей оценки эффективности поражения воздушного противника подразделениями и частями ИА

Основной принцип выбора показателя эффективности состоит в строгом соответствии цели действий решаемой задаче. В ходе отражения массированного удара воздушного противника цель ИА и зенитных ракетных частей (ЗРЧ) будет заключаться в создании благоприятных условий для действий региональной группировки войск (сил) и решении задачи по ее прикрытию от ударов и других действий воздушного противника путем нанесения ему поражения.

С учетом характера решаемой задачи для оценки эффективности боевых действий подразделений и частей ИА и ЗРЧ целесообразно использовать общие и частные показатели.

В качестве общего показателя оценки результатов поражения воздушного противника подразделениями и частями ИА при прикрытии войск и других важных объектов по вариантам действий, как известно, принята величина предотвращенного ущерба прикрываемым войскам и объектам.

Частные показатели:

математическое ожидание числа самолетов противника, не выполнивших боевую задачу;

математическое ожидание числа уничтоженных воздушных целей;

математическое ожидание числа скованных воздушным боем самолетов противника;

математическое ожидание числа пораженных своих истребителей в воздушных боях от наземных средств ПВО.

Для анализа качественной стороны процесса ввода в бой и поражения воздушного противника в систему показателей целесообразно также включить:

математическое ожидание числа истребителей, выполнивших боевую задачу по досягаемости ($M_{и.в.б.з}$);

математическое ожидание числа истребителей, своевременно введенных в бой на заданных рубежах ($M_{ирвб}$).

Выбранные показатели позволяют учесть влияние основных факторов и оценить степень соответствия вариантов поражения воздушного противника подразделениями и частями ИА предъявляемым условиям. При этом они восприимчивы к изменению условий, обеспечивают простоту и удобство вычисления результатов, отвечают основным требованиям, предъявляемым к критериям оценки вариантов поражения воздушного противника, а также позволяют обосновать пути повышения эффективности поражения противника подразделениями и частями ИА.

Однако вся совокупность принятых частных показателей оценки эффективности вариантов поражения воздушного противника не позволяет провести сравнительную оценку вариантов и оценить степень их влияния на достижение конечных результатов действий истребителей. Следовательно, необходим общий показатель, позволяющий учесть их совокупное влияние на поражение воздушного противника истребителей через требуемый результат. Таким показателем может быть степень достижения требуемого результата действий подразделений и частей ИА, введенных в бой для поражения воздушного противника по i -му варианту:

$$U_i = 1 - \frac{U_{пр.тр} - U_{досi}}{U_{пр.тр}},$$

где $U_{досi}$ – величина ущерба воздушному противнику, достигнутая по i -му варианту ввода в бой, и поражения противника подразделениями и частями ИА;

$U_{пр.тр}$ – величина ущерба воздушному противнику, требуемая для достижения целей выполнения боевой задачи.

Особенностью оценки эффективности вариантов поражения воздушного противника подразделениями и частями ИА при прикрытии региональной группировки войск (сил) по этому показателю является то, что он позволяет оценить не только результат действий ИА, но и результат совместных действий ИА с взаимодействующими силами и средствами ЗРВ. Кроме того, он позволяет оценить эффективность поражения воздушного противника силами ИА как в рамках рассматриваемой задачи, так и при выполнении других боевых задач. При этом требуемая величина ущерба, нанесенного воздушному противнику, устанавливается исходя из целей поставленной истребителям задачи.

На основе выбранных показателей целесообразно определить последовательность разработки рациональных вариантов поражения воздушного противника подразделениями и частями ИА (рисунок).

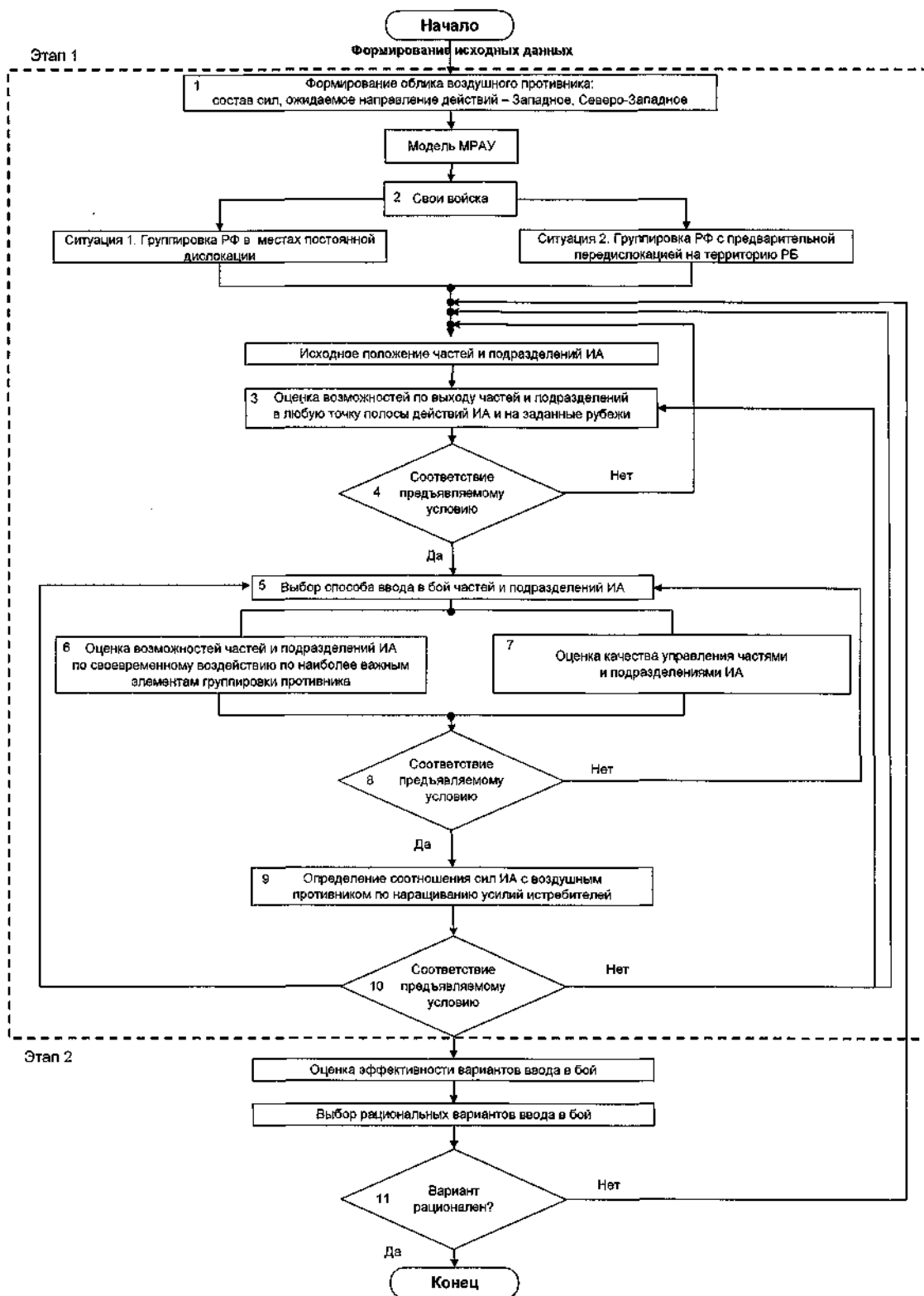


Рисунок – Последовательность разработки рациональных вариантов ввода в бой подразделений и частей ИА

Возможные варианты ввода в бой могут быть сформированы с учетом характера действий воздушного противника по следующим основным элементам:

1. Исходное положение подразделений и частей ИА.
2. Способ ввода в бой подразделений и частей ИА.
3. Соотношение сил ИА с воздушным противником.

2. Формирование вариантов ввода в бой и оценки эффективности вариантов поражения воздушного противника

Оценка эффективности вариантов поражения воздушного противника основана на последовательном расчете частных показателей эффективности и последующей оценке степени реализации боевых возможностей подразделений и частей ИА, достигнутой сформированным вариантом ввода в бой.

Порядок ввода в бой может определяться на основе известных способов, предусматривающих как одновременный, так и последовательный ввод в бой частей и подразделений из положения дежурства на земле и в воздухе. Выбор способов действий осуществляется для выполнения каждой конкретной частной боевой задачи, а содержание способов зависит от заданной степени поражения предполагаемых объектов действий, возможностей подразделений по нанесению поражения назначенным объектам (целям) и возможностей системы управления по одновременному управлению подразделениями и частями на земле и в воздухе.

Определяющими показателями в выборе способов действий по поражению воздушного противника являются располагаемое ($T_{расп}$) и потребное ($T_{потр}$) время, которые выражают или дефицит времени ($T_{расп} \leq T_{потр}$), или резерв ($T_{расп} > T_{потр}$).

Потребное и располагаемое время при вводе в бой из положения дежурства на земле и из зоны дежурства в воздухе могут быть определены из выражений

$$T_{потр} = t_{ком} + t_{пасс. \text{ аэр}} + t_{РВБ\text{аэр}(зоны)},$$

$$T_{расп.\text{аэр}} = T_{подл} - T_{потр} = T_{подл} - (t_{ком} + t_{зап} + t_{рул} + t_{взл} + t_{РВБ \text{ аэр}}),$$

$$T_{расп.\text{зоны}} = T_{подл} - T_{потр} = T_{подл} - (t_{ком} + t_{разв.ср} + t_{РВБ \text{ зоны}}),$$

где $t_{пасс.\text{зоны}} = t_{разв.ср}$ – продолжительность пассивного времени из зоны дежурства в воздухе, мин;

$t_{пасс.\text{аэр}} = t_{зап} + t_{рул} + t_{взл}$ – продолжительность пассивного времени при взлете с аэродрома, мин;

$t_{РВБ\text{аэр}(зоны)}$ – продолжительность полета истребителей после взлета (от зоны дежурства в воздухе) до заданного (потребного) рубежа ввода в бой, мин;

$T_{подл}$ – продолжительность полета воздушного объекта от момента обнаружения до выхода на рубеж применения АСП, мин;

$t_{ком}$ – продолжительность прохождения команды, мин;

$t_{зап}$ – продолжительность запуска двигателей, мин;

$t_{рул}$ – продолжительность руления от места стоянки до исполнительного старта, мин;

$t_{взл}$ – продолжительность взлета и сбора группы для ввода в бой, мин;

$t_{разв.ср}$ – среднее время разворота истребителей в зоне дежурства в сторону противника после получения целеуказания, мин.

До тех пор, пока $T_{расп} > T_{потр}$, т. е. имеется резерв времени, целесообразно выбирать способы действий из положения дежурства на земле, а величина резерва времени позволит ввести в бой на заданном рубеже некоторое количество истребителей (групп)

$$N = \frac{T_{\text{расп}} - T_{\text{потр}}}{\Delta t_{\text{взл}}}$$

Предлагаемая частная методика оценки эффективности вариантов поражения воздушного противника основана на последовательном расчете частных показателей эффективности и последующей оценке степени реализации боевых возможностей подразделений и частей ИА, достигнутой сформированным вариантом ввода в бой. Особенностью данной методики является то, что в отличие от традиционных методик эффективность вариантов оценивается на предмет соответствия предъявляемым к ним требованиям уже в процессе формирования вариантов по составляющим их элементам. Поэтому на конечном этапе по значению общего показателя оцениваются разработанные варианты и по максимальному значению предотвращенного ущерба, выбранному в качестве критерия, из них выбираются рациональные.

Расчет эффективности поражения воздушного противника подразделений и частей ИА может выполняться по алгоритму, содержание которого изложено ниже.

Суммарный результат воздушного боя подразделений и частей ИА с СВН противника определяется как сумма результатов действий вводимых в бой подразделений истребителей по j -му эшелону противника:

$$M_{\text{нвБЗ}j} = \sum_{i=1}^n M_{\text{нвБЗ}ji},$$

где $M_{\text{нвБЗ}j}$ – математическое ожидание не выполнивших боевую задачу СВН j -го эшелона противника после воздействия n подразделений истребителей;

$M_{\text{нвБЗ}ji}$ – математическое ожидание не выполнивших боевую задачу СВН j -го эшелона противника после воздействия i -го подразделения истребителей;

$i = 1 \dots n$ – количество подразделений, вводимых в бой по СВН j -го эшелона противника.

В целом частей ИА за бой

$$M_{\text{нвБЗ}} = \sum_{j=1}^k M_{\text{нвБЗ}j},$$

где $M_{\text{нвБЗ}}$ – математическое ожидание не выполнивших боевую задачу СВН противника после воздействия подразделений и частей ИА;

$M_{\text{нвБЗ}j}$ – математическое ожидание не выполнивших боевую задачу СВН j -го эшелона противника после воздействия истребителей;

$j = 1 \dots k$ – количество эшелонов МРАУ противника.

Суммарный результат боя сил и средств ПВО определяется по рассчитанным значениям математического ожидания числа уничтоженных СВН всех эшелонов

$$M_{\text{ПВО}} = \sum_{j=1}^k M_{\text{ПВО}j},$$

где $M_{\text{ПВО}}$ – математическое ожидание числа уничтоженных СВН из состава сил противника в МРАУ;

$M_{\text{ПВО}j}$ – математическое ожидание числа уничтоженных СВН из j -го эшелона противника;

$j = 1 \dots k$ – количество эшелонов МРАУ противника.

Результатом совместно действующих сил является величина предотвращенного ущерба, которая определяется как сумма математических ожиданий величин ущербов, нанесенных истребительной авиацией и зенитными средствами, отнесенная к общему количеству СВН в налете, и представляется в относительных единицах (процентах)

$$U = \frac{M_{\text{ПВО}} + M_{\text{нвБЗ}}}{N_{\text{оп}}} 100\%,$$

где $M_{\text{ПВО}}$ – математическое ожидание числа СВН, уничтоженных силами и средствами ПВО;

$M_{\text{нвБЗ}}$ – математическое ожидание числа СВН, не выполнивших боевую задачу в результате воздействия истребителей;

$N_{пр}$ – общее количество СВН, участвующих в МРАУ.

Выбирая рациональный вариант поражения воздушного противника подразделениями и частями ИА, необходимо максимизировать значения выбранных критериев оценки эффективности, рассмотренных выше. Но этого недостаточно, так как они не дают ответа на вопросы: достигнуто ли требуемое соотношение сил с воздушным противником, каковы цена и затраты сил ИА для достижения требуемого результата.

Величина суммарных потерь, понесенных истребителями в процессе ввода в бой, а именно потерь на аэродромах в результате блокирующих ударов противника, а также потерь при преодолении противодействия его средств ПВО сказывается на количестве введенных в бой истребителей, достижении требуемого соотношения сил с противником, а следовательно, на эффективности ввода в бой и поражения воздушного противника подразделениями и частями ИА.

Рациональным вариантом ввода в бой и поражения воздушного противника следует считать вариант, позволяющий достичь максимального результата совместных действий сил отражения при минимальных затратах и потерях сил ИА.

Из нескольких рациональных вариантов ввода в бой лучшим является тот, который позволяет достичь максимального значения величины предотвращенного ущерба.

Таким образом, предложенная методика позволяет учесть влияние факторов, оценить эффективность разработанных вариантов действий подразделений и частей ИА во взаимодействии с силами и средствами ПВО при прикрытии региональной группировки войск (сил) и выбрать рациональный из них по принятым показателям.

Предложенная методика может применяться в штабах истребительных авиационных баз и оперативно-тактических командований при подготовке к боевым действиям, а также в ходе боевой подготовки.

Литература

1. Ковалев, Г. А. Оперативное искусство ВВС и войск ПВО: учеб. пособие / Г. А. Ковалев. – Минск, 2008. – 76 с.
2. Силенок, А. А. Боевое применение авиации ВВС и войск ПВО в операциях оперативного командования: учеб. пособие / А. А. Силенок. – Минск, 2011. – 74 с.
3. Развитие научно-методического аппарата оценки боевых возможностей группировок ВВС и войск ПВО по отражению ударов средств воздушно-космического нападения противника: отчет о НИР (заключ.) / НИИ ВС РБ; шифр «Маркер-2»; рук. темы О. В. Гирис. – Минск, 2008. – Инв. № 2023.
4. Научное обоснование структуры системы моделирование военных действий, определение приоритетов при ее создании: отчет о НИР (заключ.) / УО «ВА РБ»; шифр «Модель-ПЗ», рук. темы В. М. Булойчик. – Минск, 2011. – Инв. № 4684.
5. Моделирование и оценка эффективности преодоления противодействия средств ПВО противника: учеб. пособие. – Монино: ВВА, 1996. – 128 с.
6. Сискетов, А. В. Разработка рациональных вариантов ввода в бой подразделений и частей истребительной авиационной дивизии: дисс. ... канд. воен. наук / А. В. Сискетов. – Монино, 1993. – 120 с.
7. Гавриков, В. А. Основы математического моделирования: курс лекций / В. А. Гавриков. – Монино: ВВА, 1995. – 192 с.
8. Горбунов, В. И. Разработка математических алгоритмов для оценки авиационных группировок сторон: отчет НИР / В. И. Горбунов; шифр «Интана-1». – Монино: ВВА, 1988. – 60 с.
9. Горбунов, В. И. Разработка модели планирования воздушного боя истребительного авиационного полка: дисс. ... канд. воен. наук / В. И. Горбунов. – Монино: ВВА, 1989. – 194 с.
10. Щепеткин, В. Т. Достижение высокой эффективности совместных боевых действий частей истребительной авиации с зенитными частями (соединениями) Сухопутных войск

при отражении массированных ударов воздушного противника в начальный период войны: дисс. ... канд. воен. наук / В. Т. Щепеткин. – Монино, 1993. – С. 189–190.

11. Теоретические основы моделирования боевых действий авиационных соединений, частей и подразделений: учеб. пособие / В. Н. Шубин [и др.] – Монино: ВВА, 1989. – С. 92–93.

12. Тактика ВВС. Моделирование и оценка эффективности боевых действий авиационных частей и соединений: учеб. пособие. – Монино: ВВА, 2004. – С. 316–318.

13. Справочник офицера ВВС и войск ПВО / под ред. И. П. Азаренка. – Минск, 2010. – 352 с.

*Сведения об авторе:

Силенок Алексей Аврамович,
УО «Военная академия Республики Беларусь».
Статья поступила в редакцию 09.09.2011 г.

ФОРМИРОВАНИЕ МОДЕЛИ ГРУППИРОВКИ ВОЙСК ПРОТИВНИКА В ХОДЕ ОГНЕВОГО ПОРАЖЕНИЯ В ОПЕРАЦИИ И ОЦЕНКА ЕЕ ДОСТОВЕРНОСТИ

УДК 358.1

М. Ю. Избаш*

В статье рассматривается усовершенствованный научно-методический подход к формированию модели группировки войск противника для обоснования наиболее целесообразных вариантов решений по огневому поражению определенных совокупностей объектов противника, а также предлагается один из возможных вариантов оценки достоверности описанной модели.

The article considers scientifically-methodical approach for formation of model of grouping of armies of the opponent for a substantiation of the most expedient variants of decisions by fire defeat of certain sets of objects of the opponent, and also one of possible variants of an estimation of reliability of the described model is offered.

Анализ локальных войн и военных конфликтов последнего времени свидетельствует, что огневое поражение противника (ОПП) является важным фактором, обеспечивающим достижение целей операции, а иногда и политических целей войны [1]. Совершенно очевидно, что повышение эффективности огневого поражения противника в операции является одним из перспективных направлений научных исследований в Вооруженных Силах Республики Беларусь [2]. При этом одним из наиболее целесообразных путей повышения эффективности ОПП можно считать совершенствование процессов его организации и непосредственного управления. Несомненно, что решение этих сложных задач должно основываться на определенных научных исследованиях.

Анализ научных исследований, проводимых в военной сфере [3], свидетельствует, что основным подходом к решению задач совершенствования каких-либо действий является моделирование изучаемого процесса, последующий выбор предпочтительного результата из множества возможных и формирование на этой основе методики или научно-методического аппарата осуществления предлагаемого процесса. В таком случае очевидна необходимость формирования модели огневого поражения группировки войск противника (ГВП), которая учитывала бы основные взаимосвязи структурных элементов группировки и обеспечивала определение степени достижения целей огневого поражения.

В соответствии с известными подходами [4–6] формирование модели группировки войск противника в ходе ее огневого поражения (модель ГВП) должна основываться на представлении ГВП в виде некоторой динамической системы и ее математической формализации [5]. Данная модель должна выполнять функцию прогноза, которая в первую очередь выражается в требовании достаточно точного предсказания степени достижения цели ОПП. Логично предположить, что при построении такой модели следует осуществить математическое описание целевой функции огневого поражения и формализацию процессов, функционирующих в ГВП в ходе операции.

Методология системного анализа предполагает рассмотрение группировки войск противника в операции в качестве сложной системы S , состоящей из ряда зависимых и взаимодействующих подсистем. К основным из них можно отнести подсистемы:

управления войсками и оружием $S_I \subset S$;

огневого поражения $S_{II} \subset S$;

авиации и ПВО $S_{III} \subset S$;

ближнего боя $S_{IV} \subset S$;

тылового и технического обеспечения $S_V \subset S$.

Основным содержанием рассмотренных подсистем являются:

подсистемы управления войсками и оружием, разведкой и РЭБ – пункты управления тактического и оперативного звена, пункты управления, подразделения и воинские части разведки и РЭБ;

подсистемы огневого поражения – ракетные воинские части и подразделения, полевая артиллерия противника;

подсистемы авиации и ПВО – самолеты и вертолеты на аэродромах, площадках подскока и засад, пункты управления воздушным движением, управления и наведения тактической авиации и вертолетов непосредственной авиационной поддержки, зенитные и зенитно-ракетные воинские части и подразделения, радиолокационные подразделения, элементы системы управления силами и средствами ПВО;

подсистемы ближнего боя – мотопехотные, танковые и аэромобильные подразделения;

подсистемы тылового и технического обеспечения – подразделения тылового и технического обеспечения, склады, элементы инфраструктуры.

Проведенный анализ свидетельствует, что состав этих подсистем может быть различным и определяться исходя из специфики исследуемых процессов. Один из вариантов структуры и основных процессов, функционирующих в ГВП, представлен на рисунке 1.

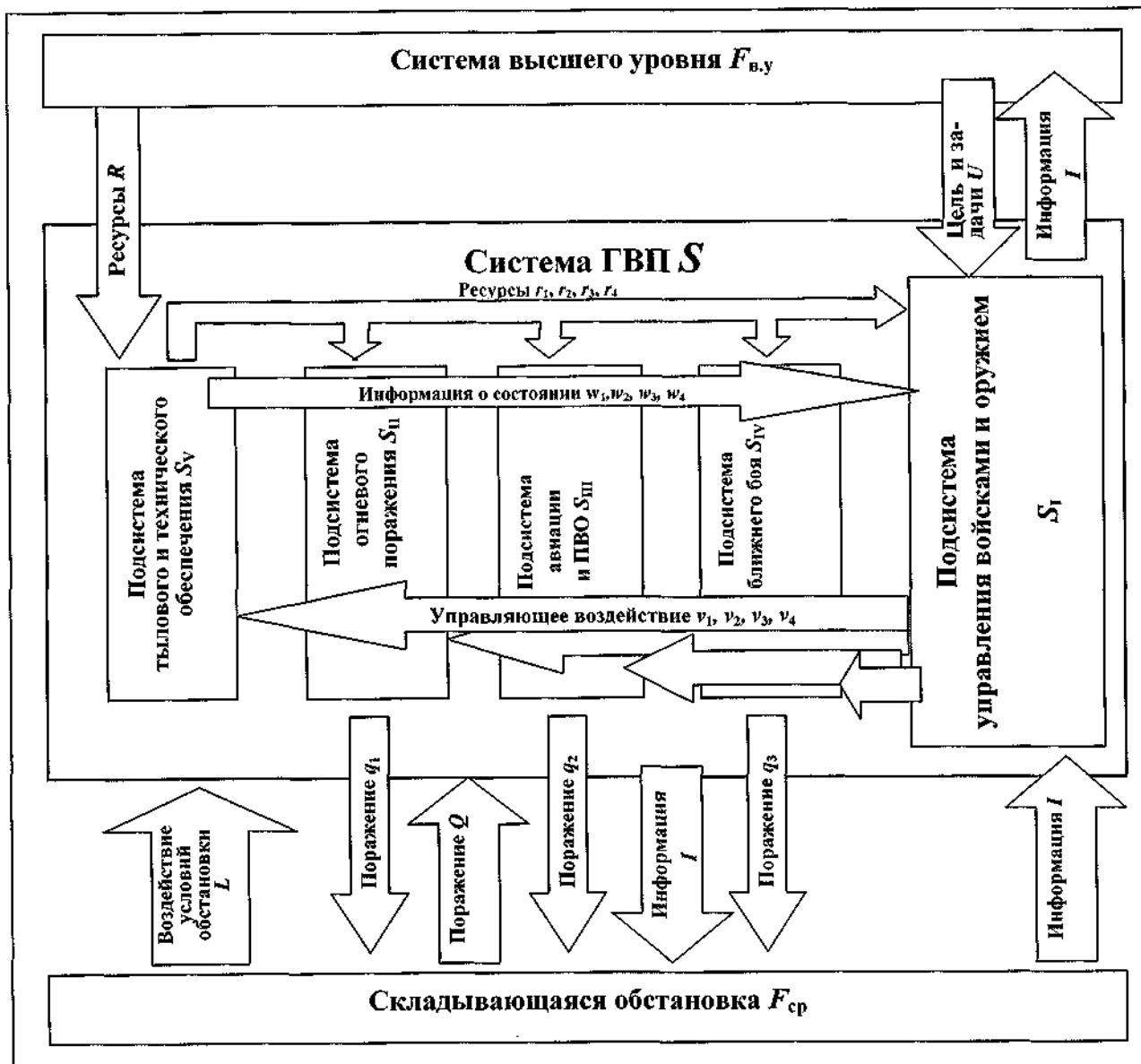


Рисунок 1 – Структура и основные процессы, функционирующие в ГВП (вариант)

В соответствии с предложенным В. К. Сиявским подходом [5] реализацию боевых возможностей ГВП можно рассматривать как процесс изменения вектора состояния системы

$S(t)$. Говоря об изменении вектора $S(t)$ целесообразно исходить из концепции «вход – состояние – выход», лежащей в основе теории сложных динамических систем.

«Вход» рассматриваемой нами системы определяет сущность ее функционирования и представляет собой воздействие системы высшего уровня $F_{в.у}$ и складывающейся обстановки $F_{ср}$ на внутреннее состояние системы.

Центральное место в этой концепции занимает понятие «состояние», которое представляет собой совокупность данных о рассматриваемой системе в каждый момент времени $t = t_0$, достаточный для определения ее поведения для всех $t \geq t_0$.

«Выход» рассматриваемой системы характеризует результат ее функционирования и представляет собой отображение характеристик состояния системы во множество требуемых выходных параметров. Существенной особенностью рассматриваемой системы является свойство объективных законов ее поведения проявляться через множество неопределенностей, порождаемых множеством случайных факторов (неопределенность, присущая процессам разведки, поражения и т. п.) и процессам управления. Это приводит к необходимости формального описания эволюции вектора $S(t)$ в терминах сложных стохастических систем. Стохастический характер проявляется в том, что в каждый момент времени нельзя точно указать положение представляющей точки вектора $S(t)$, а можно определить лишь вероятностные характеристики. Данное обстоятельство обуславливает необходимость построения модели для класса случайных процессов.

Из предложенной структуры системы ГВП видно, что процесс реализации боевых возможностей группировки войск противника может быть определен как некоторая последовательность смены состояний системы S , обуславливаемая, с одной стороны, ее внутренними процессами, а с другой – воздействием со стороны системы высшего уровня $F_{в.у}$ и складывающейся обстановки $F_{ср}$. При этом цель исследования будет достигаться управлением распределения воздействующих сил внешней среды $F_{ср}$ на основные элементы ГВП в целях минимизации обратного воздействия.

Для более полного конструктивного описания системы, учета целей моделирования рассмотрим структуру подсистем ГВП. Очевидно, что они неоднородны по составу и могут включать множество групп однотипных объектов. Например, в состав подсистемы ближнего боя входят группы танковых и мотопехотных рот, подсистемы огневого поражения – группы артиллерийских батарей и батарей реактивных систем залпового огня и т. п. [7]. Кроме того, роль некоторых даже однотипных объектов в ГВП может определяться характером их действий. Например, атакующая мотопехотная рота и эта же рота в районе сосредоточения и т. п.

Очевидно, что интегрирующим свойством для всех подсистем и объектов ГВП являются боевые возможности. Рассматривая боевые возможности как количественные и качественные показатели, характеризующие возможности ГВП по выполнению боевых задач [8], логично предположить, что они реализуются через действие совокупности составляющих ГВП элементов, объединение которых в систему реализует общие боевые возможности, как свойство этой системы. Следовательно, полная реализация боевых возможностей ГВП может характеризоваться потенциальными боевыми возможностями W_n , которые реализуются при функционировании группировки войск противника в целом.

Учитывая, что часть объектов группировки противника на отдельных этапах операции минимально реализует боевые возможности, для адекватной оценки боевых возможностей ГВП введем функцию математического ожидания относительной реализации боевых возможностей ГВП Φ : при решении отдельных оперативных задач (функция реализации боевых возможностей) [9]. В этом случае боевые возможности ГВП можно представить в виде

$$W = \Phi \cdot W_n.$$

Очевидно, что цель огневого поражения достигается снижением боевых возможностей ГВП. Так как снижение значений функции реализации боевых возможностей будет

обеспечивать достижение цели ОПП, целесообразно считать Φ_z целевой функцией, которая отражает эффективность огневого поражения.

В ходе функционирования ГВП все элементы подсистем выполняют определенные действия, количественные показатели которых зависят от решаемых задач и времени (этапа) операции. При этом функционирование одних подсистем зависит от выполнения своих задач другими, а реализация боевых возможностей ГВП через ущерб, наносимый нашим войскам, осуществляется подсистемами огневого поражения, авиации и ПВО, ближнего боя. Подсистемы управления войсками и оружием, тылового и технического обеспечения непосредственного поражения объектам не наносят, однако управляют указанными средствами или обеспечивают их действия и тем самым вносят определенный вклад в боевые возможности ГВП. Исходя из этого, показатель эффективности (ПЭ) функционирования ГВП логично представить в виде

$$\Phi_z = \Phi_z(F_i),$$

где F_i – функция реализации боевых возможностей i -й подсистемы на z -м этапе операции.

С учетом свойства эмерджентности систем функцию реализации боевых возможностей можно выразить как

$$\Phi_z = \sum_{i=1}^i k_{pzi} F_{zi},$$

где k_{pzi} – коэффициент, учитывающий роль i -й подсистемы в ГВП на z -м этапе операции.

Боевые возможности i -й подсистемы ГВП реализуются путем функционирования составляющих ее групп и объектов и, следовательно, определяются количеством функционирующих групп и объектов в них, а также их способностью к реализации боевых возможностей.

Определим в качестве допущения представление j -й группы объектов i -й подсистемы ГВП как совокупности определенного количества однотипных и при определенных условиях однородных объектов. Тогда для учета способностей объектов реализовывать боевые возможности целесообразно использовать коэффициент важности q_{zij} , учитывающий вклад j -й группы объектов i -й подсистемы ГВП в реализацию ее боевых возможностей на z -м этапе операции. В этом случае боевые возможности i -й подсистемы будут определяться

$$F_{zi} = \sum_{j=1}^j q_{zij} N_{\Phi zij},$$

где $N_{\Phi zij}$ – доля функционирующих объектов в j -й группе i -й подсистемы ГВП на z -м этапе операции.

Логично предположить, что доля функционирующих объектов в группе будет определяться разницей между долей привлекаемых к действиям и долей пораженных объектов. Рассмотрим эти составляющие.

Доля, или математическое ожидание относительного числа привлекаемых к действиям объектов, будет определяться выражением

$$M_{исп zij} = N_{zij} / N_{ij},$$

где $M_{исп zij}$ – доля привлекаемых к действиям объектов j -й группы i -й подсистемы;

N_{zij} – количество объектов j -й группы i -й подсистемы привлекаемых к действиям на z -м этапе операции;

N_{ij} – общее количество объектов j -й группы i -й подсистемы.

Для оценки доли пораженных объектов в группах используем подход предложенный в [8]. Тогда математическое ожидание M_{zij} относительного числа пораженных объектов j -й группы i -й подсистемы представляется в виде

$$M_{zij} = l_{zij} / N_{zij},$$

$$l_{zij} = \sum_{k=1}^{k_{zij}} l_{zijk}, \quad l_{zijk} = \begin{cases} 1, & \text{если } M_{zijk} \geq m_{ij}; \\ 0, & \text{если } M_{zijk} < m_{ij}, \end{cases}$$

где l_{zij} – количество объектов j -й группы i -й подсистемы, пораженных с требуемой степенью;

k_{zij} – количество объектов поражения j -й группы i -й подсистемы;

M_{zijk} – математическое ожидание степени поражения k -го объекта j -й группы i -й подсистемы;

m_{ij} – требуемая степень поражения объектов j -й группы i -й подсистемы;

l_{zijk} – счетчик поражаемых объектов.

С учетом изложенного модель функционирования ГВП в ходе огневого поражения может быть представлена в виде задачи математического программирования: найти план

$$l = l_{ijk}$$

распределения имеющихся средств поражения по возможным объектам подсистем и групп ГВП $N_{возм}$, удовлетворяющий условию

$$\Phi = \sum_{i=1}^i k_{pi} \sum_{j=1}^j q_{ij} \left(M_{испij} - \frac{\sum_{k=0}^{k_{ij}} l_{ijk}}{N_{ij}} \right) \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$l_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{если } M_{ijk} \geq m_{ij}; \\ 0, & \text{если } M_{ijk} < m_{ij} \end{cases}$$

при ограничениях

$$\sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^j \sum_{k=0}^{k_{ij}} l_{ijk} = N_{возм}, \quad (2)$$

$$M_{испij} - \frac{\sum_{k=0}^{k_{ij}} l_{ijk}}{N_{ij}} \geq 0, \quad (3)$$

где условие (1) отражает стремление снизить боевые возможности ГВП; ограничение (2) устанавливает, что все возможные объекты приняты к поражению; ограничение (3) устанавливает, что относительное число функционирующих объектов группы не может быть меньше относительного числа пораженных объектов в ней, а также выделенная доля боеприпасов не может быть отрицательной.

Очевидно, что целесообразность практической реализации полученной модели функционирования ГВП в ходе ее огневого поражения значительным образом определяется степенью ее достоверности.

Оценка достоверности разработанной модели предполагает определение степени ее адекватности и соответствия реальным условиям обстановки. Известно, что проблема досто-

верности, возникающая в процессе исследования при решении задач математического программирования, связана с тем, что при моделировании реальных систем функционирующие в них процессы описываются приблизительно, кроме того, параметры модели, получаемые в результате экспериментов, как правило, имеют погрешности. Оценка достоверности модели заключается в оценке достоверности полученных с ее помощью результатов. В настоящее время методов проверки, гарантирующих полную достоверность полученных результатов реальному процессу нет.

Войсковые эксперименты представляют собой единственный источник статистических данных для оценки достоверности. В этом случае целесообразно использовать подход, предложенный А. А. Егоровым в [10]: полученные в результате войсковых экспериментов данные предлагается использовать для оценки достоверности результатов моделирования на уровне случайных элементарных событий поражения тех или иных объектов из множества возможных. Тогда сущность процесса будет заключаться в попарной оценке близости моделируемых событий с реальными действиями в ходе мероприятий оперативной подготовки, исходя из совпадения условий протекания моделируемых и реальных событий ОПП. В этом случае для попарной оценки близости результатов целесообразно использовать методики, предназначенные для работы с малыми выборками.

Оценка достоверности по малой выборке осуществляется по оценке статистической непротиворечивости результатов войсковых экспериментов результатам моделирования. В данном случае под статистической непротиворечивостью понимается непротиворечивость результатов войсковых экспериментов утверждению, что их значения на заданном уровне значимости рассматриваются как принадлежащие к той же генеральной совокупности, что и выборка результатов моделирования. Если результаты войсковых экспериментов не соответствуют закону распределения результатов моделирования, то они принадлежат к другой генеральной совокупности и в определенной степени их можно рассматривать в качестве экстремальных.

На основании центральной предельной теоремы вероятностей [11] будем полагать, что значения функции реализации боевых возможностей ξ_j подчиняются нормальному закону распределения. В этом случае целесообразно использовать критерий согласия, основанный на точном распределении экстремальных значений в выборке нормальной совокупности, статистика которого τ имеет вид [10]:

$$\tau = \frac{x_{max} - \tilde{m}_\xi}{\tilde{\sigma}_\xi \sqrt{\frac{n-1}{n}}},$$

где x_{max} – проверяемое экстремальное значение;

\tilde{m}_ξ – приближенное значение математического ожидания случайной величины ξ ;

$\tilde{\sigma}_\xi$ – приближенное значение среднеквадратического отклонения случайной величины ξ ;

n – число опытов.

В соответствии с теорией математической статистики [10]:

$$\tilde{m}_\xi = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \xi_j,$$

$$\tilde{\sigma}_\xi = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (\xi_j - \tilde{m}_\xi)^2}.$$

В дальнейшем вычисленное значение τ сравнивается с пороговым значением $\tau_{\text{кр}}$, которое определяется из уравнения

$$\int_0^{\tau_{\text{пр}}} P(x) dx - (0,5 - q) = 0,$$

где $P(x)$ – функция распределения случайной величины ξ ;
 q – уровень значимости критерия согласия.

В случае непревышения τ порогового значения делается вывод о его непротиворечии закону распределения результатов моделирования. Такой вывод позволяет сделать заключение о степени достоверности предложенной модели функционирования ГВП в ходе огневого поражения.

Таким образом, изложенное определяет новое направление в моделировании огневого поражения противника в операции. Его особенностью является новый подход к выбору показателя эффективности ОПП, использование которого позволяет исключить недостатки существующих ПЭ по комплексной оценке воздействия огневого поражения на группировку противника в целом, невозможности оценки эффективности структурного поражения отдельных элементов ГВП, достижения избирательности и гибкости ОПП. Предложенный ПЭ обеспечивает оценку влияния структурного поражения определенных элементов группировки противника на ее суммарные боевые возможности, а также оценку эффективности ОПП не только в ходе его планирования, но и при непосредственном выполнении отдельных огневых задач.

Предложенная модель группировки противника в ходе огневого поражения основана на представлении ГВП в виде некоторой сложной динамической системы и ее математической формализации. Рассмотрение ГВП как сложной системы учитывает ее неоднородность по составу, а также особенности функционирования входящих в нее подсистем и элементов, исходя из реальных условий ведения современных операций. Хотя предложенная формализация модели носит довольно общий характер и не учитывает комплекс взаимовоздействующих условий и факторов, дальнейшее развитие предложенного подхода позволит достигнуть необходимого уровня ее адекватности. Предложенный подход к оценке достоверности разработанной модели позволяет осуществить такую оценку на основе реальных войсковых испытаний. Вместе с тем, вопросы практической реализации предлагаемой модели нуждаются в тщательном всестороннем осмыслении и дальнейших научных исследованиях.

Литература

1. Вооруженные силы зарубежных государств: информ.-аналит. сб. / А. Н. Сидорин [и др.]. – М.: Воениздат, 2009 – 528 с.
2. Инструкция о порядке организации ведения научной работы в Вооруженных Силах Республики Беларусь / М-во обороны Респ. Беларусь. – Минск, 2008. – 64 с.
3. Чуев, Ю. В. Исследование операций в военном деле / Ю. В. Чуев. – М.: Воениздат, 1970. – 256 с.
4. Барковский, А. Ф. Основы оценки эффективности и выработки рекомендаций по поражению целей огнем артиллерии / А. Ф. Барковский. – СПб.: ВАУ, 2000. – 308 с.
5. Синявский, В. К. Основы теории эффективности боевых действий ракетных войск и артиллерии: моногр. / В. К. Синявский, Е. Г. Анисимов, В. Г. Анисимов; под ред. В. К. Синявского. – Минск: ГШ ВС, 2004. – 80 с.
6. Осинский, Л. М. Элементы исследования операций и оценка эффективности сил и средств противовоздушной обороны / Л. М. Осинский. – Киев: КВИРТУ ПВО, 1968. – 444 с.
7. Избаш, М. Ю. Научно-методический подход к оценке математического ожидания относительного числа пораженных объектов отдельных подсистем группировки войск противника в операции / М. Ю. Избаш // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2010. – № 3. – С. 50–56.
8. Сборник основных военных терминов и понятий. – Минск: МО РБ, 2009. – 454 с.

9. Масилевич, А. С. Оценка эффективности функционирования группировки войск противника в операции для обоснования рационального объема задач огневого поражения / А. С. Масилевич, М. Ю. Избаш // Сб. науч. ст. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2009. – № 17. – С. 28–32.

10. Егоров, А. А. Об оценке достоверности результатов моделирования боевых действий (операции) объединения ВВС / А. А. Егоров // Воен. мысль. – 2005. – № 1. – С. 60–65.

11. Гурский, Е. И. Высшая математика. Основы теории вероятностей случайных процессов и математическая статистика: учеб. / Е. И. Гурский. – Минск: МВИЗРУ, 1983. – 502 с.

*Сведения об авторах:

Избаш Михаил Юрьевич,

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 24.09.2011 г.

ПРОБЛЕМЫ ПОЗИЦИОННОЙ ОБОРОНЫ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

УДК 355.42.2

В. И. Гринюк, А. П. Богодель*

Опираясь на опыт Великой Отечественной войны, других вооруженных конфликтов, учений, на примере классических представлений о построении и ведении позиционной обороны, порядка и способов выполнения задач авторы статьи попытались ответить на вопрос, соответствует ли позиционная оборона современным требованиям.

Based on the experience of the Great Patriotic war, other military conflicts, exercises, on the example of the classical ideas about building and conduction positional defense, consistency and how to perform tasks the authors scientific article to answer the question as to whether a positional defense to modern conditions.

Оборонительная направленность Военной доктрины изначально предполагает ведение боевых действий на своей территории.

Наступление сухопутной группировки эвентуального противника на Северо-Западном и Западном операционных направлениях, подчиняясь законам «геометрии войны», вероятнее всего будет осуществляться вдоль основных транспортных магистралей, способствующих поддержанию необходимого темпа операции и использованию имеющейся инфраструктуры.

Обороняющаяся сторона, как реагирующая, вынуждена исходить из вероятного замысла наступающей и строить свою оборону на направлениях, обеспечивающих возможность связать технологически превосходящего противника на тактическом уровне, создавая своим построением условия, при которых все линии его наступления вели бы в точку «общих интересов». Такими точками на достаточно ограниченном пространстве нашего ТВД являются: в первую очередь столица государства, во вторую – ключевые населенные пункты, центры, имеющие важное политическое и экономическое значение, в третью – остальные пункты. Подобное разделение в условиях ограниченности людских и материальных ресурсов позволяет строить оборону не на всем протяжении фронта, а на избранных направлениях. Оборонительные действия при этом должны быть направлены на затягивание военных (боевых) действий. Вооруженные конфликты конца XX – начала XXI века свидетельствуют, что население Европы и Америки готово поддерживать лишь такие силовые действия, которые никак не влияют на их устоявшийся образ жизни и соответственно не носят затяжного характера, в противном случае в действие вступает аксиома, выведенная Сунь Цзы: «Война любит победу и не любит продолжительности». Из этого следует, что наступающая сторона будет стремиться действовать максимально быстро и развивать наступление в таких темпах, при которых обороняющаяся не сможет своевременно контрреагировать. Во главу угла станет борьба за выигрыш пространства и времени, трансформирующаяся во владение инициативой.

Решение проблемы противодействия стремительно наступающему противнику вполне логично искать, обратившись к «проверенным» видам обороны. Именно построение и применение маневренной и позиционной обороны в ходе современных боевых действий является определяющим фактором для обоснования появления и существования новых способов построения обороны.

Необходимо учитывать, что выигрыш пространства и времени происходит за счет движения, причем, как показывает опыт, не обязательно только своего. Так, наступающий может выигрывать пространство и время, используя, например, движение отходящей стороны в глубь своей территории или в ходе проведения обороняющейся стороной неподготовленных, запоздалых контратак, контрударов, маневра, существенно нарушающих устойчивость обороны. Так, в ходе начального этапа Великой Отечественной войны при проведении контрударов войсками Западного фронта не учитывались основополагающие условия и факторы, влияющие на их успех. Следствием оперативной неадаптивности явился полный стратегический провал на западном направлении [1].

В ходе начального этапа боевых действий пространственный размах, как правило, меняется достаточно быстро, однако со временем начинает действовать закон перенапряжения

сил, и тогда в действие вступает процесс изменения качественных показателей (понесенные потери, физическая и морально-психологическая усталость, отсутствие резервов, растянутость коммуникаций, недостаток и несвоевременная поставка материальных средств и т. д.). В связи с этим противник (наступающая сторона) будет стремиться максимально использовать начальный период, что позволит ему некоторое время фактически не учитывать волю обороняющихся, действуя стремительно и напролом, пользуясь фактором внезапности и естественного замешательства обороняющейся стороны (танковые клинья Г. Гота и Г. Гудериана, разрезавшие Западный фронт в июне 41-го, или действия грузинских войск в Южной Осетии 6–9 августа 2008 года). Обороняющаяся сторона в таких условиях вынуждена ориентироваться в «новой» обстановке и искать пути противодействия, как правило, слишком запоздалые.

Именно в ходе начального этапа боя (операции) возникает серьезная угроза потери обороняющимися управления и взаимодействия, что делает их действия в условиях построения и ведения позиционной обороны, жестко привязанной к своим рубежам и позициям, слабо согласованными и легко предсказуемыми. На данном этапе наступающая сторона будет стремиться достигнуть максимально выгодного положения, затратив при этом минимум сил и средств. В условиях дефицита времени и сужения пространства ответный маневр обороняющихся будет всегда запаздывающим. Вследствие такого запаздывания могут возникнуть серьезные проблемы, связанные с растратой пространственно-временных и количественно-качественных показателей. Это неизбежно приведет к несогласованности действий ведущих бой и вступающих в бой с ходу резервов и, как следствие, к потерям, окружениям и стремительному поражению или к выигрышу незначительного тактического успеха и проигрышу оперативного. Так, войска Западного фронта в июне – июле 1941 года вынуждены были постоянно сражаться против превосходящих сил противника по двум причинам: во-первых, из-за стремления прикрыть войсками всю полосу обороны, что не позволяло своевременно маневрировать резервами и создавать мощные группировки против рвущихся вперед танковых групп немцев, и, во-вторых, резервы вводились в бой (сражение) по частям, латая дыры в обороне, пробитые врагом.

Такова цена за предоставление наступающему агрессору инициативы и попытку ничего не отдавать врагу.

Если основной причиной неудачного исхода Белорусской операции принято считать фактор внезапности агрессии и характер боевой задачи – прикрытие Государственной границы, то в Смоленской операции действовали в основном только оперативно-тактические факторы, однако результат говорит сам за себя. Так, в ходе запоздалого контрудара войск Западного фронта под Оршей 5–9 июня 1941 года силами 5-го и 7-го механизированных корпусов (1500 танков) против 12-й германской танковой, 27-й механизированной и 28-й и 35-й пехотных дивизий (всего 100 танков) удалось временно остановить и незначительно потеснить противника. Однако потерявшие около 50 % танков мехкорпуса были отведены для восстановления боеспособности.

В обеих рассматриваемых операциях противник применил один вид маневра – двусторонний охват с последующим окружением основной группировки войск (сил) Западного фронта, которые пытались отразить наступление противника упорным удержанием занимаемых рубежей и нанесением контрударов. Нанесение ударов во фланг и тыл, как не раз доказано на практике, является одним из эффективнейших приемов разгрома противостоящих войск. Противник на направлениях ударов наносил поражение войскам Западного фронта с преодолением их боевых порядков и оперативного построения на всю их глубину до того, как они могли адекватно отреагировать на изменение обстановки.

Опыт локальных войн и вооруженных конфликтов последних десятилетий свидетельствует о необходимости отхода от «классических» канонов позиционной обороны.

Последний раз позиционная оборона в чистом виде применялась в ходе Корейской войны (1950 – 1953). Попытка иракской армии в 1991 году построить траншейную глубоко-

эшелонированную многополосную оборону закончилась провалом. Так, во время «войны в Заливе» демонстративное сосредоточение 7 АК и 18 ВДК у Саудовско-Кувейтской границы перед началом операции, а также демонстрация намерений высадить в их интересах морской десант вынудили иракское командование принять неверное решение: занять главными силами строго ориентированную на юг позиционную оборону с выделением нескольких тяжелых соединений для отражения удара с моря. Последовавший на завершающем этапе воздушной кампании решительный маневр обоих корпусов на фланг кувейтской группировки противника (7 АК – более чем на 500 км, а 18 ВДК – на 900 км) и предопределил судьбу операции. Обороняющиеся иракские войска были обойдены с открытого фланга с одновременным «вертикальным» охватом аэромобильными частями (подразделениями) по воздуху, в результате чего они не смогли оказать организованного сопротивления.

Причина несостоятельности ведения позиционной обороны в современных условиях кроется прежде всего в появлении мощных, высокоточных средств поражения, повышении мобильности подразделений, многомерности ведения боевых действий.

Доводы сторонников позиционной обороны относительно того, что она позволяет сдерживать наступление противника, многократно превосходившего обороняющиеся войска, являются абсолютно не состоятельными. Так, если проанализировать боевые действия в ходе Первой и Второй мировых войн, то можно сделать вывод, что превосходство наступающих войск, находящихся в непосредственном соприкосновении с обороняющимися, практически всегда было незначительным, если не сказать минимальным, и находилось в пределах 1 : 1,1–1,5. Если сравнить на тактическом уровне нормативы, определяющие ширину фронтов наступления и обороны соединений, воинских частей и подразделений, то становится очевидным, что достигнуть превосходства одних над другими возможно только в случае переуплотнения войск, что в современных условиях является грубейшей ошибкой и губительно для наступающей стороны. Примеры из военной истории свидетельствуют, что наступающая сторона всегда имела право выбора направления главного удара и внезапности его нанесения, а в ходе боя – переноса усилий. При естественных действиях обороняющимся войскам выпадала участь реагирующей стороны, которая сводилась к угадыванию направлений наступления, закрыванию брешей в обороне и ликвидации прорывов. Осуществлялось это путем стягивания резервов, переброски сил и средств с неатакованных участков, что, в сущности, перекраивало весь замысел боя (операции), который в дальнейшем носил импровизированный характер. В условиях массированного стягивания резервов соотношение сил часто переходило на сторону обороняющихся, но инициатива по-прежнему была у наступающей стороны, так как в условиях легко угадываемых позиционных действий они вообще могли какое-то время не обращать внимания на естественные контрмеры и волю опаздывающего противника. Со времен идеологии Альфреда фон Шлиффена аксиомой является тот факт, что столкновение с основными силами обороняющихся приходится не на прорыв переднего края, а на бой в глубине обороны в ходе отражения контратак и контрударов. Этот момент можно считать переломным в ходе боя (операции) и он невозможен без соответствующего маневра силами и средствами.

Проблемы проведения контратак на тактическом уровне кроются в отношении друг к другу таких требований, как устойчивость и активность обороны. Опыт войн и расчеты показывают, что активность и устойчивость не дополняют друг друга, а существуют друг за счет друга.

На примере проведения контратаки можно оценить, что после нее глубина устойчивой обороны бригады (батальона) уменьшается фактически в десять раз с колоссальным переуплотнением войск на незначительном участке (рисунок 1).

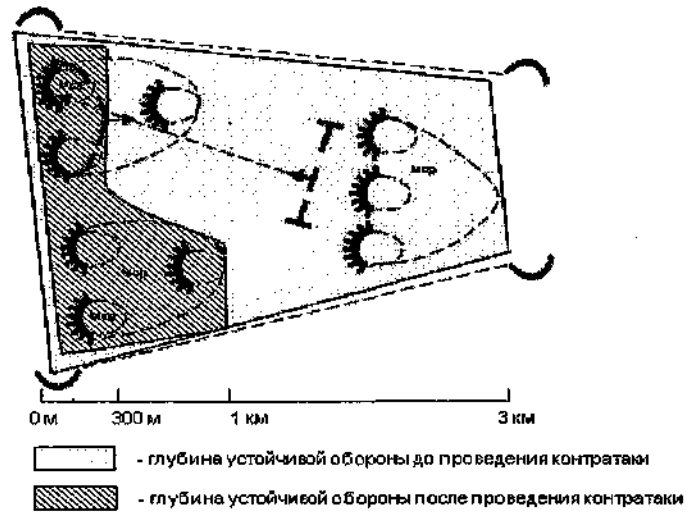


Рисунок 1 – Изменение глубины устойчивой обороны вследствие проведения контратаки

Время на оценку обстановки и принятие решения в ходе боя на проведение контратаки ограничено минутами (рисунок 2). В случае, если противник перенесет усилия или прибегнет к демонстративным действиям, как часто случается в боевой практике, на одном направлении, а реальный удар нанесет на другом, то вся оборона может рассыпаться как карточный домик.

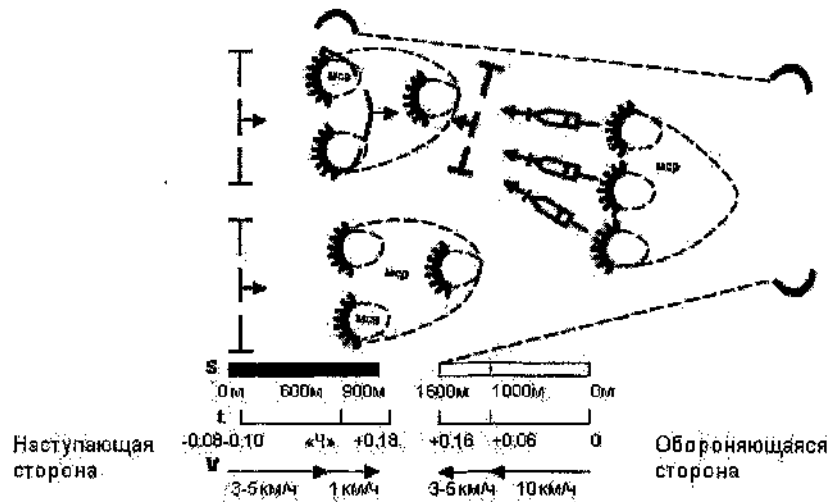


Рисунок 2 – Относительные показатели проведения контратаки вторым эшелоном батальона

Нарушение устойчивости обороны при проведении контратак оценивалось как сложно разрешимая проблема еще в довоенный период. Так, генерал-лейтенант М. П. Кирпонос в ходе обсуждения доклада генерала армии И. В. Тюленева на сборах командного состава РККА в 1940 году отмечал, что в ходе войны с белофиннами, когда они не шли в контратаку, наши войска с большим трудом преодолевали их сопротивление вследствие сильного огня из дотов, дзотов, окопов и щелей. Но как только финны переходили в контратаку, мы были этому обстоятельству чрезвычайно рады, потому что от контратаки оставалась пыль, финны несли огромные потери, оставляли буквально сотни трупов [2].

Таким образом, проведение контратаки есть проявление активности за счет устойчивости обороны. Глубина устойчивой обороны после проведения контратаки резко сокращается и происходит переуплотнение обороняющихся войск. В течение короткого времени, отведенного условиями обстановки, как правило, объективно оценить необходимость ее проведения невозможно. Время нахождения контратакующих войск вне

укрытый может быть использовано противником для нанесения существенного огневого поражения.

Направление главного удара наступающей стороной на позиционно обороняющиеся войска противника, как правило, выбирается с таким расчетом, чтобы обеспечить перевес в силах и средствах, исключить переуплотнение войск. Вследствие этого войска эшелонируются в глубину, выбирается слабое место в обороне (стыки, второстепенные направления, где сосредоточение сил и средств обороняющихся незначительно и они растянуты по фронту и в глубину, там, где вскрыто построение обороны). На другом направлении возможна подготовка другого удара (отвлекающего) либо демонстративных действий, направленных на недопущение своевременного маневра силами и средствами обороняющихся, готовится изоляция района боевых действий. Поэтому часто на практике главный удар наступающими выбирался на труднодоступной местности (удары Суворова в ходе Итальянского похода 1799 года, форсирование Сиваша в ходе Перекопско-Чонгарской операции 1920 года, удар через Арденны в 1940 и 1944 годах, удар 2-го Белорусского фронта через болота Полесья в ходе операции «Багратион»). Такой удар создавал внезапность, которая, несомненно, перерастала в успех, вынуждая обороняющихся вести спонтанно занятую оборону, перенося усилия в ходе боя на неподготовленные участки, запаздывая с их занятием, вступая в бой по частям, по мере встречи с наступающим противником, вынужденно оголяя другие районы.

На нынешний день нет четкой теории обороны, определяющей порядок ведения боевых действий одновременно на всю глубину построения войск, с одновременным участием всех элементов боевых порядков и оперативного построения. Рассмотрение последовательного ведения боевых действий (предусмотренного при ведении позиционной и маневренной обороны) не подходило в свое время для противопоставления теории воздушно-наземной наступательной операции, концепциям борьбы со вторыми эшелонами, минной войны и совершенно не соответствует взглядам на ведение боевых действий полного спектра модульными силами сегодня.

Система оборонительных рубежей, районов, позиций в позиционной обороне по сути является «застывшим монументом», лишаящим командира возможности быстро менять построение и переносить усилия в ходе боя, что делает действия обороняющихся войск линейными и легко угадываемыми. Необходимость переноса усилий вынуждает снимать войска с неатакованных участков и занимать, как правило, неподготовленные рубежи, а опоздание по времени в резко уменьшенном пространстве приводит к несогласованным действиям, к вводу войск по частям и в конечном счете к катастрофе.

Опыт Великой Отечественной войны показал, что из проведенных 22 фронтовых контрударов только два достигли поставленных целей, восемь частично достигли ограниченных тактических и оперативно-тактических целей, 12 закончились полным провалом [3]. Ни один армейский контрудар, проводимый Западным фронтом в 1941 году, успеха не имел. В послевоенный период в ходе локальных войн также возникала сложность в организации и проведении маневра, переноса усилий, контрударов (контратак). Так, в ходе «Войны судного дня» египтяне захватили плацдарм на восточном берегу Суэцкого канала. 8 октября две бронетанковые дивизии израильтян должны были провести контрудар и овладеть плацдармом. 143-я дивизия под командованием Ариэля Шарона не смогла выйти к плацдарму на момент атаки, а 162-я под командованием Авраама Адана в ходе боя 8 октября 1973 года понесла чудовищные потери, до 60 % единиц бронетехники, и контрудар захлебнулся.

Необходимо отметить, что не всегда может представиться возможность противодействовать наступающему противнику путем своевременного маневра силами и средствами. Так, в ходе Висло-Одерской операции на направлении главного удара основные резервы обороняющихся были разгромлены на фазе прорыва, на других направлениях скованы боевыми действиями, что обеспечило полную свободу действий советских войск в условиях хорошо подготовленной и глубокоэшелонированной обороны немцев [4].

Все возможные конфигурации построения позиционной обороны изначально нацелены на отражение ударов с фронта и боевые действия превращаются фактически в борьбу за открытый фланг. Прорвав оборону, наступающие стремительно продвигаются вглубь, владея инициативой, уменьшают пространство действий обороняющихся, лишая их времени, вынуждают опаздывать, создавая тем самым прецедент некомпенсированной слабости. Решение данной проблемы лежит в необходимости «компенсировать» наступление, вынуждать наступающую сторону реагировать на действия обороняющихся. Решалась она либо, как отмечалось ранее, путем проведения контратак, контрударов (что зачастую приводило к ослаблению обороны), либо к ведению засадных и рейдовых действий. Яркими подтверждениями тому являются засады 4-й танковой бригады Катукова под Мценском и на Волоколамском направлении в 1941 году, засадные действия танкового подразделения старшего лейтенанта Колобанова на Мариенбургском направлении в ходе битвы за Ленинград и 110-й танковой бригады в январе 1945 года в ходе Балатонской операции, рейдовые и засадные действия финских егерей в ходе советско-финляндской войны 1940 года. Все это свидетельствует о том, что активные внезапные действия обеспечивают выполнение задачи значительно меньшими силами, нежели при создании жесткой позиционной обороны. Однако злоупотреблять засадными действиями, как панацеей от «плесени» позиционности в обороне, нельзя. Засада – это прежде всего временный и даже кратковременный элемент боевого порядка. Ценность засады заключается во внезапности и стремительности действий как при поражении противника, так и при осуществлении отхода от него. Затяжной бой для засады губителен и малоэффективен. В ходе боя противник, попав в засаду в течение непродолжительного времени, становится стороной реагирующей, но реакция, как правило, носит молниеносный характер и оправившийся противник непременно нанесет подразделению ответный удар. Засада после первой минуты боя уже не засада, а обороняющееся подразделение, и на нее распространяются все принципы ведения оборонительного боя [5].

Примеры из военной истории наглядно показывают, что успешное построение и ведение позиционной обороны возможно в условиях приблизительно равных возможностей сторон. Причем именно следствием позиционного противостояния явились огромные потери в ходе двух мировых войн.

Опыт мировых войн показал, что позиционная оборона – это вид обороны, при котором обороняющиеся часто несут большие потери, нежели наступающие. Анализ наступательных боев и операций, проводимых Вермахтом в ходе первого и второго периодов Великой Отечественной войны, свидетельствует, что советские войска, находясь в обороне, несли потери, которые можно соотнести как 1 : 1,2–1,3 в пользу первых, так как в ходе третьего и четвертого периодов соотношение потерь диаметрально поменялось, причем такая тенденция просматривается на всех уровнях [6].

Сложность построения и ведения позиционной обороны определяется прежде всего присущими ей характерными чертами:

- наличием сплошного фронта большой протяженности;
- созданием развитой на большую глубину и оборудованной в инженерном отношении системы оборонительных полос (позиций);
- сосредоточением большей части сил и средств в составе первых эшелонов обороняющихся войск.

Несложные математические расчеты показывают, что для построения жесткой позиционной обороны потребуются огромные силы и средства. Так, с учетом вышеперечисленных требований и соответствующих тактических нормативов (например, ширины фронта (до 5 км) и глубины построения батальона (до 3 км)) можно посчитать, сколько батальонов необходимо для занятия первой, второй позиции, создания тактической и оперативной глубины, тактических, оперативных, стратегических резервов:

$$Q_{ТЗО} = \text{const}Q; \quad \text{const} \in \left[\frac{2}{3}; \frac{3}{4} \right];$$

$$Q_1 = Q_{ТЗО} \text{const} = \text{const}^2 Q;$$

$$Q_2 = (1 - \text{const})Q_{ТЗО};$$

$$Q_3 = (1 - \text{const})Q,$$

где Q – общее количество батальонов, переходящих к позиционной обороне;

Q_1, Q_2 – количество расчетных батальонов, занимающих оборону на первой и второй позициях;

$Q_{ТЗО}$ – общее количество расчетных батальонов, занимающих оборону в пределах тактической зоны обороны (первой и второй позиций);

Q_3 – количество расчетных батальонов, занимающих оборону в оперативной глубине;

$$Q = \frac{l}{l_1} + \frac{l}{l_2} + \frac{l}{l_3} = Q_1 + Q_2 + Q_3,$$

где l – общая протяженность фронта обороны;

l_1, l_2, l_3 – протяженность фронта обороны расчетного батальона на конкретном рубеже.

Если, например, фронт оперативного объединения будет в пределах 300 км, то для создания жесткой позиционной обороны потребуется 100–110 расчетных батальонов без учета оперативно-стратегических и стратегических резервов [7].

Таким образом, позиционная оборона в условиях возросшей огневой мощи и подвижности войск не отвечает современным требованиям, в основе которых лежат скрытность, автономность, отсутствие сплошных фронтов, низкие плотности войск, избегание длительных прямолинейных столкновений, увеличение дистанции боя, одновременность воздействия на все элементы построения войск, высокая мобильность и объемность.

Структура построения позиционной обороны остается неизменной с середины 50-х годов, а порядок применения сил и средств – с 1942 года [8].

Действия обороняющихся завязаны на жесткой системе оборонительных рубежей, районов, позиций и не дают возможности гибко подходить к построению и порядку применения войск, делая их естественными и легко угадываемыми.

Безусловно, все вышесказанное выше требует более пристального изучения, анализа, проведения дискуссий, однако остается фактом, что развитие военного искусства на современном этапе достигло такого уровня, когда необходима более глубокая трансформация представлений о построении боя, способах его ведения в классических формах.

Литература

1. Сандалов, Л. М. Пережитое / Л. М. Сандалов. – М.: Воениздат 1961. – С. 74.
2. Русский архив: Великая Отечественная. Т. 12 (1–2). Накануне войны: материалы совещания высш. рук. состава РККА 23–31 дек. 1940 г. – М.: ТЕРРА, 1993.
3. Гурулев, С. П. Оперативное искусство / С. П. Гурулев – Минск: ВАРБ, 2007. – 388 с.
4. Панов, Б. В. История Военного искусства / Б. В. Панов, В. Н. Кисилев, И. И. Картацев. – М.: Воениздат, 1984. – 535 с.
5. Богдан, В. Обучение контрзасадным действиям в СВ США / В. Богдан // Зарубеж. воен. обозрение. – 2001 – № 4. – С. 24.
6. Методический подход к оценке эффективности боевых действий омбр: отчет о НИР ВАРБ; шифр «Березина». – Минск, 2010. – С. 95. Инв. № 3903/1.
7. Гринюк, В. И. Проблемы ведения маневренной обороны / В. И. Гринюк, А. П. Богодель // Сб. науч. ст. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2009. – № 17. – С. 26.
8. Боевой устав пехоты Красной Армии. Ч. 2 (батальон, полк). – М.: Воениздат, 1942.

*Сведения об авторах:

Гринюк Владимир Иванович,

Богодель Андрей Петрович,

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 07.09.2011 г.

ПОДХОД К ПРИНЯТИЮ РЕШЕНИЯ ПРИ ПРОТИВОДЕЙСТВИИ СРЕДСТВАМ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ РАЗВЕДКИ КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ

УДК 519.816

И. П. Германович, С. В. Акулич*

В данной статье описан подход к разработке комплекса принятия решений, включающего в себя модели движения космического аппарата, формирования зоны обзора, принятия решения на проведение мероприятий противодействия, а также модули расчета вероятности и временных параметров обнаружения. Данный комплекс предназначен для поддержки принятия решений на проведение мероприятий противодействия средствам радиолокационной разведки космического базирования.

The description of the approach to the development of the decision-making complex that includes model of a space vehicle motion; model of the review zone formation; model for providing recommendations for making decision of a counteraction implementation, module of the detection probability calculation; module of time parameters calculation is presented in the article. The complex is intended for the organisation of the decision-making support on an implementation of counteraction to means of radar space observing system.

Опыт недавних войн и вооруженных конфликтов показывает, что в современных условиях все больший вклад в подготовку и применение группировок войск вносят военно-космические средства. При нынешнем уровне их развития некоторые боевые возможности вооруженных сил за счет использования информационной и других компонент космической разведки интегрально повышаются в 1,5–2 раза [1].

Применение космических систем позволяет почти на треть увеличить эффективность использования уже существующего военного потенциала государства. Так, космические системы разведки обеспечивают повышение точности целеуказания на 30–50 % и увеличение количества раскрытых объектов противника на 20–30 % и более, а космический аппарат (КА) разведки за один виток вокруг Земли получает над заданной территорией такое же количество снимков, как самолет-разведчик за полгода полетов над этой местностью [1].

В настоящее время наблюдается тенденция к увеличению числа запусков космических аппаратов, оснащенных радиолокатором с синтезированной апертурой (РСА) на борту. Это значительно расширяет возможности разведывательных средств, обеспечивая высокоточное наблюдение за действиями вероятного противника вне зависимости от времени суток и погодных условий. Качество получаемых снимков сравнимо с высокодетальными оптическими снимками с пространственным разрешением менее 1 м (для решения военных задач пространственная разрешающая способность может достигать 10 см) [2].

Совершенствование возможностей бортовой аппаратуры и оптимизация алгоритмов обработки сигналов способствует увеличению показателей разрешающей способности, вероятностей обнаружения и правильного распознавания объектов. Это, в свою очередь, приводит к необходимости повышения эффективности проведения мероприятий противодействия средствам разведки космического базирования и обеспечения скрытности местоположения и деятельности своих войск.

Возможными путями повышения эффективности данных мероприятий являются:

прогнозирование времени пролета космических средств разведки над территорией Республики Беларусь;

сокращение времени, затрачиваемого для принятия решений на проведение мероприятий противодействия;

повышение эффективности проведения мероприятий противодействия.

Существующее программно-математическое обеспечение позволяет провести анализ и прогноз местоположения КА, определить зоны видимости КА относительно точки наблюдения [15]. Однако отсутствуют инструменты, которые обеспечивают поддержку принятия решений на организацию мероприятий противодействия средствам радиолокационной разведки космического базирования. Таким образом, актуальна задача по созданию системы поддержки принятия решений, основу которой составляет комплекс математических моде-

лей с соответствующей информационной поддержкой, включающей опыт организации мероприятий противодействия и обеспечивающей использование необходимых условий в процессе выработки рациональных решений. В состав данного комплекса входят следующие модели: модель движения космического аппарата; модель формирования зоны обзора; модуль расчета вероятности обнаружения; модуль расчета временных параметров обнаружения; модель принятия решения на проведение мероприятий противодействия.

Информационный обмен между моделями представлен на рисунке 1.

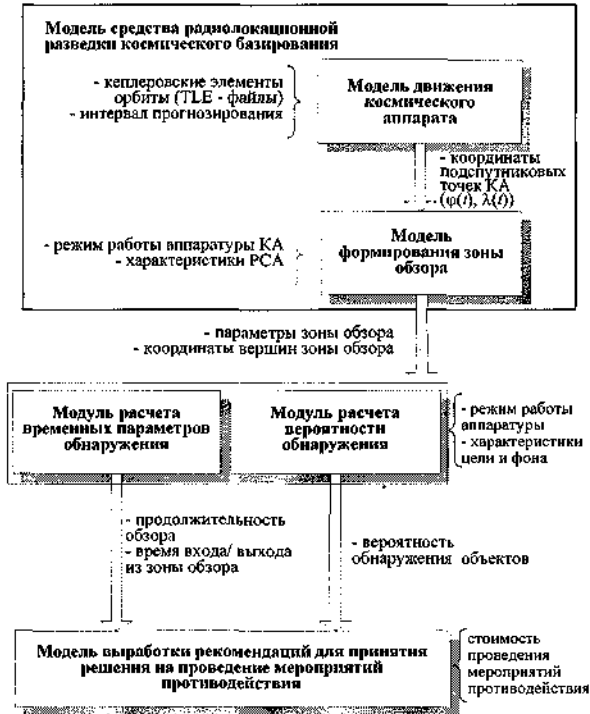


Рисунок 1 – Функциональная схема комплекса моделей

Рассмотрим подробнее каждую из составляющих комплекса моделей.

Модель движения космического аппарата. Для однозначного определения местоположения КА в пространстве необходимо провести расчет траектории движения – орбиты. Прогнозирование местоположения КА заключается в определении параметров орбиты на заданный момент времени и расчете соответствующих координат подспутниковых точек.

Задача расчета параметров орбиты КА над заданным регионом Земли была поставлена в начале 50-х гг. XX в. Сегодня ее достаточно точное решение обеспечивает определение и контроль орбит искусственных спутников Земли (ИСЗ), прогнозирование их пролета над заданным регионом и проведение наблюдений за ними.

В настоящее время в ряде стран созданы сети станций слежения за ИСЗ. Самыми крупными подобными структурами являются система NORAD (North American Aerospace Defense Command), входящая в состав Командования воздушно-космической обороны Северной Америки (США, Канада), и система контроля космического пространства Космических войск Российской Федерации. Для получения элементов орбит ИСЗ они используют радиотехнические и оптические методы измерений, что позволяет отслеживать в околоземном пространстве космические объекты размером от 5 см [3].

В настоящее время система NORAD предоставляет доступ к кеплеровским элементам орбиты более чем для 14 тыс. ИСЗ и объектов космического мусора (размером более 10 см). Полная база обновляется два раза в сутки, однако для разных ИСЗ обновления элементов выполняются с разной периодичностью. Наиболее часто обновления выполняются для пилотируемых и низкоорбитальных ИСЗ, реже – для геостационарных и высокоорбитальных [4].

В общем случае различают два вида движения ИСЗ: невозмущенное и возмущенное. При невозмущенном движении динамику полета КА принято рассматривать в рамках ограниченной задачи двух тел. При этом полагают, что притягивающее тело (в данном случае Земля) является шаром со сферическим распределением плотности, а спутник – материальной точкой, не притягивающей центральное тело. При таком допущении спутник будет двигаться вокруг Земли без учета влияний гравитационных возмущений и возмущений от неконсервативных сил. В этом случае движение КА описывается в соответствии с законами Кеплера, рассмотренными в [5–7]. В свою очередь в модели возмущенного движения учитываются влияния различных действующих сил на движение КА.

Сравнивая использование двух моделей, следует заметить, что высокоточные прогностические модели движения КА необходимы при решении таких прикладных задач, как стыковка с орбитальной станцией и т. п. Очевидно, что задача прогнозирования местоположения

КА и определения времени попадания скрываемого объекта в зону обзора и времени пребывания в ней не относится к высокоточным. Стоит отметить, что ошибка в определении местоположения низковысотных КА (высота до 1000 км) в пространстве может быть компенсирована поправкой по времени проведения соответствующих мероприятий.

Таким образом, входными данными для модели движения космического аппарата являются кеплеровские элементы орбиты, записанные в двухстрочковом формате (*TLE*-файлы). Выходные данные модели – координаты подспутниковых точек (широта и долгота) в геодезической системе координат ($\varphi(t), \lambda(t)$) на прогнозируемый момент времени, полученные по алгоритмам, описанным в [8].

Модель формирования зоны обзора. В существующем программном обеспечении при расчете прохождений КА над заданным объектом факт прохождения определяется, как правило, попаданием объекта в подспутниковое пятно, а не в зону обзора. Подспутниковое пятно – это область видимости аппаратуры космического аппарата с центром в подспутниковой точке. Для КА, оснащенных аппаратурой оптико-электронной разведки, подспутниковое пятно может совпадать с зоной обзора. Однако для РСА космического базирования подспутниковое пятно и зона обзора не совпадают.

При оценке местоположения зоны обзора на цифровой карте местности можно принять, что она представляет собой прямоугольник. На рисунке 2 показано взаимное расположение траектории полета и зоны обзора. Здесь $M(x', y')$ – подспутниковая точка на заданный момент времени t' ; зона обзора представляет собой прямоугольник, где $\Delta L, \Delta R$ – ширина зоны обзора по азимуту и дальности соответственно.

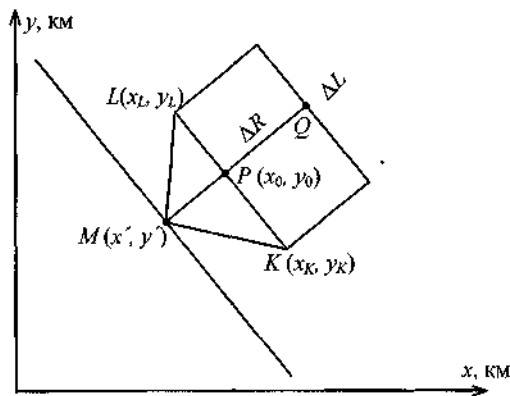


Рисунок 2 – Схематическое расположение траектории полета КА и зоны обзора

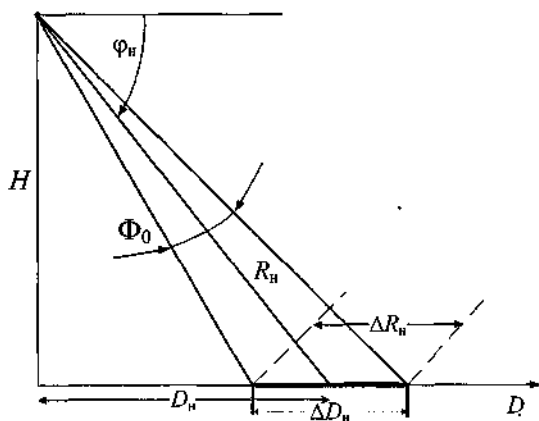


Рисунок 3 – Зона обзора по дальности

Для расчета координат точек L и K используются аналитические выражения, полученные в ходе диссертационных исследований и описанные в [9, 15].

Размер зоны обзора (значения параметров $\Delta L, \Delta R$) зависит от режима работы аппаратуры, расположенной на борту КА.

Положение зоны обзора по дальности определяется диаграммой направленности антенны в вертикальной (угломестной) плоскости. Дальность обзора РСА определяет угол положения φ_n диаграммы направленности, отсчитываемый от горизонтальной плоскости (рисунок 3): $D_n = R_n \cos \varphi_n$ (без учета кривизны Земли), а полоса обзора $\Delta D_n = \Delta R_n / \cos \varphi_n$ [10].

В модели формирования зоны обзора рассматриваются три основных режима работы: телескопический (детальный), секторный и полосовой (переднебоковой).

При *телескопическом (детальном) обзоре* диаграмма направленности антенны непрерывно следит за заданной зоной обзора ($\Delta L, \Delta R$) путем изменения угла θ_n (рисунок 4) [10]:

$$\theta_n(t) = \theta_{n0} + \frac{Vt}{R_n(t)} \sin \theta_{n0}$$

где θ_{n0} – начальный угол наблюдения при $t = 0$.

Время слежения определяется требуемым временем синтеза апертуры и числом обзоров (некогерентных накоплений радиолокационного изображения).

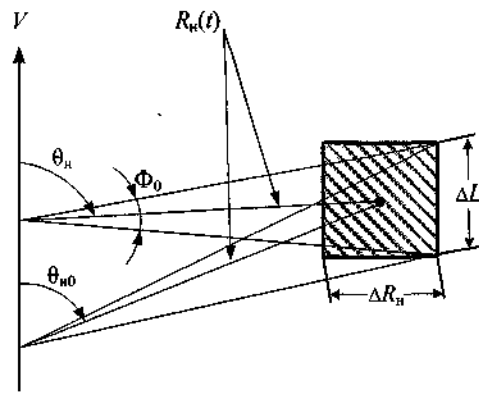


Рисунок 4 – Зона телескопического обзора

При *переднебоковом (полосовом) обзоре* угол наблюдения постоянен ($\theta_H = \text{const}$) и скорость обзора равна скорости полета носителя РСА (рисунок 5). Требуемая полоса зоны обзора по азимуту обеспечивается выбором времени обзора: $\Delta L = VT_{\text{обз}}$.

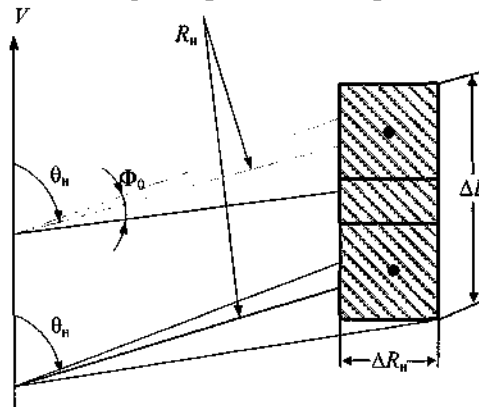


Рисунок 5 – Зона полосового обзора

При *секторном обзоре* (рисунок 6) скорость обзора определяется угловой скоростью сканирования диаграммы направленности (Ω_a) по азимуту. Требуемая полоса обзора находится согласно выражению [10]:

$$\Delta L = \theta_{\text{обз}} R_H = \Omega_a T_{\text{обз}} R_H(t).$$

Сканирование может быть непрерывным либо дискретным с шагом по времени, равным времени синтезирования апертуры T_c или $T_c N_H$, где N_H – число некогерентно накапливаемых изображений одного и того же участка зоны обзора.

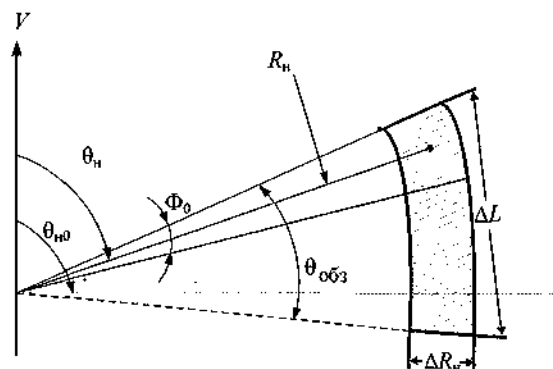


Рисунок 6 – Зона секторного обзора

Методика построения модели формирования зоны обзора представлена на рисунке 7.

Таким образом, входными данными модели формирования зоны обзора являются координаты подспутниковых точек и характеристики режимов работы РСА.

Выходные данные модели – координаты вершин зоны обзора и ее дополнительные параметры, расчет которых описан в [11]. К ним относятся:

- удаление зоны обзора от подспутниковой точки;
- фактические углы наблюдения;
- ширина полосы обзора по дальности и по азимуту;
- продолжительность обзора конкретного участка земной поверхности.

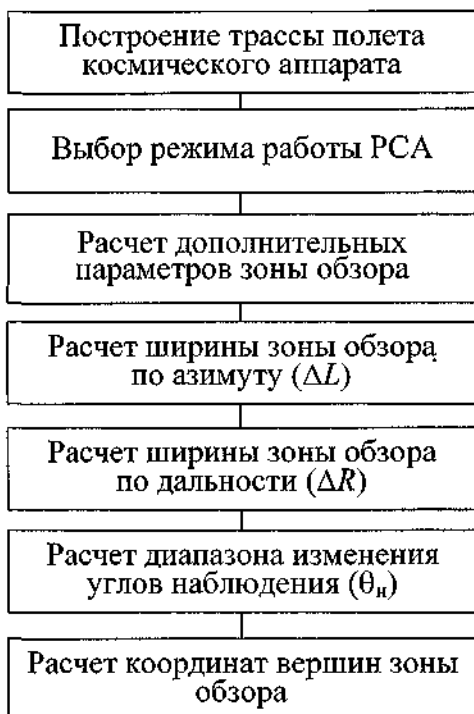


Рисунок 7 – Методика построения модели формирования зоны обзора

Модуль расчета вероятности обнаружения.

При решении задачи оценки эффективности проводимых мероприятий противодействия техническим средствам разведки иностранных государств необходимо учитывать ряд факторов, влияющих на адекватность данной оценки. Одним из них является учет состава и возможностей технических средств разведки противника. В качестве показателя эффективности ведения радиолокационной разведки предлагается использовать вероятность обнаружения объекта, которая зависит:

- от тактико-технических характеристик РСА;
 - характеристик объекта и подстилающей поверхности;
 - режимов работы РСА (размеров зоны обзора).
- Расчет вероятности обнаружения объектов производится в следующем порядке:

1. Оценка возможностей средств радиолокационной разведки по выявлению объектов. Для этого рассчитывается эффективная поверхность рассеивания (ЭПР) объекта $\sigma_{об}$ с заданной площадью $S_{об}$, приведенная к элементу разрешения ΔS , по следующей формуле [12]:

$$\sigma_{об}^* = \sigma_{об} \times \begin{cases} \frac{\Delta S}{S_{об}}, \Delta S < S_{об}; \\ 1, \Delta S \geq S_{об}. \end{cases}$$

Далее осуществляется сравнение приведенной ЭПР объекта и пороговой ЭПР ($\sigma_{об}^*$ и $\sigma_{пор}$). Если приведенная ЭПР меньше пороговой ($\sigma_{об}^* < \sigma_{пор}$), то ведение радиолокационной разведки по данному объекту невозможно. В противном случае рассчитывается дальность от РСА до объекта согласно выражениям, описанным в [9].

2. Расчет соотношения сигнал/шум q проводится по аналитическим выражениям, приведенным в [10, 14], в зависимости от условий обнаружения.

3. Определение условной вероятности обнаружения объекта ($P(A/H_i)$) в зависимости от полученного значения q осуществляется по аналитическим выражениям, полученным после аппроксимации графиков зависимости вероятности обнаружения от соотношения сигнал/шум и количества некогерентных накоплений радиолокационных изображений.

4. Расчет вероятности обнаружения объекта (вероятность события A) осуществляется по формуле полной вероятности

$$P(A) = \sum_{i=1}^3 P(H_i) P(A/H_i) = P(H_1)P(A/H_1) + P(H_2)P(A/H_2) + P(H_3)P(A/H_3),$$

где $P(H_1)$ – вероятность работы в телескопическом (детальном) режиме; $P(H_2)$ – вероятность работы в секторном режиме; $P(H_3)$ – вероятность работы в полосовом (переднебоковом) режиме.

Ввод гипотез о режимах работы аппаратуры обусловлен тем, что для определения режима работы бортового РСА необходимо проанализировать структуру принятого со спутника сигнала согласно параметрам, выбор которых описан в [13]. Следует заметить, что анализ структуры принятого с КА траекторного сигнала является отдельной сложной задачей.

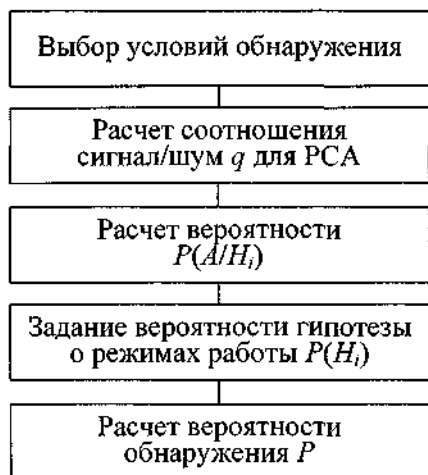


Рисунок 8 – Методика расчета вероятности обнаружения

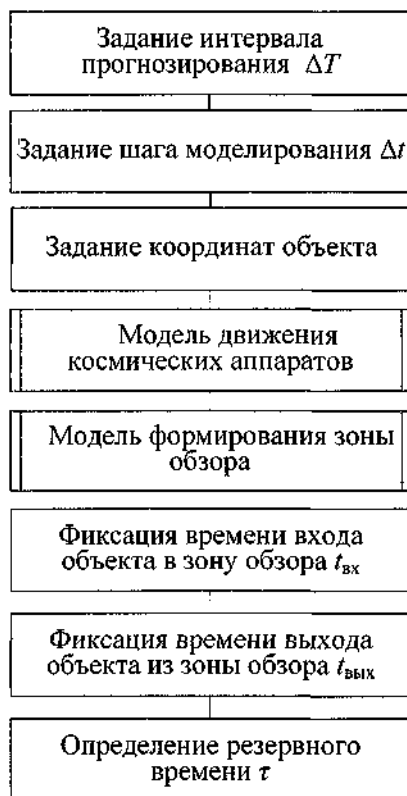


Рисунок 9 – Методика расчета временных параметров обнаружения

последовательность определения временных параметров обнаружения объектов показана на рисунке 9.

Методика расчета вероятности обнаружения объектов средствами радиолокационной разведки космического базирования представлена на рисунке 8.

Таким образом, входными данными модуля расчета вероятности обнаружения являются координаты вершин зоны обзора и ее параметры, режим работы аппаратуры и характеристики фона и объекта. Результатом работы модуля является расчетная вероятность обнаружения объектов.

В свою очередь данная вероятность – это один из частных показателей векторного показателя эффективности проведения мероприятий противодействия, который включает:

- вероятность обнаружения объектов;
- время проведения мероприятий противодействия;
- стоимость проводимых мероприятий противодействия (для мирного времени).

Модуль расчета временных параметров обнаружения. Под временными параметрами обнаружения в данном случае понимается продолжительность наблюдения объекта средствами радиолокационной разведки космического базирования, время входа и выхода из зоны обзора. Продолжительность наблюдения зависит от следующих факторов:

- расчета с учетом или без учета вращения Земли;
- высоты полета космического аппарата;
- режима работы РСА, т. е. угловых параметров наблюдения, ширины полосы обзора.

Для того чтобы в момент времени t космический аппарат наблюдал данный объект, необходимо, чтобы зона обзора пересекала широту объекта и объект находился внутри зоны обзора.

В целях проверки этих условий рассчитываются границы изменения аргументов широты КА $[u_1, u_2]$ и соответствующие им моменты времени (t_1, t_2) , при которых зона обзора пересекает широту φ объекта. Для полученных моментов времени определяется полоса изменения угла, характеризующего положение объекта, которая сравнивается с шириной полосы обзора. Если обе полосы имеют общую часть, ограниченную изменением данного угла, то объект может наблюдаться в рассматриваемом диапазоне.

Таким образом, входными данными модуля расчета временных параметров являются координаты вершин зоны обзора и ее параметры, режим работы аппаратуры и характеристики фона и объекта. Результатом работы модуля является значение резервного времени, оставшегося на проведение мероприятий противодействия, время входа и выхода объекта из зоны обзора, а также продолжительность наблюдения объекта средствами радиолокационной разведки космического базирования.

Модель выработки рекомендаций для принятия решения на проведение мероприятий противодействия. В практике управления группировками войск полное знание или незнание конкретной обстановки являются предельными случаями. Обычным следует считать промежуточное положение частичного незнания, когда одни факторы известны, другие неизвестны, а о третьих есть лишь частичная информация. Для данной задачи информация о противнике является неполной.

Формальным представлением процесса выработки лучшего решения на проведение мероприятий противодействия может служить модель оптимизации вида

$$D^* = \varphi^{-1} \left\{ \text{opt}_{D,S} F(D, S) \right\}$$

где D^* – лучший вариант противодействия средствам радиолокационной разведки космического базирования из возможного множества D , $D^* \in D$; $D = \{D_i, i = 1, 2, \dots, m\}$; S – множество возможных тактических ситуаций (режимы работы аппаратуры, внешние условия обнаружения, количество объектов).

Принятие решений на проведение мероприятий противодействия средствам радиолокационной разведки космического базирования должно основываться на знаниях способов и тактических приемов их применения, тактико-технических характеристик средств радиолокационной разведки космического базирования и их возможностей, обоснованных гипотезах о режимах работы РСА.

Очевидно, что противник будет стремиться максимизировать свою эффективность, которая может быть охарактеризована некоторой системой показателей, включающей в себя вероятность обнаружения объектов, время захвата объекта в зону обзора и длительность просмотра участка местности.

Вероятность обнаружения объекта принимаем в качестве показателя эффективности ведения разведки с помощью РСА. При этом весь процесс разведки направлен на максимизацию этой вероятности, а процесс противодействия сводится к проведению мероприятий, направленных на ее снижение.

Особенностью процесса противодействия космическим средствам разведки является необходимость его выполнения в определенные временные интервалы, которые определяются с учетом движения КА и перемещения зоны обзора во времени. Варианты противодействия могут отличаться друг от друга временем реализации (например, временем переезда на новую позицию), эффективностью противодействия (степенью снижения вероятности обнаружения) и затратами на их проведение. В этой связи при выборе лучшего варианта организации противодействия в качестве показателя эффективности предлагается принять векторный показатель, включающий в себя три компонента: вероятность обнаружения объектов с учетом проводимых мероприятий противодействия; время проведения мероприятий противодействия; стоимость проводимых мероприятий противодействия (для мирного времени).

Задавшись некоторыми граничными значениями частных показателей (критериями выбора), можно найти тот вариант, который удовлетворяет системе критериев. Векторный показатель эффективности позволит комплексно оценить результат проведения мероприятий противодействия, полученный при использовании конкретного решения. Для выбора наилучшей стратегии поведения рекомендуется использовать методику выдачи рекомендаций на проведение мероприятий противодействия, представленную на рисунке 10.

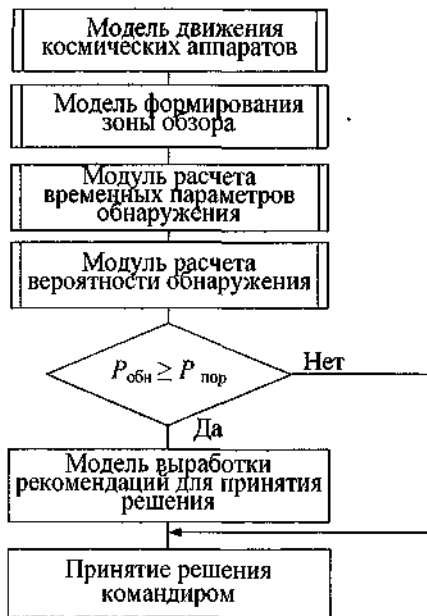


Рисунок 10 – Методика выдачи рекомендаций

Выводы:

1. Задача поддержки принятия решений на проведение мероприятий противодействия космическим средствам радиолокационной разведки на основе оперативной информации об обстановке, имеющихся формальных знаний о противнике, своих войсках и моделирования возможной обстановки является актуальной.

2. В статье предложен подход к разработке комплекса принятия решений, который позволит оценить эффективность возможных решений и на этой основе выработать рекомендации по организации мероприятий противодействия средствам радиолокационной разведки космического базирования. В состав комплекса входят модели движения космического аппарата, формирования зоны обзора, принятия решения на проведение мероприятий противодействия, а также модули расчета вероятности и временных параметров обнаружения.

3. Авторами предлагаются методики расчета вероятности обнаружения объектов, расчета временных параметров обнаружения, которые позволя-

ют получить расчетные параметры процесса обнаружения: вероятность обнаружения объектов как показатель эффективности ведения разведки; значение резервного времени, оставшегося на проведение мероприятий противодействия.

4. Принятие решений на организацию мероприятий противодействия осуществляется на основе анализа векторного показателя эффективности, включающего вероятность обнаружения, время и стоимость проведения мероприятий проведения (для мирного времени).

Литература

1. Применение военно-космических средств – требование современности // Аналитика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://topwar.ru/technology>. – Дата доступа: 29.06.2011.
2. Данные ДЗЗ высокого разрешения. Ближайшие перспективы // Технические характеристики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sovzond.ru>. – Дата доступа: 09.02.2010.
3. National Science and Technology Council – Fact Sheet // National Space Policy. – 1996. – Sept. 19.
4. Models for Propagation of NORAD Element Sets / F. R. Hoots, R. L. Roehrich // Space-track Report № 3. – Dec. 1980 – 91 sh.
5. Урмаев, М. С. Орбитальные методы космической геодезии / М. С. Урмаев. – М.: Недра, 1981. – 256 с.
6. Закатов, П. С. Курс высшей геодезии / П. С. Закатов. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Недра, 1976. – 511 с.
7. Мантуров, А. И. Механика управления движением космических аппаратов / А. И. Мантуров. – Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2003. – 62 с.
8. Справочник офицера военно-космической обороны / под ред. С. К. Бурмистрова. – Тверь, 2005. – 564 с.
9. Германович, И. П. Оценка параметров движения спутника относительно выбранной точки наблюдения / И. П. Германович, В. М. Булойчик, Н. Н. Неборская // Сб. науч. ст. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2008. – № 15. – С. 19–26.

10. Кондратенков, Г. С. Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли: учеб. пособие для вузов / Г. С. Кондратенков. – М.: Радиотехника, 2005. – 368 с.

11. Разработка тактико-технических требований к средствам помех радиоэлектронных средств, размещенных на спутниках типа «Лакросс». Разработка проекта тактико-технического задания по модернизации СПН-30: отчет о НИР (заключ.) / О. В. Воробей; шифр «Зона»; – Минск, 2008. – 205 с.

12. Охрименко, А. Е. Основы радиолокации и радиоэлектронная борьба. Ч. 1. Основы радиолокации: учеб. / А. Е. Охрименко. – М.: Воениздат, 1983. – 455 с.

13. Определение способов применения перспективных средств помех бортовым радиолокационным станциям спутников-разведчиков (типа «Лакросс»): разработка ТТЗ на ОКР: отчет о НИР / И. В. Митянов; шифр «Дрозд»; – Минск, 2009. – 185 с. – Инв. № 148/9.

14. Методика обоснования скрытности неподвижных наземных объектов / А. А. Антоненко // Наука и воен. безопасность. – 2007. – № 3. – С. 14–18.

15. Разработка облика имитационной модели средств радиолокационной разведки космического базирования: отчет о НИР / В. М. Булойчик; шифр «Вихра»; – Минск, 2009. – 86 с. – Инв. № 1520/09.

*Сведения об авторах:

Германович Инна Петровна,
Акулич Сергей Вячеславович,
УО «Военная академия Республики Беларусь».
Статья поступила в редакцию 16.08.2011 г.

**О МЕТОДЕ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ
РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ
АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ОТДЕЛЬНОЙ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ БРИГАДЫ**

УДК 623.437

В. Н. Цыганков, С. В. Долудо*

В статье рассматривается методика оценки эффективности работы ремонтно-восстановительных подразделений с использованием математических методов теории массового обслуживания.

In the article the technique of an estimation of overall performance of repair-regenerative divisions with use of mathematical methods of the theory of mass service is considered.

Выполнение многих действий, особенно военного характера, сопровождается элементами случайности. Исход планируемого действия, даже организованного строго определенным образом, не может быть точно предсказан и остается случайным. В таких ситуациях выбирается не просто характеристика исхода операции, а ее математическое ожидание (среднее значение).

В частности для оценки эффективности функционирования ремонтно-восстановительных подразделений автомобильной техники (АТ) отдельной механизированной бригады (омбр) может быть принят такой показатель, как математическое ожидание количества автомобильной техники, которое может восстановить подразделение за сутки боя.

Следует отметить, что ремонтно-восстановительные подразделения омбр имеют различную организационно-штатную структуру и производственные возможности. Способы действий этих подразделений в бою также различны, поэтому рассматривать их необходимо по отдельности с последующим обобщением результатов.

Функционирование ремонтно-восстановительных подразделений АТ омбр можно представить в виде параллельно-последовательной сети одноканальных и многоканальных систем массового обслуживания (СМО), поэтому для расчета выбранного показателя целесообразно воспользоваться разработанной для решения данного типа задач теорией.

Математический анализ работы СМО существенно облегчается, если случайный процесс, протекающий в системе, является марковским. Тогда удается сравнительно просто описать работу системы с помощью аппарата обыкновенных дифференциальных (в предельном случае – линейных алгебраических) уравнений и выразить в явном виде основные характеристики обслуживания через параметры СМО и потока заявок [2].

Процесс, протекающий в системе, считается марковским, если все потоки событий, переводящие систему из состояния в состояние, являются пуассоновскими (потоками без последствий) [2]. В процессе функционирования ремонтно-восстановительных подразделений этими потоками являются: поток поступающей неисправной техники и поток «обслуживания» данной техники каналами обслуживания.

Покажем, что поток поступающих заявок на ремонт обладает свойствами, которые позволяют представить его как простейший:

1. Моменты выхода из строя автомобильной техники и поступления в систему обслуживания – события независимые в непересекающиеся промежутки времени. Выход из строя какого-либо образца автомобильной техники не зависит от того, сколько их уже вышло из строя, так как общая численность АТ соединения велика по сравнению с количеством техники, находящейся на обслуживании в мастерской.

2. События в потоке, переводящие систему из состояния в состояние, происходят по одиночке, а не парами, тройками и т. д. Это обусловлено способом организации производственного процесса в мастерской, согласно которому на каждом канале обслуживается, как правило, только одна машина.

3. Вероятность того, что за время $(t, t + h)$ в мастерскую поступит k единиц техники, в первую очередь зависит от величины данного промежутка времени и количества посту-

пающей техники. В ходе боя, когда выход техники из строя достаточно велик, эта вероятность мало зависит от t . Чем больше количество техники в подразделении, тем меньше эта зависимость. Количество поступающих заявок на ремонт зависит от плотности, т. е. среднего ожидаемого количества заявок в единицу времени λ . Эти свойства не противоречат утверждению, что поток стационарный.

Из приведенных выше характеристик поступающего в СМО потока неисправных машин видно, что рассматриваемый поток обладает свойствами стационарности, ординарности и отсутствием последствия, что позволяет рассматривать его как простейший (стационарный пуассоновский) поток.

Проведенные ранее исследования показали, что время обслуживания заявок постами мастерской подчинено показательному закону распределения [1].

Таким образом, процесс, протекающий в системе, можно рассматривать как марковский.

Для анализа процесса, протекающего в СМО, необходимо знать основные параметры системы: интенсивность потока заявок λ , производительность каждого канала (среднее количество заявок k , обслуживаемое каналом в единицу времени), число каналов обслуживания n , условия образования очереди. В зависимости от этих параметров и будет выражаться характеристика эффективности работы СМО.

В случае когда пуассоновский поток стационарен (простейший поток), число требований в промежутке времени t распределено по закону Пуассона с параметром λt . Такой поток полностью определяется системой функций

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t} (k = 0, 1, 2 \dots).$$

Функции $P_k(t)$, если не считать t , зависят только от параметра потока λ . $P_k(t)$ есть вероятность поступления точно k требований за время $(0, t)$. Следовательно, для того чтобы дать полную характеристику потока, достаточно знать только одну величину – параметр потока λ . Для простейшего потока параметр λ равен математическому ожиданию числа требований, поступивших в систему за единицу времени. В этом можно убедиться, вычислив математическое ожидание числа требований, поступивших за промежуток времени $(0, t)$. Оно равно:

$$M_t[k] = \sum_{k=1}^{\infty} k P_k(t) = \sum_{k=1}^{\infty} k \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t} = e^{-\lambda t} \lambda t \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(\lambda t)^{k-1}}{(k-1)!}.$$

Но сумма $\sum_{k=1}^{\infty} \frac{(\lambda t)^{k-1}}{(k-1)!}$ является разложением в ряд функции $e^{\lambda t}$ по степеням λt , поэтому

$$M_t[k] = \lambda t e^{-\lambda t} e^{\lambda t} = \lambda t.$$

Следовательно, математическое ожидание числа требований за единицу времени, которое получается из выражения для $M_t[k]$ при $t = 1$, равно:

$$M_1[k] = \lambda.$$

Таким образом, для полного описания потока достаточно вычислить математическое ожидание числа требований, поступивших за единицу времени [4].

Далее необходимо определить время обслуживания. Время обслуживания – это прежде всего характеристика функционирования каждого отдельного канала обслуживающей системы. Оно показывает, сколько времени затрачивается на обслуживание одного требования данным каналом. Данный показатель ничего общего не имеет с оценкой качества обслуживания, а характеризует лишь пропускную способность одного канала.

Под влиянием различных причин время обслуживания может меняться от одного требования к другому. Эти причины в первую очередь связаны с тем, что поступающие требования не будут полностью идентичны. Автомобильная техника, поступающая в мастерскую для ремонта, как правило, имеет самые разнообразные неисправности, и даже в тех случаях, когда неисправности идентичны, время, требуемое для их устранения, может быть различным, если ремонтируется техника различных марок. Поэтому в общем случае время обслуживания является случайной величиной и, следовательно, может быть описано законом распределения.

Если обозначить время обслуживания через γ , то полной его характеристикой будет закон распределения

$$F(t) = P\{\gamma < t\} (t \geq 0).$$

Здесь функция $F(t)$ определяет вероятность того, что время обслуживания γ будет меньше некоторого наперед заданного значения t . Так как время обслуживания не может быть отрицательной величиной, то

$$F(t) = 0 \quad \text{при} \quad t < 0.$$

Функция $F(t)$, как всякая функция распределения, должна быть положительной монотонно возрастающей функцией и не должна превосходить единицу.

О том, какой конкретный вид имеет функция распределения $F(t)$, ничего нельзя сказать заранее без детального изучения обслуживающего канала. Однако, как говорилось выше, проведенные ранее исследования показали, что наиболее приемлемо экспоненциальное распределение времени обслуживания этих заявок постами мастерской. Функция распределения времени обслуживания $F(t)$ в этом случае имеет вид

$$F(t) = 1 - e^{-\mu t}.$$

Параметр μ , входящий в показательный закон распределения, имеет простой физический смысл. Величина, обратная μ , является средним временем обслуживания $\bar{t}_{об}$ (математическим ожиданием времени обслуживания). В этом также можно убедиться, вычислив математическое ожидание времени обслуживания

$$M[\varphi] = \int_0^{\infty} t dF(t) = [-te^{-\mu t}]_0^{\infty} + \int_0^{\infty} e^{-\mu t} dt = 0 - \frac{1}{\mu} [e^{-\mu t}]_0^{\infty} = \frac{1}{\mu}.$$

Следовательно, для описания потока обслуживаний необходимо вычислить математическое ожидание времени обслуживания [4].

Далее нужно определить количество машин, одновременно находящихся в системе. Оно будет состоять из машин, находящихся в ремонте, (n), т. е. занимающих один из каналов обслуживания, и машин, ожидающих в очереди, (m).

Значение n зависит от технологических возможностей мастерской по количеству машин, которые могут обслуживаться в ней одновременно.

На количество машин m будет влиять ряд основных факторов:

наличие фонда рабочего времени;
 трудоемкость текущего ремонта;
 количество ремонтников, работающих на одном канале обслуживания.

В каждом конкретном случае количество машин, находящихся в очереди, будет зависеть от обстановки и определяться должностным лицом, организующим работу ремонтного подразделения.

Таким образом, определив основные параметры системы: интенсивность потока заявок λ , производительность каждого канала (среднее количество заявок μ , обслуживаемое каналом в единицу времени), число каналов обслуживания n и условия образования очереди m , необходимо перейти к определению состояний, в которых может находиться система.

Состояния системы пронумеруем по числу связанных с ней заявок:

S_0 – все каналы свободны,

S_1 – занят один канал, остальные свободны,

.....
 S_k – занято k каналов, остальные свободны,

.....
 S_n – заняты все n каналов,

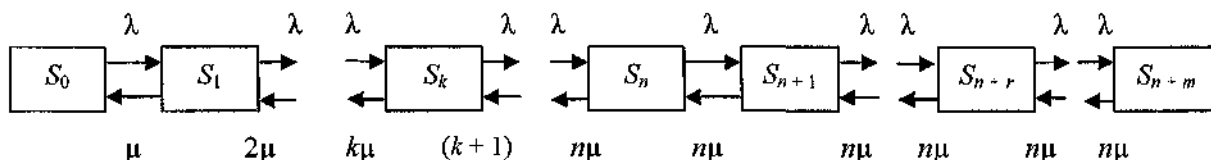
S_{n+1} – заняты все n каналов, одна заявка стоит в очереди,

S_{n+r} – заняты все n каналов, r заявок стоят в очереди,

.....
 S_{n+m} – заняты все n каналов, m заявок стоят в очереди

Граф состояний системы представлен на рисунке.

У каждой стрелки проставлены соответствующие интенсивности потоков событий. По стрелкам слева направо систему переводит всегда один и тот же поток заявок с интенсивностью λ ; по стрелкам справа налево систему переводит поток обслуживаний, интенсивность которого равна количеству заявок μ , умноженному на число занятых каналов.



Граф на рисунке представляет собой схему «гибели и размножения», решение для которой в общем виде уже получено [3]. Напишем выражения для предельных вероятностей состояний, обозначая $\rho = \lambda/\mu$:

$$P_0 = \left[1 + \frac{\rho}{1!} + \frac{\rho^2}{2!} + \dots + \frac{\rho^n}{n!} \times \frac{\rho/n - (\rho/n)^{m+1}}{1 - \rho/n} \right]^{-1},$$

$$P_1 = \frac{\rho}{1!} P_0, \quad P_2 = \frac{\rho^2}{2!} P_0, \quad \dots, \quad P_n = \frac{\rho^n}{n!} P_0, \quad P_{n+1} = \frac{\rho^{n+1}}{nn!} P_0, \quad P_{n+2} = \frac{\rho^{n+2}}{n^2 n!} P_0,$$

$$P_{n+m} = \frac{\rho^{n+m}}{n^m n!} P_0.$$

Вероятность того, что пришедшая заявка будет обслужена, дополняет вероятность отказа до единицы:

$$P_{\text{обсл}} + P_{\text{отк}} = 1.$$

Поступившая заявка получит отказ, если все каналы и места в очереди ожидания обслуживания заняты. Вероятность этого события равна:

$$P_{\text{отк}} = \rho_{n+m} = \frac{\rho^{n+m}}{n^m m!} \rho_0.$$

Соответственно вероятность обслуживания пришедшей заявки:

$$P_{\text{обсл}} = 1 - P_{\text{отк}} = 1 - \frac{\rho^{n+m}}{n^m m!} \rho_0.$$

Отсюда математическое ожидание количества обслуженных заявок (машин в час):

$$A = \lambda P_{\text{обсл}}.$$

Предметом теории массового обслуживания является установление зависимости между характером потока заявок, числом каналов, их производительностью, правилами работы СМО и эффективностью обслуживания. Рассматривая работу ремонтно-восстановительных подразделений АТ омбр как СМО и используя математический аппарат, разработанный для решения задач данного типа, можно ответить на любой вопрос, связанный с процессом работы системы, а также оценить ее эффективность с помощью различных показателей и функций.

Важно отметить, что предложенный подход к оценке эффективности рассматривает работу системы в целом, что позволяет наиболее полно прогнозировать эффективность восстановления АТ в бою.

Кроме того, отличительной особенностью предлагаемого подхода является, с одной стороны, достаточная простота программной реализации (программное обеспечение с относительно небольшими вычислительными процедурами), а с другой – наглядность и информативность, а значит понимание лицом, принимающим решение, сущности оценки.

Литература

1. Цыганков, В. Н. Повышение эффективности системы восстановления автомобильной техники в корпусной оборонительной операции: дисс. ... канд. воен. наук: 20.01.04 / В. Н. Цыганков. – Минск, 1999. – 256 л.
2. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей: учеб. для ВУЗов / Е. С. Вентцель. – М.: Высш. шк., 1999. – 576 с.
3. Вентцель, Е. С. Исследование операций / Е. С. Вентцель. – М.: Сов. радио, 1972. – 552 с.
4. Розенберг В. Я. Что такое теория массового обслуживания / В. Я. Розенберг, А. И. Прохоров. – М.: Сов. радио, 1965. – 255 с.

*Сведения об авторах:

Цыганков Виктор Николаевич,
Долудо Сергей Валерьевич,
УО «Военная академия Республики Беларусь».
Статья поступила в редакцию 20.10.2011 г.

ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ ОПТИМИЗАЦИИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ МАТЕРИАЛЬНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОЙСК В ХОДЕ БОЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ, И СПОСОБЫ ИХ РЕШЕНИЯ

УДК 355.41

Д. Ю. Богданов*

В статье рассматриваются проблемы, связанные с использованием некоторых моделей оптимизации, применяемых при планировании материального обеспечения войск в ходе боевых действий, а также предлагаются альтернативные способы их решения

In article the problems connected with use of some models of optimisation, applied are considered at planning of material maintenance of armies during operations, and also alternative ways of their decision are offered

Последние годы строительства и развития Вооруженных Сил Республики Беларусь ознаменовались существенными изменениями во взглядах на формы и способы ведения войсками боевых действий (операций). Очевидной становится и необходимость изыскания новых вариантов построения и функционирования системы материального обеспечения (СМО) войск. Эта необходимость обусловлена как внешними по отношению к системе условиями (факторами): изменением способов ведения боевых действий эвентуальным противником, развитием комплекса применяемых в современных вооруженных конфликтах средств противодействия (разведки и поражения), так и внутренними характеристиками самой СМО: ограниченным количеством материальных средств (МС), их высокой стоимостью, высокой затратностью процессов содержания и доставки ресурсов от поставщика до потребителя и т. д.

Анализ процесса выработки и реализации решения на организацию МО войск в предстоящих действиях [4] позволяет подразделить мероприятия (задачи), осуществляемые (решаемые) в СМО войск, на организационно-теоретические и организационно-практические (рисунок 1).

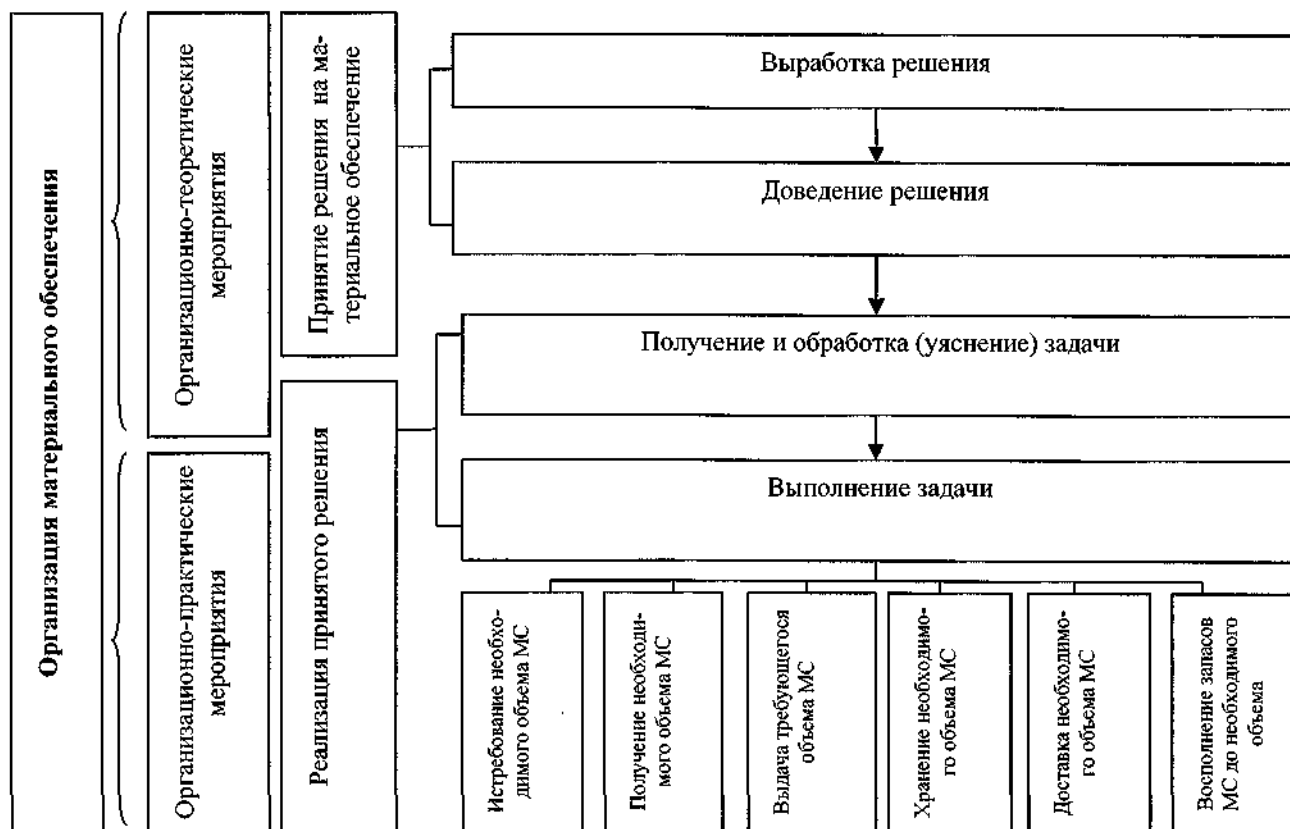


Рисунок 1 – Выработка и реализация решения на организацию материального обеспечения

При этом наиболее перспективные с точки зрения возможности применения оптимизационных средств [1] организационно-теоретические процессы (задачи), происходящие (решаемые) в СМО, могут быть конкретизированы в функциональной модели системы (рисунок 2).



Рисунок 2 – Функциональная модель системы материального обеспечения

Из рисунка 2 видно, что основными задачами, решаемыми в СМО в ходе ее функционирования, в настоящее время являются:

1. Прогнозирование потребности (расхода и потерь) в МС на предстоящие действия.
2. Уточнение обеспеченности (фактического наличия МС).
3. Распределение МС ресурса и партий МС по поставщикам и потребителям.

Для формализованной постановки, математического моделирования и количественного (качественного) решения указанных задач в заданных (известных) условиях может применяться различный научно-методический аппарат, в частности методы теории исследования операций. Вместе с тем, принятые в настоящее время в теории и практике организации МО войск общелогические и математические методы выработки решения и планирования МО, по мнению автора, несовершенны и требуют корректировки.

Рассмотрим методы решения сформулированных выше задач.

1. Прогнозирование потребности в материальных средствах

Потребность в МС определяется по следующей зависимости:

$$Q_i = Q_i^P + Q_i^R - Q_i^Z,$$

где Q_i – математическое ожидание (МОЖ) потребности в i -х МС, расчетно-снабженческая единица (РСЕ);

Q_i^R – МОЖ расхода i -х МС, РСЕ;

Q_i^P – МОЖ потерь i -х МС, РСЕ;

Q_i^Z – МОЖ необходимого уровня запасов i -х МС к концу операции, обусловленное характером последующих действий, РСЕ.

Прогнозирование расхода МС по принятой в настоящее время методике осуществляется на основе оценки:

математического ожидания среднесуточного расхода МС в нормальных условиях;

напряженности ведения боевых действий по периодам операции – выражается соответствующим коэффициентом;

места, роли того или иного соединения (части, подразделения) в оперативном построении (боевом порядке) – выражается соответствующим коэффициентом;

протяженности отрезка времени выполнения боевой задачи в заданном режиме – выражается соответствующим коэффициентом и т. д.

Прогнозируемый расход при этом определяется по выражению

$$Q_i^R = q_i^N (k_1 k_2 \dots k_n) t,$$

где q_i^N – МОЖ среднесуточного расхода i -х МС, РСЕ;

$k_1 k_2 \dots k_n$ – повышающие коэффициенты;

t – продолжительность периода планирования, сут.

При прогнозировании потерь МС обычно исходят из того, что их размер и структура зависят от характера выполняемых обеспечиваемыми соединениями (воинскими частями, подразделениями) задач, а также степени воздействия противника на них и на систему МО:

$$Q_i^P = (\gamma q_i^P) t, \quad (3)$$

где Q_i^P – МОЖ предполагаемых суммарных потерь i -го вида МС, РСЕ,

γ – коэффициент, учитывающий степень воздействия противника на СМО;

q_i^P – МОЖ предполагаемых потерь i -го вида МС в зависимости от характера выполняемых задач (включая боевые и эксплуатационные потери), РСЕ.

Приведенная выше методика прогнозирования (наборы и величины коэффициентов) была разработана на основе опыта крупномасштабных учений 80-х годов XX века. Вместе с тем, как уже было сказано, в последние годы происходят существенные изменения в формах и способах ведения боевых действий (операций) как эвентуальным противником, так и Вооруженными Силами Республики Беларусь: исчезают линии сплошного противостояния группировок противоборствующих войск, боевые действия приобретают очаговый и высококомандный характер, при этом существенно возрастают их интенсивность и динамичность, на первое место выходят развитые технологии боевых действий и процессов их обеспечения за счет внедрения принципиально новых боевых и обеспечивающих систем. Эти изменения требуют пересмотра устаревшей методики прогнозирования потребности в МС, применение которой в неизменном виде становится практически неприемлемым. Так, при проведении контртеррористических операций в Северо-Кавказском регионе Российской Федерации зафиксированные величины среднесуточного расхода горючего (по автобензину 0,4–0,45 заправки, по дизельному топливу 0,5–0,55 заправки) превысили МОЖ, определенное по традиционной методике (по автобензину 0,22 заправки, по дизельному топливу 0,27 заправки) вдвое [9].

Совершенствование методики прогнозирования путем экспериментального определения актуальных значений используемых коэффициентов возможно, однако для этих целей потребовалось бы проведение в исследовательских целях ширококомандных учений Вооруженных Сил, что потребует экономических затрат недопустимо высокого уровня. Вследствие этого возрастает интерес к исследованию возможностей применения для прогнозирования расхода и потерь МС методов статистического прогнозирования, в том числе адаптивных методов прогнозирования на основе экспоненциального сглаживания временного ряда [5, 6].

Краткосрочное прогнозирование динамики временного ряда с использованием экспоненциальной средней осуществляется по формуле [5]:

$$S_{t+1} = S_t + a(y_t - S_t),$$

где S_t – значение экспоненциальной средней в момент t ;

a – параметр сглаживания, $a = \text{const}$, $0 < a < 1$;

y_t – значение временного ряда в момент t .

Новый прогноз S_{t+1} при этом получается в результате корректировки предыдущего прогноза с учетом его ошибки ($y_t - S_t$). В этом и состоит адаптация модели.

Для временных рядов с тенденцией линейного роста прогнозирование может осуществляться по выражению

$$S_{t+1} = \hat{b}_{1,t} + \hat{b}_{2,t} \tau,$$

где $\hat{b}_{1,t}$ и $\hat{b}_{2,t}$ – текущие оценки коэффициентов модели;

τ – время упреждения прогноза.

Оценка значений коэффициентов $\hat{b}_{1,t}$ и $\hat{b}_{2,t}$ производится в соответствии со следующими рекуррентными формулами:

$$\hat{b}_{1,t} = \hat{b}_{1,t-1} + \hat{b}_{2,t-1} + a_1 e_t;$$

$$\hat{b}_{2,t} = \hat{b}_{2,t-1} + a_1 a_2 e_t,$$

где a и a_2 – параметры экспоненциального сглаживания (адаптации), $0 < a_1, a_2 < 1$;

$e_t = y_t - S_t$ – ошибка прогноза.

Первоначальные значения коэффициентов $\hat{b}_{1,t-1}$ и $\hat{b}_{2,t-1}$ могут быть получены с помощью метода наименьших квадратов в результате решения системы уравнений

$$\begin{cases} \hat{b}_{1,t} + \hat{b}_{2,t} \sum_{i=1}^n t_i = \sum_{i=1}^n y_i; \\ \hat{b}_{1,t} \sum_{i=1}^n t_i + \hat{b}_{2,t} \sum_{i=1}^n t_i^2 = \sum_{i=1}^n t_i y_i, \end{cases}$$

где n – число предварительных этапов наблюдения;

i – порядковый номер этапа наблюдения;

t_i – этап появления информации ($t_1 = 0, t_2 = T, t_3 = 2T$);

y_i – фактическое значение наблюдаемого параметра на i -м этапе наблюдения.

Наиболее приемлемые значения параметров адаптации a_1 и a_2 подбираются методом наименьших квадратов.

Экспериментальная проверка на примере прогнозирования потребности в МС общевойскового соединения в ходе оборонительной операции по опыту КШУ 2009–2011 годов показала практическую приемлемость предложенного метода прогнозирования (средняя относительная ошибка прогноза по модулю находится в пределах 5%). При этом прогнозирование на основе экспоненциального сглаживания не требует продолжительной истории наблюдений. Кроме того, метод придает большую ценность последним наблюдениям, то есть позволяет учесть, как будет развиваться тенденция, существующая в данный момент, а не тенденцию, сложившуюся в среднем за весь рассматриваемый период. Это очень существенно для прогнозирования в динамичной обстановке современного боя (операции). При этом модель является самокорректирующейся (адаптивной), то есть в повторном цикле прогнозирования реагирует на ошибку прогноза, имевшую место в предыдущем периоде.

2. Уточнение обеспеченности материальными средствами

Задача уточнения обеспеченности МС является, по сути, элементарной управленческой задачей сбора и обработки данных, решаемой по критерию минимизации временных затрат. МО войск в ходе боевых действий (операций) в настоящее время организуется на основании анализа представляемых в органы управления тылом «снизу вверх» отчетно-заявочных документов. По установленным в нормативных документах положениям отчет (в виде сводки по тылу) о наличии МС подается, как правило, в конце дня боя (операции). Сроки его разработки и представления в вышестоящее звено управления строго регламентированы, но вместе с тем предполагают определенную информационную задержку (время для обработки и обобщения данных на каждом из вышестоящих уровней управления). Такая информационная задержка, по опыту учений, может составлять: в войсковом звене до 2 ч, в оперативном – около 4–5 ч.

В результате к моменту t' завершения обработки данных о фактическом наличии МС на время t подачи сводки фактическое наличие МС уменьшается на величину израсходованных за это время МС ($Q_i^R(t' - t)$): $Q_i^N(t') = Q_i^N(t) - Q_i^R(t' - t)$ и в полной мере не учитывается (это может привести к итоговой недопоставке (ΔQ_i) МС, равной сумме расхода и потерь МС за период запаздывания поставки). Избежать этого возможно путем включения в алгоритм

оценки обеспеченности (фактического наличия) МС дополнительного показателя – интенсивности расхода МС ($q_i^R(t)$, РСЕ/ч).

В перспективе необходимо создание логической и технической систем мониторинга наличия и движения МС на всех уровнях и во всех элементах СМО, например на операционном направлении в целях реализации избранной стратегии управления запасами по единому плану (замыслу).

3. Распределение по потребителям МС

Определяющим условием в ходе моделирования процесса распределения поставок МС между поставщиками и потребителями выступает соотношение друг с другом размеров заявленной потребителями потребности в МС и фактическим наличием этих МС у поставщиков.

Если заявляемая потребность не превышает фактического наличия МС данного вида у поставщиков (ситуация профицита), то, как правило, формулируется и решается задача рационального распределения потребителей по поставщикам в целях минимизации издержек на доставку МС. При этом, по сути, ведется поиск наиболее рациональных маршрутов перемещения известных (соответствующих потребности) партий МС. Заявки потребителей в данном случае удовлетворяются в полном объеме, а излишек МС (размер превышения фактического наличия над потребностью) относится в резерв. Задачи такого типа достаточно полно исследованы [2, 3, 7], относятся, как правило, к задачам целочисленного линейного программирования. В теории исследования операций они классифицированы как транспортные.

Постановка и формализация задачи [7]. Имеется m поставщиков и n потребителей по M видам МС. Потребности потребителей составляют a_{iz} , а запасы у поставщиков b_{jz} , $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$, $z = \overline{1, M}$. Затраты на доставку МС z -го вида из j -го источника i -му потребителю – c_{ijz} , $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$, $z = \overline{1, M}$. Количество заявленных потребителями МС по каждому виду не превышает их фактического наличия: $\sum_{i=1}^n a_{iz} \leq \sum_{j=1}^m b_{jz}$, $z = \overline{1, M}$. Требуется минимизировать затраты на поставку.

Математическая модель имеет вид

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{z=1}^M c_{ijz} x_{ijz} \rightarrow \min,$$

при условиях:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n x_{ijz} \leq b_{jz}, i = \overline{1, n}, z = \overline{1, M}, \\ \sum_{j=1}^m x_{ijz} = a_{iz}, j = \overline{1, m}, z = \overline{1, M}, \\ x_{ijz} = 0, 1, 2, \dots, \forall i, j, z, \end{cases}$$

где x_{ijz} – количество МС z -го вида, направляемых от j -го поставщика к i -му потребителю.

Вместе с тем, данная модель не учитывает ряд достаточно существенных (а иногда и решающих) факторов: проходимость и пропускную способность различных участков транспортных коммуникаций, возможности поставщиков по отгрузке в единицу времени, ограничения по размеру минимальной партии груза, обусловленные принятой тактикой действий подразделений (частей) подвоза, и т. п. Учет этих факторов в виде дополнительных ограничений в начальной модели как минимум – затруднителен, как максимум – невозможен, поэтому целесообразным представляется поиск вероятностных моделей функционирования

подсистемы подвоза МС с последующим решением задачи линейного программирования по критерию максимизации вероятной результативности обеспечения.

Система МО Вооруженных Сил спроектирована таким образом, чтобы обеспечивать (по уровню содержания запасов МС и возможностям транспорта подвоза в каждом из звеньев системы) бездефицитное обеспечение МС войск на всех этапах эскалации и развертывания военного конфликта. Вместе с тем, условия функционирования СМО войск в военное время обладают достаточно высокой степенью неопределенности, вследствие чего исключать ситуацию дефицита МС при планировании МО войск нельзя.

Распределение ресурса МС в условиях их дефицита на практике, как правило, осуществляется:

в порядке уменьшения приоритета потребителей;
пропорционально размеру потребностей частей и подразделений с учетом общей обеспеченности.

В первом случае алгоритм распределения МС строится следующим образом:

а) выбираются части (подразделения) с наивысшим приоритетом, для которых количество отпускаемых МС определяется по следующей зависимости:

$$Q_{ij}^K = \begin{cases} Q_{pij}^K, & \text{если } Q_i^K \geq Q_{pij}^K, \\ Q_i^K, & \text{если } Q_i^K < Q_{pij}^K, \end{cases}$$

где Q_{ij}^K – количество МС i -го вида, выделенное j -му соединению (части) на K -м этапе распределения;

Q_i^K – имеющийся в наличии ресурс МС i -го вида на K -м этапе распределения;

Q_{pij}^K – потребность j -го соединения (части) в i -м виде МС на K -м этапе распределения.

б) из оставшегося количества МС $\Delta Q_i^K = Q_i^K - Q_{ij}^K$ пропорционально потребности обеспечиваются оставшиеся части и подразделения.

Достоинствами данного метода является реализация принципа сосредоточения усилий на главном направлении (соединения и воинские части обеспечиваются в соответствии с назначенным в зависимости от характера и важности решаемых ими задач приоритетом). Недостаток метода состоит в том, что он допускает отказ в удовлетворении заявок с низким приоритетом при низкой общей степени обеспеченности.

Во втором случае имеющиеся запасы МС Q_{ij} распределяются по этапам операции (боевых действий) следующим образом:

$$Q_{ij}^K = \frac{Q_i^K Q_{pij}^K}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^m Q_{pij}^K}, \text{ если } Q_i^K < \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^m Q_{pij}^K,$$

где N – номенклатура распределяемых МС;

m – количество соединений (частей).

Достоинством данного метода является равномерность распределения ресурса, не допускающая отказов в удовлетворении заявки, недостатком – отсутствие возможности реализации одного из основных принципов МО – сосредоточения усилий на главном направлении (соединения и воинские части обеспечиваются пропорционально общей обеспеченности вне зависимости от характера и приоритета решаемых ими задач).

Анализ недостатков рассмотренных выше методов делает целесообразным поиск нового метода, который позволил бы их избежать.

Для достижения поставленной цели возможно использовать следующий алгоритм:

если $Q_i^K - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^m Q_{pij}^K < 0$, то Q_i^K распределяется пропорционально относительной важности (приоритета) и потребности каждой части, подразделения:

$$Q_{ij}^k = (1 - \gamma) \frac{Q_i^k a_j}{\sum_{j=1}^m a_j} + \gamma \frac{Q_i^k Q_{pij}^k}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Q_{hij}^k},$$

где a_j – коэффициент приоритета j -й части (подразделения);

γ – коэффициент, отражающий общий уровень обеспеченности в i -х МС на K -м этапе:

$$\gamma = \frac{\left| \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^m Q_{pij}^k - Q_i^k \right|}{Q_i^k}.$$

При этом для всех потребителей необходимо соблюдать следующие ограничения:

1. Выделяемый ресурс МС не должен превышать потребности в них: $Q_{ij}^k \leq Q_{pij}^k$.
2. Отказ в обслуживании недопустим: $Q_{ij}^k > 0$.

Для поддержания СМО в боеспособном состоянии необходимо обеспечить поддержание ЗМС на уровне, не ниже критического. Критическим уровнем может считаться такая величина запасов, при которой СМО утрачивает боеспособность. Критический уровень ЗМС в зависимости от их вида может быть различным. Таким образом, ограничение 2 может принимать вид

$$Q_{ij}^k \geq c Q_{pij}^k,$$

где c – коэффициент, определяющий критический уровень запасов i -го наименования.

Коэффициент приоритета a_j , отражающий полезность элемента в общей системе, может определяться различными способами (методами), в частности методом экспертных оценок, или решением ответственного должностного лица. Вместе с тем, по мнению автора, в данном случае целесообразно применять метод относительных предпочтений [8], который по сравнению с методом экспертных оценок требует гораздо меньших административных и временных затрат, а по сравнению со второй названной альтернативой позволяет существенно снизить степень произвольности принимаемого решения.

Предложенный метод распределения ресурса МС, с одной стороны, оценивая относительную важность потребителей (их весомость в выполнении общей задачи), позволяет реализовать принцип сосредоточения основных усилий СМО на главном направлении. С другой стороны, оценивая «веса» заявленных потребностей и вводя ограничения по критическому уровню запасов, позволяет поддерживать запасы МС у всех потребителей на приемлемом уровне и не допускать отказа в их обслуживании СМО.

Таким образом, в статье рассмотрены проблемы применения существующих моделей, методов оптимизации, используемых при решении основных задач планирования МО войск в ходе боевых действий (операций), а также предложены направления совершенствования и корректировки этих моделей, методов. Применение предложенных моделей, методов является предпочтительной альтернативой принятым в теории и практике организации МО войск методам, зачастую полагающимся на опыт и интуицию ответственных должностных лиц, а также одним из перспективных направлений совершенствования СМО в целом.

Литература

1. Богданов, Д. Ю. Структурная и функциональная модели системы материального обеспечения войск оперативного объединения и принципы классификации решаемых задач / Д. Ю. Богданов // Сб. науч. ст. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2011. – № 20. – С. 41–44.
2. Вентцель, Е. С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология: учеб. пособие для вузов / Е. С. Вентцель. – М.: Дрофа, 2006.
3. Вентцель, Е. С. Исследование операций / Е. С. Вентцель. – М.: Сов. радио, 1972.

4. Горбач, С. А. Научно-методический аппарат оценки эффективности системы материального обеспечения Вооруженных Сил / С. А. Горбач, Д. В. Мацнев, Д. Ю. Богданов // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2011. – № 3. – С. 44–49.
5. Дуброва, Т. А. Статистические методы прогнозирования: учеб. пособие для вузов / Т. А. Дуброва. – М.: Юнити-Дана, 2003. – 206 с.
6. Жуков, Г. П. Военно-экономический анализ и исследование операций / Г. П. Жуков, С. Ф. Викулов. – М.: Воениздат, 1987. – 440 с.
7. Лисейчиков, Н. И. Техническое, тыловое обеспечение войск по опыту войн, вооруженных конфликтов: моделирование и оптимизация процессов: пособие / Н. И. Лисейчиков, А. В. Штыров, С. Н. Хандошко. – Минск: ВА РБ, 2010.
8. Саати, Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Л. Саати. – М.: Радио и связь, 1989. – 316 с.
9. Тыловое обеспечение объединенной группировки войск при проведении контртеррористических операций в Северо-Кавказском регионе Российской Федерации: пособие / И. К. Кузнецов [и др.] – Минск: ВА РБ, 2007.

*Сведения об авторе:
Богданов Денис Юрьевич,
УО «Военная академия Республики Беларусь».
Статья поступила в редакцию 23.09.2011 г.

**ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ОРГАНОВ ВНУТРЕННИХ ДЕЛ И ВНУТРЕННИХ ВОЙСК
МИНИСТЕРСТВА ВНУТРЕННИХ ДЕЛ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

УДК 351.75

А. В. Железняков, К. Е. Алиев*

В данной статье авторы рассматривают основные формы, методы и проблемы взаимодействия органов внутренних дел с внутренними войсками МВД Республики Казахстан при выполнении задач по обеспечению общественного порядка и общественной безопасности.

In given article authors consider the basic forms, methods and problems of interaction of law-enforcement bodies with Internal troops of the Ministry of Internal Affairs of Republic Kazakhstan at performance of problems on maintenance of a public order and public safety.

Происходящие в Республике Казахстан радикальные социально-экономические и политические преобразования во многом затрудняются вследствие обострения криминогенной обстановки в стране, что требует от правоохранительных органов максимальной концентрации усилий на главных направлениях противодействия агрессивной преступной среде, на стадиях разработки и реализации адекватных ее проявлениям стратегии и тактики борьбы с организованными преступными группами.

«Широкий комплекс различных мероприятий, осуществляемых внутренними войсками (ВВ) совместно с органами внутренних дел (ОВД), играет важную роль в борьбе с преступностью, в поддержании общественного порядка и обеспечении общественной безопасности. Взаимодействие, как важнейшая функция управления, является той основой, на которой базируется их реализация» [1].

Взаимодействие, согласно утвержденным приказом Министра внутренних дел Республики Казахстан от 10 января 2003 года Правилам боевой службы ВВ МВД Республики Казахстан, организуется по целям, задачам, объектам, рубежам, направлениям, месту, времени и способам выполнения задач. Основные вопросы взаимодействия определяются командиром воинского соединения (части), разрабатываются штабом и отражаются в плане основных мероприятий, в плане работы штаба, служб, других документах, а также в плановой таблице или схеме взаимодействия [2]. Вместе с тем следует отметить, что взаимодействие организуется как между службами, так и с органами, учреждениями внутренних дел и ВВ, функционирующими вне этой системы. Поэтому следует различать организацию внутреннего и внешнего взаимодействия.

Практика показывает, что помимо организации постоянного взаимодействия, как естественного процесса, осуществляемого в ходе повседневной деятельности, необходимо выделять организацию временного взаимодействия, целью которого является решение разовых задач, после чего оно прекращается (организация рейдов, обеспечение охраны общественного порядка во время массовых мероприятий).

Деятельность по организации взаимодействия включает в себя два основных направления: взаимодействие в целом при решении общих задач и при решении отдельных вопросов. Формы и методы взаимодействия подразделений ВВ МВД Республики Казахстан и ОВД при обеспечении общественного порядка и безопасности в основном сложились и закрепились на практике.

Процесс выбора и использования формы и метода взаимодействия подразделений ВВ МВД Республики Казахстан и ОВД при обеспечении общественного порядка и безопасности зависит прежде всего от личного опыта и степени подготовки войсковых командиров и руководителей органов внутренних дел и является в какой-то мере традиционным.

При резких изменениях оперативной обстановки и в ходе применения привлеченных сил и средств даже заранее спланированное взаимодействие нуждается в уточнении, корректировке, а в ряде случаев – и в новой его организации. В таких ситуациях вследствие различных объективных и субъективных причин совместная деятельность значительно затрудняется, поэтому поиск путей повышения эффективности взаимодействия ВВ и ОВД, выработка оптимальной его модели вырастают в проблему, требующую незамедлительного решения.

Основными вопросами, подлежащими согласованию между частями войск, органами, образовательными учреждениями МВД Республики Казахстан и другими силами, привлекаемыми к охране общественного порядка и обеспечению общественной безопасности, являются: порядок оповещения, поддержание связи, обмен информацией, оказание взаимопомощи, установление границ районов зон ответственности, распределение задач и функций при пресечении массовых эксцессов, отношения подчиненности.

При организации взаимодействия по охране общественного порядка и обеспечению общественной безопасности путем несения патрульной службы командир соединения, воинской части, начальник военно-учебного заведения ВВ и старший оперативный начальник дополнительно определяют: время и порядок выхода войсковых нарядов на места несения службы; совместные действия военнослужащих ВВ и сотрудников ОВД при осложнении обстановки и возникновении чрезвычайных ситуаций; порядок доставки задержанных граждан; порядок сбора войсковых нарядов в ОВД.

При организации взаимодействия в обеспечении общественного порядка и безопасности при проведении массовых мероприятий старший оперативный начальник и командир соединения (воинской части, начальник военно-учебного заведения) ВВ дополнительно определяют:

время и последовательность сосредоточения сил и средств в районе несения службы и занятии ими исходного положения;

порядок оцепления района проведения массового мероприятия и освобождения его от посторонних лиц;

порядок совместных действий при осложнении обстановки (скоплении граждан, угрозе прорыва и прорыве линии оцепления, пресечении бесчинств и провокаций хулиганствующих элементов, возникновении паники), а также при чрезвычайных ситуациях;

порядок доставки и место передачи задержанных нарушителей органам внутренних дел;

места сбора подразделений (войсковых нарядов) после выполнения задачи и порядок следования в пункт дислокации;

порядок и сигналы взаимного опознавания, пароль и пропуск [2].

Личный состав органов внутренних дел и подразделения ВВ МВД Республики Казахстан прибывают к месту проведения массовых мероприятий за 2 часа 30 минут. Особый режим на спортивном, культурном или ином сооружении и прилегающей к нему территории вводится за 2 часа до начала соревнований, вход зрителей – за 1 час. По команде руководителя штаба перед началом и после окончания мероприятия проводится проверка трибун сооружения и прилегающей к нему территории в целях выявления и изъятия посторонних объектов, создающих опасность для участников, зрителей (строительный мусор, способный к возгоранию), и допустимых к использованию в качестве метательных предметов (кирпичи, камни, тротуарная плитка и др.) [3].

Согласование усилий взаимодействующих сторон организуется руководителем оперативного штаба, его заместителем, а также должностными лицами по их поручению. Это осуществляется при планировании действий, на совместных учениях, занятиях, совещаниях, в процессе разработки служебных документов. Основные направления работы по повышению

эффективности взаимодействия ВВ и ОВД целесообразно рассматривать в двух аспектах: при заблаговременной его реализации и в ходе выполнения задач при чрезвычайных ситуациях [4].

Правила боевой службы ВВ МВД Республики Казахстан излагают задачи, по которым воинские соединения (части) должны взаимодействовать между собой, с администрацией охраняемых объектов, ОВД и другими силами, и предлагается ориентировочный расчет сил и средств для совместных действий и оказания взаимопомощи; определяют, с кем следует устанавливать взаимодействие штабу и службам, по каким вопросам и какому сроку, указывается порядок взаимного информирования. Положения Правил боевой службы ВВ МВД Республики Казахстан и перечень обязанностей командира соединения (части) отражают объем работы, проводимой им при налаживании взаимодействия с различными учреждениями. Практика свидетельствует о необходимости освобождения командира соответствующего подразделения ВВ МВД Республики Казахстан от решения вопросов, отвлекающих его от выполнения основных функциональных обязанностей.

Подобный подход, предусматривающий уменьшение объема менее значимой работы, будет одним из направлений совершенствования деятельности командиров и штабов соединений, частей ВВ и руководителей ОВД по организации и поддержанию взаимодействия. По мнению авторов, указанный подход не повлечет за собой каких-либо упущений.

В настоящее время особую актуальность приобрела систематизация вопросов, подлежащих согласованию с заинтересованными сторонами. Командиры подразделений ВВ и начальники ОВД, заблаговременно принимая решения о выполнении задач в особых условиях и руководствуясь правовыми и нормативными актами МВД Республики Казахстан, обязаны отрабатывать специальные планы взаимодействия. В ходе такого планирования возникает ряд вопросов, требующих урегулирования с взаимодействующими органами. Указанные планы утверждаются старшим оперативным начальником. Следовательно, совместная деятельность должна быть организована заранее, на стадии составления данных планов и при их корректировке.

Существенными недостатками при осуществлении совместной деятельности подразделений ВВ МВД Республики Казахстан и ОВД, по мнению авторов, является отсутствие единой структуры планов, дублирование задач при различных чрезвычайных обстоятельствах, нечеткое определение порядка действий должностных лиц на разных этапах развития чрезвычайной ситуации. В связи с этим представляется целесообразным на уровне ОВД, РУВД, ДВД и МВД Республики Казахстан иметь оперативный план взаимодействия подразделений ВВ МВД Республики Казахстан и ОВД с различными вариантами действий.

На современном этапе мероприятия по организации взаимодействия ВВ и ОВД отражаются в планах работы ДВД, РУВД и ОВД, но они зачастую изложены бессистемно. В таких планах целесообразно выделять самостоятельный раздел, в котором должны предусматриваться:

- мероприятия, осуществляемые командованием подразделения ВВ МВД Республики Казахстан совместно с территориальными ОВД, с указанием места и времени их проведения;
- выезды соответствующих руководителей во взаимодействующие органы для уточнения и совместной проверки решения ранее согласованных вопросов;
- порядок проверки подлинности планов действий соединений и частей ВВ при чрезвычайных обстоятельствах с участием взаимодействующих сторон;
- меры по улучшению организации взаимодействия в системе тылового обеспечения.

План основных мероприятий, представленный в таком виде, более полно и детально, на наш взгляд, раскроет основной смысл взаимодействия, покажет способы его

реализации в интересах успешного решения задач ВВ и ОВД, функционирующими в особых условиях.

Вместе с тем следует отметить, если способы доведения до исполнителей определенного порядка взаимодействия во ВВ в целом ясны, то приемы информирования об этом ОВД отработаны не полностью и не нашли закрепления в ведомственных правовых актах. К способам доведения до исполнителей соответствующей информации можно отнести:

приглашение руководителей взаимодействующих сторон в штаб подразделения;
совместные занятия и учения по планам действий при чрезвычайных обстоятельствах;

обмен различными документами и др.

Однако, как показывает практика, здесь возникают значительные трудности, поскольку командиры подразделений ВВ МВД Республики Казахстан и ОВД и других силовых структур друг другу не подчинены, а взаимодействие организуется на основе решения старшего оперативного начальника. Кроме того, необходимо иметь в виду, что совместные задачи решаются и во время деловых встреч, личных контактов субъектов взаимодействия путем согласования возникающих вопросов. Всемерное развитие и нормативное закрепление таких связей тоже является одним из направлений объединения соответствующих усилий [5].

Анализ совместной практической деятельности соединений, частей ВВ МВД Республики Казахстан и ОВД позволяет определить наиболее важные задачи взаимодействующих сторон. Их суть сводится прежде всего к обеспечению:

единства понимания всеми командирами и руководителями взаимодействующих сторон замысла старшего оперативного начальника;

твердого знания заинтересованными лицами поставленных задач и способов совместных действий по их выполнению;

правильного уяснения содержания решаемых служебных задач всем личным составом взаимодействующих структур;

систематического взаимного обмена информацией об обстановке между командирами соединений и частей ВВ и начальниками ОВД;

непрерывной, устойчивой и надежной связи между пунктами управления взаимодействующих сторон;

совместной разработки наиболее важных документов по организации служебной деятельности в неординарной обстановке;

заблаговременного согласования намеченных мероприятий по выполнению соответствующих приказов, директив МВД Республики Казахстан и иных нормативных актов;

совместного контроля за выполнением приказов, директив, распоряжений, планов и согласованных мероприятий, оказанием взаимной практической помощи;

своевременного доведения до всех сил порядка взаимодействия в соответствии с уточненным или вновь принятым решением (планом действий);

установления и освоения всеми органами управления единой системы сигналов взаимодействия.

В вышеуказанном плане целесообразно предусмотреть порядок взаимодействия подразделений ВВ МВД Республики Казахстан и ОВД при проведении массовых мероприятий, при осуществлении охраны общественного порядка и обеспечения общественной безопасности в особых условиях, а также в условиях чрезвычайного положения.

Исходя из вышеизложенного в целях совершенствования взаимодействия подразделений и частей ВВ МВД Республики Казахстан и ОВД представляется целесообразным внесение соответствующих изменений в законодательные акты Республики Казахстан о порядке и принципах взаимодействия указанных субъектов. Также необходимо разработать

формы и методы взаимодействия подразделений ВВ МВД Республики Казахстан и ОВД при проведении массовых мероприятий при осуществлении охраны общественного порядка и обеспечения общественной безопасности в особых условиях и условиях чрезвычайного положения. Это позволит заблаговременно более четко и наглядно организовать совместную деятельность при возникновении различных чрезвычайных ситуаций.

Таким образом, проблема укрепления взаимодействия, как внутреннего, так и внешне-го, требует для своего решения современных научных исследований, переосмысления многих устоявшихся теоретических положений.

Литература

1. Сапрыкин, А. П. Основы организации и поддержания взаимодействия войск в современных операциях / А. П. Сапрыкин. – М., 1980. – 173 с.

2. Об утверждении Правил боевой службы Внутренних войск МВД Республики Казахстан: Приказ МВД Республики Казахстан от 10 янв. 2003 г. – Астана, 2003. – 178 с.

3. Об утверждении Инструкции по обеспечению общественного порядка и противопожарной безопасности при проведении спортивных, культурных и других массовых мероприятий: Приказ МВД Республики Казахстан № 619, нояб. 2003 г.

4. Ипакян, А. П. Взаимодействие как управленческая категория / А. П. Ипакян, К. С. Геворкян // Актуальные проблемы совершенствования деятельности штабных подразделений органов внутренних дел: тр. Акад. упр. – М., 1998. – 41 с.

5. Дмитрий, В. Б. Актуальные проблемы взаимодействия подразделений органов внутренних дел и внутренних войск в борьбе с преступностью / В. Б. Дмитрий // Межвуз. сб. науч. тр. – Челябинск, 1998. – 14 с.

*Сведения об авторах:

Алиев Канатбай Есбосынович,
Военный институт Внутренних войск МВД Республики Казахстан;
Железняков Александр Владимирович,
УО «Военная академия Республики Беларусь».
Статья поступила в редакцию 24.10.2011 г.

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ОПЫТА ВЕДЕНИЯ ПАРТИЗАНСКИХ ДЕЙСТВИЙ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

УДК 355.4

А. В. Лебедкин, О. А. Белоконев, С. В. Богданов*

В статье рассматривается опыт организации и ведения партизанской борьбы в вооруженных конфликтах современности, а также определяются возможные подходы к партизанской борьбе на территории государства.

The experience of organizing and conducting partisan (guerrilla) warfare in modern armed conflicts, as well as identifying possible approaches to the partisan (guerrilla) struggle in the state are showed in the article.

Партизанская война является неизменным компонентом подавляющего большинства войн и вооруженных конфликтов, однако она постоянно ускользает из области научных исследований. При этом первоначально целесообразно уточнить содержание понятия «партизан», «вооруженное формирование», «незаконное вооруженное формирование».

Партизан – это лицо, добровольно сражающееся в составе организованных вооруженных формирований на территории, занятой противником.

Вооруженные формирования представляют собой группы вооруженных людей во главе с командирами, имеющие форму одежды или знаки различия и принадлежащие государственному, национальному, религиозному и другим общественно-политическим структурам.

Незаконные вооруженные формирования (НВФ) имеют негосударственный характер и могут вести борьбу против существующей власти и государственных структур [1].

Особенностью партизанского движения в Афганистане (1979–1989 гг.) явилось то, что оно не имело единого командования и соответственно единого согласованного плана действий. Как показал проведенный анализ, на региональных уровнях существовал ряд подходов к организации и ведению партизанской войны, основными из которых были:

городская партизанская война;

активная самооборона;

создание боевых отрядов различного назначения;

создание местных временных боевых отрядов [1, 2].

В ходе *городской партизанской войны* планировались диверсии на аэродромах, взрывы складов с горючим, скопления грузовых автомашин, казарм, правительственных учреждений, электросетей, промышленных предприятий, опорных пунктов войск и других важных объектов. В городах и крупных населенных пунктах предусматривалось использование вооруженными формированиями взрывчатки и стрелкового оружия. Поддержка вооруженных формирований осуществлялась, как правило, огнем минометов и, по возможности, реактивными системами залпового огня, расположенными вне города (крупного населенного пункта).

Активная самооборона использовалась, как правило, на севере и северо-западе страны (руководитель движения – Измаил Хан). При этом предусматривалось создание в каждом кишлаке хорошо вооруженного и обученного отряда (200–300 человек), всегда готового к ведению боевых действий. Предполагалось вести борьбу только в окрестностях своих селений, не удаляясь от них на расстояние более чем 15–20 км.

Боевые отряды различного назначения обычно создавались на северо-востоке Афганистана (руководитель движения – Ахмад Шах Масуд). При таком подходе предусматривалось создание отрядов трех типов:

боевые отряды самообороны, сформированные в каждом кишлаке;

боевые отряды, действовавшие только в пределах своих постоянных участков, численностью по 30–40 человек с легким стрелковым вооружением;

мобильные боевые отряды опытных бойцов, действовавшие на значительном удалении от своих баз.

Такие боевые отряды имели самое современное вооружение, в том числе тяжелое стрелковое (безоткатные орудия, минометы и т. д.). Общая численность мобильных боевых отрядов достигала четырех тысяч человек. Следует отметить, что в каждом отряде на высоком уровне велась военная и идеологическая подготовка, имелся исламский идеологический работник.

Местные временные боевые отряды создавались лидерами (вождями) оседлых и полукочевых племен (юг и юго-восток страны). Такими отрядами командовали местные шейхи при поддержке мусульманских священников (муллы).

Проведение военных акций планировалось после уборки урожая (август – декабрь), причем каждая акция обсуждалась всем отрядом, план принимался только в случае согласия всех бойцов без исключения. Главным видом боевых действий являлись ночные атаки на различные объекты.

Тактика действий партизанских формирований характеризовалась следующими основными видами вооруженных действий:

- организация обороны и непосредственно оборона кишлаков;
- воспреещение доступа к горным долинам путем блокирования горных перевалов и проходов; организация засад против колонн снабжения советских войск;
- блокирование опорных пунктов и гарнизонов для ограничения возможности их действий и психологического воздействия на личный состав противника;
- организация нападений крупных сил на военные гарнизоны в населенных пунктах и вне их.

Как правило, во всех видах боевых действий широко применялись минно-взрывные заграждения, управляемые фугасы, действия отдельных снайперов и снайперских групп, автоматическое стрелковое оружие, крупнокалиберные пулеметы и гранатометы, минометы, безоткатные и автоматические пушки, многоствольные реактивные установки. При этом действия отличались быстротой и постоянной сменой огневых позиций, заблаговременным созданием складов боеприпасов и оружия.

Иракские партизаны, в отличие от афганских, не имели такого богатого опыта ведения партизанской войны, которая развернулась почти сразу же после формального завершения боевых действий в стране. Лето 2003 года стало периодом зарождения организованных партизанских групп, состоявших поначалу в основном из активистов партии «Баас» и сторонников С. Хусейна (эти группировки захватили большое количество оружия и боеприпасов на складах бывшей иракской армии во время безвластия, царившего в первые недели после свержения режима) [2–4].

На начальном этапе боевые действия со стороны иракцев носили спонтанный характер. Это выражалось в эпизодических обстрелах блокпостов коалиции, нападениях на патрули, организации засад, минировании различных объектов. После ареста С. Хусейна характер боевых действий со стороны сил сопротивления переходит от разовых акций в виде обстрелов позиций и постов сил коалиции до создания повстанческих формирований, способных вести боевые действия на обширной местности и проводить боевые акции в крупных городах. Очаги боевых действий непрерывно перемещались по территории: Тикрит – Эль-Фалуджа – Эн-Наджаф – Багдад – снова Эль-Фалуджа.

С ноября 2004 года эффективность партизанских действий постепенно возрастает, характер нападений меняется. Партизаны переходят от обстрелов к энергичному минированию дорог, увеличению количества засад, уничтожению отдельных патрулей, блокпостов и небольших отрядов сил коалиции.

Тактика действий иракских партизан характеризовалась тремя основными видами вооруженных действий:

- действия против более оснащенного и сильного противника, скованного определенными факторами (юридическими, гуманитарными, экономическими и др.);
- организация засад, главным образом против колонн снабжения, перевозящих горюче-смазочные материалы и боеприпасы;

систематические нападения мелких групп партизан на линии коммуникаций и недопущение снабжения изолированных или отдельно действующих формирований коалиции.

При ведении вооруженных действий предусматривалось:

использование партизанами для защиты от поражения «живых щитов» в виде мирного населения;

применение во всех видах боевых действий минно-взрывных заграждений, автоматического стрелкового оружия, крупнокалиберных пулеметов, гранатометов, минометов, многоствольных реактивных установок;

хитрость и постоянная смена огневых позиций, заблаговременное создание засад в различных участках районов.

В Северо-Кавказском регионе Российской Федерации войскам противостоял хорошо подготовленный в оперативно-тактическом плане, оснащенный новейшими образцами стрелкового вооружения, жестокий и бескомпромиссный противник, сведенный в партизанские формирования [1, 2, 4, 5].

Партизанские (незаконные вооруженные) формирования в Чеченской Республике представляли собой крупные военные структуры, руководимые авторитетным политическим или военным лидером, созданные для силовой защиты интересов определенной финансово-экономической и политической (религиозной) группировки. Такие формирования, как правило, включали в себя представителей одного или нескольких родственных тейпов (джамаатов).

Партизанские формирования имели стройную структуру и организационно состояли из командира (командующего), штаба и двух группировок (на период боевых действий численностью до 500 человек каждая).

Группировки, в свою очередь, подразделялись:

на боевую, предназначенную для непосредственного проведения операции в указанном районе;

резервную, предназначенную для наращивания усилий и плановой замены воюющих боевиков.

Обычно группировка включала пять-шесть отрядов (по 100 и более человек), которыми руководили амиры (полевые командиры).

Отряд, как правило, состоял из трех групп:

первая (центральная) группа численностью до 100 человек все время находилась с амиром в боеготовом состоянии и не имела постоянного места дислокации. Эта группа являлась основным формированием отряда и состояла из трех взводов по три отделения в каждом. На вооружении группы имелось разнообразное стрелковое оружие, которое легко переносилось (транспортировалось на общедоступных транспортных средствах);

вторая группа (количество личного состава зависело от размера контролируемой территории и могло составлять до 20 человек) находилась в конкретном населенном пункте. Боевики группы были глубоко законспирированы и занимались легальной общественной деятельностью. Группа подчинялась амиру и имела связь только с ним. Члены группы проходили обучение в специальном учебном центре и специализировались на минировании, применении снайперов и диверсионно-разведывательной деятельности;

третья группа – группа обеспечения (помощников). В нее входили сторонники амира, проживающие у себя дома. В случае необходимости (приказа амира) члены группы являлись непосредственно к нему и выполняли конкретные задания, затем возвращались домой и занимались обычным делом или действовали самостоятельно.

Наряду с традиционными формами партизанской борьбы, тактика действий боевиков включала также широкомасштабные наступательные и оборонительные боевые действия с элементами тактики общевойскового боя по захвату и удержанию важных объектов (государственных, экономических, общественных и др.) в сочетании с широким спектром террористических и бандитских проявлений, а также захватом заложников.

Комплекс диверсионно-террористических методов включал применение взрывных устройств различных типов, убийства, похищение людей, нанесение телесных повреждений, пытки, шантаж, угрозы и т. п. Целью террора являлось запугивание населения, дискредитация органов государственной и общественной власти, заставляющие усомниться в их способности обеспечить надежную безопасность государства, общества и личности.

Основополагающими принципами вооруженных действий НВФ в Чеченской Республике являлись:

- внезапность, решительность, дерзость и кратковременность налетов;
- проведение систематических беспокоящих действий, которые, с одной стороны, вынуждали группировки федеральных войск прибегать к оборонительным действиям, кардинально уточнять замысел действий и перенацеливать свои усилия, а с другой – создавали впечатление о способности НВФ наносить удары в любом месте, подчас совсем неожиданным, позволяли уклоняться от прямого столкновения с крупными силами федеральных войск.

Как особенность вооруженных действий НВФ следует отметить применение небольших боевых групп, состоящих из минометного расчета, гранатометчика и пары снайперов. Стрельба снайперов проводилась под прикрытием звука минометных и гранатометных выстрелов из пещер или других укрытий. После захвата района, включающего несколько населенных пунктов, проводилась работа по проникновению боевиков в тыл федеральных войск для организации очагов сопротивления в глубине расположения войск (например, Буйнакск, Махачкала, на Хасавьюртовском и Кизлярском направлениях) в целях отвлечения части их сил от выполнения своих основных задач.

Таким образом, партизанские действия НВФ в Чечне схожи по формам и способам с действиями партизан в Ираке и Афганистане, однако они были организованными и решительными. При этом одной из основных особенностей в развитии тактики партизанской борьбы стало появление различных террористических форм и способов ее ведения.

Исходя из вышеизложенного можно сделать следующие выводы, касающиеся тактики действий партизанских (незаконных вооруженных) формирований на территории Республики Беларусь в случае возникновения вооруженного конфликта:

- воспреещение доступа, организация обороны и непосредственно оборона отдельных, наиболее важных, населенных пунктов;
- блокирование опорных пунктов и гарнизонов для ограничения возможности их действий и психологического воздействия на личный состав противника;
- организация нападений крупных сил на военные гарнизоны в населенных пунктах и вне их;
- проведение различных акций (в том числе и террористических) против более оснащенного и сильного противника, скованного определенными факторами (юридическими, гуманитарными, экономическими и др.);
- организация засад, главным образом против колонн снабжения, перевозящих горюче-смазочные материалы и боеприпасы;
- проведение систематических нападений (беспокоящих действий) мелких групп партизан на линии коммуникаций и недопущение снабжения изолированных или отдельно действующих формирований коалиции;
- использование партизанами для защиты от поражения «живых щитов» в виде мирного населения;
- использование факторов внезапности, решительности, дерзости при проведении кратковременных налетов;
- широкое применение во всех видах боевых действий минно-взрывных заграждений, автоматического стрелкового оружия, крупнокалиберных пулеметов, гранатометов, минометов, многоствольных реактивных установок;
- постоянная смена огневых позиций, заблаговременное созданием засад в различных участках районов;
- применение небольших боевых групп, состоящих из минометного расчета, гранатометчика и пары снайперов.

Литература

1. Военный энциклопедический словарь / редкол. А. П. Горкин [и др.]. – М.: Большая Рос. энцикл.: Рипол Классик, 2002. – 1664 с.
2. Квачков, В. В. Некоторые положения теории специальной операции: науч. сообщ. / В. В. Квачков. – М.: в/ч 29155, 1998. – 26 с.
3. Андрианов, В. Н. Основы партизанской войны / В. Н. Андрианов. – М.: Воениздат, 1989. – 224 с.
4. Война в Персидском заливе. – М.: Воениздат, 1993. – 73 с.
5. Доклад межведомственной комиссии по итогам боевого применения РВиА на Северном Кавказе в период 1996–2000 гг. – М.: Воениздат, 2001. – 263 с.
5. Слесарев, Ю. А. Уроки и выводы участия РВиА Северо-Кавказского военного округа и объединенной группировки войск (сил) при проведении контртеррористической операции в Северо-Кавказском регионе / Ю. А. Слесарев, А. А. Полстянкин // Материалы науч.-практ. конф. Управления РВиА ВС РФ и РАРАН. – 2000. – 129 с.

*Сведения об авторах:

Лебедкин Александр Владимирович,

УО «Военная академия Республики Беларусь»;

Белоконов Олег Алексеевич,

Командование Сил специальных операций;

Богданов Сергей Викторович,

Главная военная инспекция Вооруженных Сил Республики Беларусь.

Статья поступила в редакцию 05.09.2011 г.

2. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

СТРУКТУРА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЭРОЗОЛЬНОГО ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ОПТИЧЕСКИМ СРЕДСТВАМ РАЗВЕДКИ ПРОТИВНИКА

УДК 519.683

Н. Н. Неборская*

В статье предложен подход к решению задачи имитационного моделирования процесса аэрозольного противодействия оптическим и электронно-оптическим средствам разведки противника.

The approach to the solving the problem of simulation of the process of the counteraction to the optical and an electron-optical enemy's reconnaissance is given in the article.

На современном этапе развития вооружения и военной техники, в том числе новых технических средств разведки, позволяющих вести наблюдение практически в любых погодных условиях, задачи маскировки чрезвычайно усложнились. Поэтому маскировка должна обеспечить необходимый эффект как от разведки противника, так и от его систем наведения и управления оружием. Для этого маскировку следует проводить с выделением достаточных сил и средств, соответствием маскировочных мероприятий задачам войск, с применением различных технических средств. При этом необходимо обеспечить непрерывность и убедительность таких мероприятий.

Важную роль при маскировке военных объектов играет применение средств аэрозольной маскировки, которые эффективно оказывают противодействие техническим средствам разведки и управления оружием противника, работающим в видимом (0,4–0,75 мкм), ближнем и частично среднем инфракрасном (0,75–5,5 мкм) диапазонах спектра электромагнитного излучения [1]. В связи с этим актуальной является задача планирования боевого применения аэрозолей, которая может быть решена с помощью прогнозирования эффективности их применения на основе имитационного моделирования процесса формирования аэрозольного облака, его распространения и покрытия маскируемых объектов в различных условиях боевой обстановки.

При оценке тактического эффекта аэрозольного противодействия техническим средствам разведки и управления оружием противника необходимо учитывать:

тактико-технические характеристики средств разведки и управления оружием противника;

тактико-технические характеристики средств постановки аэрозольных завес;

метеорологические условия;

динамику изменения местоположения прикрываемых объектов;

противодействие противника (как по прикрываемым объектам, так и по средствам постановки аэрозолей).

Имитационная модель для исследования эффективности аэрозольного противодействия оптическим и электронно-оптическим средствам разведки и наведения оружия должна сочетать различные методы построения схожих типов моделей, а ее структура в общем виде должна содержать модули, представленные на рисунке 1. Рассмотрим предназначение каждого модуля.

База данных технических средств постановки аэрозольных помех должна содержать тактико-технические характеристики средств постановки аэрозолей и соответствующих носителей.

База данных состояния атмосферы для определенного позиционного района должна включать следующие параметры:

направление ветра в приземном слое;

скорость ветра в приземном слое;

температуру атмосферы;
погодные условия, влияющие на состояние атмосферы (туман, дождь и т. д.).

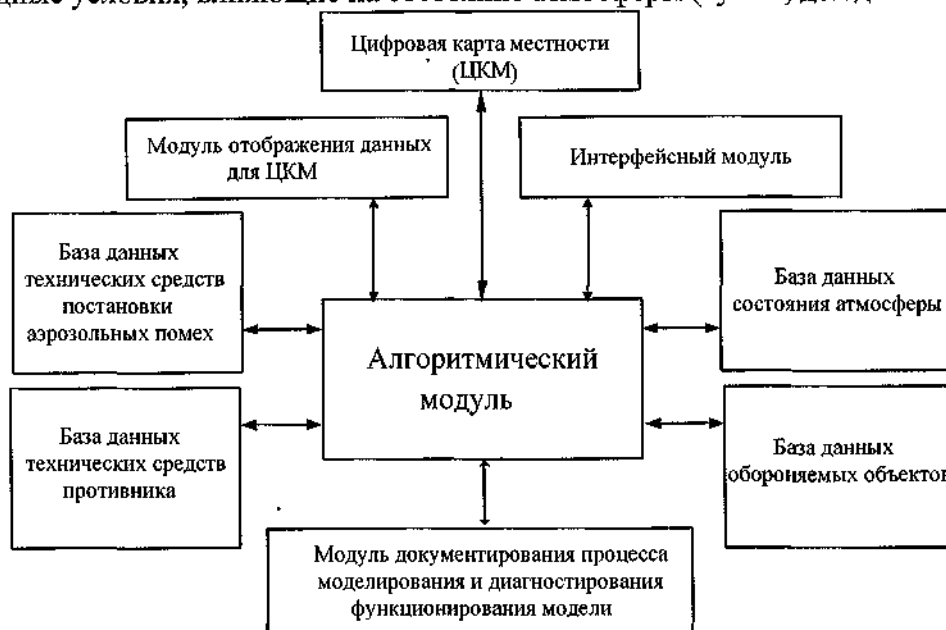


Рисунок 1 – Примерная структура имитационной модели для исследования эффективности аэрозольного противодействия

База данных обороняемых объектов должна содержать информацию о прикрываемых маскирующими аэрозолями объектах. К такой информации можно отнести демаскирующие признаки (контрастность, яркость; признаки, которые позволяют обнаружить прикрываемый объект при его функционировании), а также характеристики объекта: его физические размеры и свойства (является он точечным, линейным или площадным).

База данных технических средств противника включает сведения о средствах разведки, управления и поражения. Исходными параметрами для расчета и построения траектории движения воздушного противника являются время пролета средства противника, рабочий диапазон, дальность поражения, высота полета, скорость полета, тип системы наведения средства поражения на конечном участке траектории.

Цифровая карта местности должна обеспечить отображение района боевых действий, возможность учета влияния местности на распространение аэрозольного облака и построение траектории движения противника. Заметим, что при построении на ЦКМ зоны распространения аэрозольного облака необходимо решить следующие задачи:

найти аналитические соотношения и рассчитать параметры для построения зоны формирования и распространения аэрозольного облака в безветренную погоду и под действием ветра;

задать маршрут движения для построения на цифровой карте местности траектории движения воздушного противника.

Интерфейсный модуль должен обеспечить взаимосвязь между компонентами модели, а также обмен информацией со сторонними, относительно модели, программными средствами или другими моделями.

Модуль отображения данных для цифровой карты местности должен обеспечить визуализацию информации с учетом требований пользователя.

Модуль документирования процесса моделирования и диагностирования функционирования модели должен обеспечить хранение параметров, рассчитанных в ходе моделирования, а также журналирование характерных точек функционирования модели.

Алгоритмический модуль подразделяется на несколько блоков:

расчета и построения траектории движения воздушного противника;

расчета зоны формирования и распространения аэрозольного облака в безветренную погоду и с учетом метеорологических параметров;

обнаружения противником прикрываемых объектов.

Более подробно рассмотрим блок расчета зоны формирования и распространения аэрозольного облака.

Без учета рельефа местности анализируемую область пространства, в которой моделируются процессы формирования и распространения аэрозольного облака, можно рассматривать как фигуру, имеющую форму прямоугольного параллелепипеда, разбитую на Q элементов разрешения, имеющих форму куба ($Q = MNP$, M, N, P – количество элементов разрешения по каждой координате прямоугольной системы координат). С уменьшением размера элемента разрешения возрастает вычислительная сложность поставленной задачи, но в то же время увеличивается точность ее решения. Процессы, связанные с распространением аэрозоля от одного элемента разрешения к другому, зависят от их положения в пространстве.

Очевидно, что в рамках общей фигуры можно выделить четыре типа элементов разрешения: угловые, внутренние, реберные и плоскостные (рисунок 2). Принадлежность элемента разрешения с координатами i, j, k ($i = \overline{0, M-1}$, $j = \overline{0, N-1}$, $k = \overline{0, P-1}$) к одному из указанных типов может быть определена на основе следующих рассуждений.

Обозначим: T_0, T_1, T_2, T_3 – множества элементов разрешения внутреннего, плоскостного, реберного, углового типов соответственно.

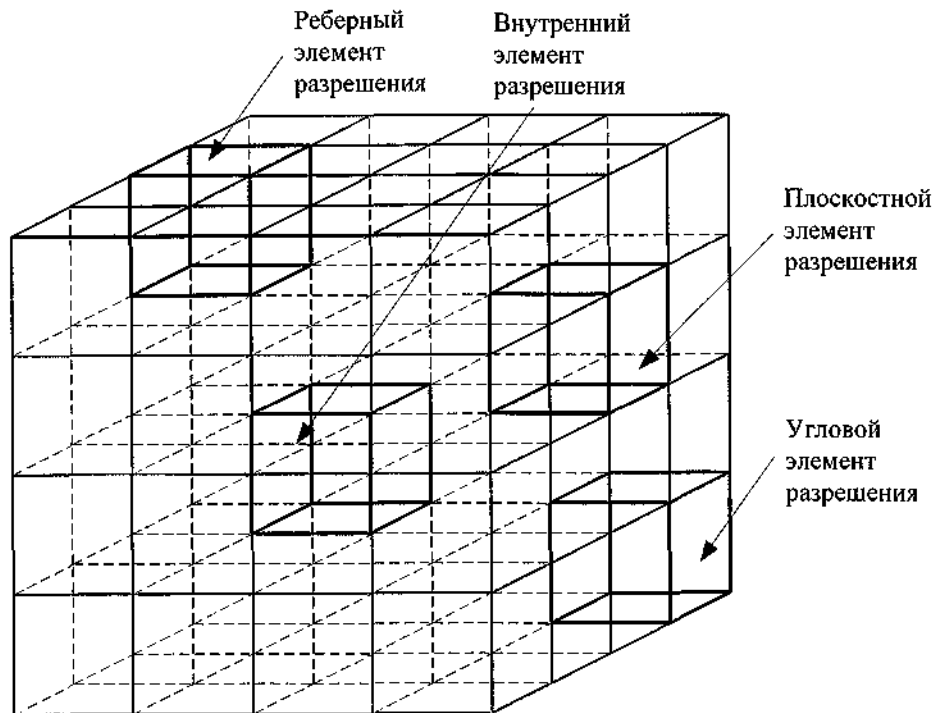


Рисунок 2 – Пространственные элементы разрешения области моделирования

Введем в рассмотрение некоторую функцию $f(l, L)$, где l и L – целые числа:

$$f(l, L) = \begin{cases} 1, & \text{если } l = 0 \text{ или } l = L - 1, \\ 0 & \text{иначе.} \end{cases}$$

Тогда элемент разрешения с координатами (i, j, k) принадлежит множеству T_v , $v = \overline{0, 3}$, если $f(i, M) + f(j, N) + f(k, P) = v$.

Количество элементов K_v множества T_v определяется согласно выражениям

$$K_0 = (N - 2)(M - 2)(P - 2),$$

$$K_1 = 6(M - 2)(N - 2),$$

$$K_2 = 2[(MN - 4) - ((M - 2)(N - 2))] + 4(P - 2),$$

$$K_3 = 8.$$

Обозначим через i_i, j_j, k_k координаты элементов разрешения, являющихся соседними для элемента с координатами i, j, k . Тогда для элемента с координатами i, j, k индексы соседних элементов определяются исходя из следующих условий:

$$i_i = i-1, i+1, j_j = j-1, j+1, k_k = k-1, k+1,$$

$$0 \leq i_i \leq M-1, 0 \leq j_j \leq N-1, 0 \leq k_k \leq P-1,$$

$$i_i \neq i \text{ при } j_j = j \text{ и } k_k = k,$$

$$j_j \neq j \text{ при } i_i = i \text{ и } k_k = k,$$

$$k_k \neq k \text{ при } i_i = i \text{ и } j_j = j.$$

На цифровой карте местности находятся аэрозольные средства противодействия, распространяющие в окружающее пространство с постоянной скоростью аэрозоль. Аэрозольные генераторы можно рассматривать как дополнительные элементы, подключенные к некоторым элементам разрешения. Время генерации аэрозоля средствами маскировки составляет T_g . Каждый элемент разрешения характеризуется следующими параметрами:

концентрацией вещества;

пороговым значением концентрации вещества;

направлением и скоростью ветра.

Имитация формирования аэрозольного облака осуществляется в дискретные моменты времени $t_n = n\Delta t$, где Δt – интервал дискретизации, $n \geq 0$ – номер имитируемого шага времени.

Обозначим через величину C_{por} пороговое значение концентрации аэрозоля в элементе разрешения. Аэрозоль распространяется в соседние элементы разрешения при выполнении условия $C_{i,j,k} \geq C_{por}$.

Рассмотрим решение задачи в безветренную погоду. В исходном состоянии считаем, что $\forall i, \forall j, \forall k C_{i,j,k} = 0$.

К элементам разрешения применительны процессы:

выброса;

переноса (распространения) вещества;

затухания (рассеивания).

Аэрозоль из элементов разрешения, в которых находятся аэрозольные средства маскировки, распространяется во все стороны равномерно и последовательно заполняет соседнее пространство. Процесс распространения рассмотрим на примере таких элементов, поскольку в соседних элементах он происходит таким же образом.

Изменение концентрации аэрозоля в элементе разрешения (i, j, k) на каждом шаге времени n осуществляется в соответствии с выражениями

$$C_{i,j,k}(n) = C_{i,j,k}^{ost}(n-1) + C_{i,j,k}^+(n) + C_g(n),$$

где $C_{i,j,k}(n)$ – концентрация аэрозоля в элементе разрешения на текущий момент времени;

$C_{i,j,k}^{ost}(n-1)$ – концентрация аэрозоля в элементе разрешения на предыдущем шаге моделирования;

$C_{i,j,k}^+(n)$ – концентрация аэрозоля, поступившего в элемент разрешения от всех соседних элементов;

$C_g(n)$ – концентрация аэрозоля, полученная от аэрозольного генератора ($C_g(n) = 0$, если в данной точке пространства аэрозольный генератор отсутствует).

В случае превышения порогового значения концентрации аэрозоля $C_{i,j,k}(n) \geq C_{por}$ в элементе разрешения останется аэрозоль с концентрацией $C_{i,j,k}^{ost}(n) = C_{por}(n)$.

Если $C_{i,j,k}(n) < C_{por}$, то концентрация аэрозоля в элементе разрешения $C_{i,j,k}^{ost}(n) = C_{i,j,k}(n) - \Delta C(n)$, где $\Delta C(n)$ – параметр, учитывающий процесс рассеивания аэрозоля.

Для нахождения $C_{i,j,k}^{ost}(n-1)$ необходимо рассчитать концентрацию аэрозоля, распространившегося из элемента разрешения в соседние ($C_{i,j,k}^-(n)$).

Количество элементов разрешения, являющихся соседними для элемента с индексами i, j, k , определяется его типом, и они имеют значения P_v ($P_0 = 26, P_1 = 17, P_2 = 11, P_3 = 7$).

При выполнении условия $C_{i,j,k}(n) \geq C_{por}$ концентрация аэрозоля, ушедшего из элемента разрешения, $C_{i,j,k}^-(n+1) = C_{i,j,k}(n) - C_{por}(n)$.

В случае $C_{i,j,k}(n) < C_{por}$ концентрация аэрозоля $C_{i,j,k}^-(n) = 0$.

Генерация аэрозоля и соответственно пополнение им элементов разрешения осуществляется до тех пор, пока $t_n \leq T_g$.

При наличии ветра распространение аэрозоля происходит по направлению его вектора скорости в конкретной точке пространства. Учет величины модуля вектора скорости может быть выполнен путем коррекции величины C_{por} .

Объединение аналитических методов расчета характеристик распространения аэрозольных завес в сочетании с обобщенными характеристиками конкретных изделий, а также использование цифровой карты местности позволит с большей степенью точности выполнить имитацию аэрозольного противодействия и, кроме того, сформулировать методику оптимального использования средств аэрозольной маскировки и рекомендации по организации комплексного аэрозольного противодействия средствам разведки и наведения оружия противника. При этом появляется возможность учета различных факторов природного и геодезического характера, а также динамики ведения боевых действий.

Литература

1. Руководство по аэрозольному противодействию средствам разведки и наведения оружия противника, применению радиопоглощающих материалов и маскирующих пенных покрытий / М-во обороны Российской Федерации. – М., 2004.

*Сведения об авторе:

Неборская Наталья Николаевна,
УО «Военная академия Республики Беларусь».
Статья поступила в редакцию 22.09.2011 г.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ БОЕВОГО ПРИМЕНЕНИЯ УДАРНОГО ВЕРТОЛЕТА

УДК 621.396.1

В. М. Берикбаев, Н. В. Крупин, Г. А. Москвин*

В статье рассматриваются структура и основные этапы функционирования имитационной модели боевого применения ударного вертолета.

The structure and principal operation phases of the simulation model of the combat use of the shock helicopter are given in the article.

Опыт развития современной вооруженной борьбы показывает, что нет ни одной локальной войны современности, где бы не принимала участие армейская авиация (АА). При этом прослеживается тенденция возрастания ее роли в вооруженных конфликтах, таких как война во Вьетнаме (1959–1975), Афганистане (1979–1989), операции в Ираке (1991, 2003) и т. д.

По результатам ряда учений армии США установлено, что два батальона из состава бригады АА механизированной (бронетанковой) дивизии (48 вертолетов с ПТУР) за один вылет могут в простых метеоусловиях уничтожить до 300 танков и других бронированных целей. Применение же современных ударных вертолетов типа «Апач-Лонгбоу», по оценкам американских военных специалистов, способствует значительному увеличению количества пораженных целей противника, при этом практически исключается возможность нанесения ошибочных ударов по своим войскам [1]. Установленные на вертолетах индивидуальные средства помех (AN/ALQ-136, AN/ALQ-144 и др.) для подавления радиоэлектронной аппаратуры наведения ракет и РЛС позволяют им выполнять поставленные задачи с наименьшими потерями.

Таким образом, в настоящее время АА представляет собой серьезную угрозу для общевойсковых подразделений. Ход и исход операций общевойсковых подразделений в значительной степени будут зависеть от результатов противоборства между средствами ПВО и АА противника, имеющей на вооружении современные боевые вертолеты.

На основании проведенного анализа локальных войн за последние десятилетия можно утверждать, что применение АА противником позволяет ему достигнуть поставленной задачи с наименьшими временными и материальными затратами. Подразделения войсковой ПВО, в состав которых входит различное вооружение по уничтожению низколетящих целей, способны выполнять задачу по прикрытию наземных объектов и подразделений от ударов АА.

Анализ процесса боевого применения подразделений АА показал, что основу их боевых действий составляют боевые вылеты ударных вертолетов. Данная сложная система является многоуровневой, с подчиненностью элементов нижерасположенного уровня вышерасположенному и соответствующими потоками циркулирующей между ними информации. Для исследования процесса боевого применения подразделений АА наиболее целесообразным является применение методов системного анализа, структурно-функционального подобия, математического имитационного моделирования [2]. Предполагаемые методы позволяют исследовать данный процесс во времени с возможностью его масштабирования, учитывать электронную карту местности (ЭКМ), не накладывая ограничений на количество имитируемых средств.

В связи со стремительным развитием современных информационных технологий исследователю предоставляются новые возможности для создания различных математических моделей, которые позволяют значительно снизить время и трудоемкость этапа планирования и прогнозирования боевых действий.

Структура модели

В целях исследования процесса противодействия АА противника средствами войсковой ПВО предлагается разработать комплексную имитационную модель, которая позволит:

воспроизвести процесс боевого противодействия во времени на ЭКМ с учетом основных тактико-технических характеристик ТТХ моделируемых средств;

проанализировать различную тактику ведения боевых действий по противодействию АА, обосновать новые тактические приемы и способы организации противоборства;

оценить эффективность боевого применения как подразделений АА, так и подразделений войсковой ПВО, используя различные показатели качества;

сформулировать возможные направления модернизации существующих средств противодействия средствам АА;

экономить значительные ресурсы, необходимые для проведения натурных экспериментов и учений при отработке вопросов боевого противодействия средствам АА.

Для исследования процесса конфликтного противоборства средств ПВО и АА необходима разработка адекватной математической имитационной модели боевых действий АА.

В существующих в нашей стране комплексах моделирования боевых действий (КМБД) отсутствует модель боевого применения АА. Ее построение возможно либо путем создания абсолютно новой модели, либо путем глубокой модернизации существующей модели удара средств воздушного нападения (СВН) из состава КМБД. Был выбран второй вариант построения модели, определено место в модели одиночного СВН для нового класса воздушных объектов – ударного вертолета (рисунок 1), моделирование боевого применения которого будет рассмотрено ниже. Разработанные алгоритмы основных модулей модели, предназначенные для имитации процессов полета вертолета, поиска целей и удара по наземным объектам и подразделениям, рассмотрены ниже.

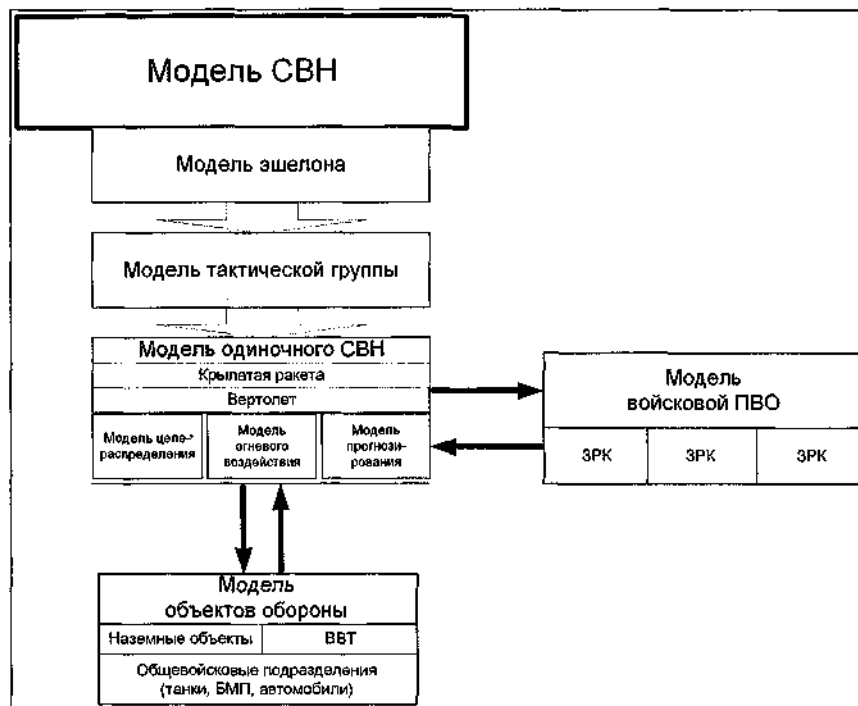


Рисунок 1 – Информационно-логические связи разрабатываемой модели
Основные модули разрабатываемой модели

Модуль движения

При построении траектории движения вертолета используется кинематическая модель, которая не учитывает действие внешних сил на летательный аппарат (ЛА). ЛА в модели рассматривается как материальная точка. Траекторию ЛА составляют участки прямолинейного равномерного движения и участки маневра. Маневрирование ЛА может осуществляться по скорости, высоте и направлению (курсу).

Моделирование движения ЛА, как и в модели СВН, начинается с задания начальных условий: шага моделирования Δt , начальной и последующих промежуточных пунктов

маршрута $S_0(X_0, Y_0), S_1(X_1, Y_1), \dots, S_n(X_n, Y_n)$, высоты полета в них H_0, H_1, \dots, H_n , скорости движения V . Для упрощения процесса моделирования полета вертолета будем считать, что ЛА до обнаружения предполагаемого противника движется со скоростью V на первоначально заданных высотах. Тогда на каждом шаге моделирования последующая точка, в которой будет находиться движущийся объект, определяется как

$$S_{\text{след}} = S_{\text{наст}} + V \Delta t.$$

При этом формируется массив состояний S , в который будут заноситься координаты положения ЛА на каждый модельный отрезок времени.

Модуль обнаружения наземных объектов

Обнаружение наземных объектов ЛА возможно двумя способами: визуально или с использованием РЛС.

Визуальное обнаружение

Процесс визуального обнаружения наземных объектов в разрабатываемой модели реализован на основании типовой методики поиска [3], в соответствии с которой дальность обнаружения и опознавания объекта (при идеализированных условиях наблюдения) определяется как

$$D_{\text{обн}} = \frac{lk_b}{2 \operatorname{tg}\left(\frac{\varepsilon_0}{2z}\right)}, \quad (1)$$

где l – линейный размер объекта;

k_b – коэффициент воспринимаемого контраста объекта на фоне местности;

ε_0 – угол разрешения объекта;

z – коэффициент кратности увеличения применяемых оптических приборов.

Коэффициент воспринимаемого контраста объекта на фоне местности определяется по следующей формуле:

$$k_b = \left[\frac{k_0}{2\left(1 + \frac{h_g}{r}\right) - k_0} \right]^{0.36},$$

где k_0 – коэффициент натурального контраста;

h_g – коэффициент яркости дымки;

r – коэффициент яркости объекта.

Значение максимальной дальности визуального обнаружения объектов (1) является наиболее характерным параметром воздушного визуального поиска.

Обнаружение с использованием РЛС

В современных ударных вертолетах для обнаружения потенциального противника широко используются РЛС, чаще миллиметрового диапазона. Дальность обнаружения наземных целей в данном случае рассчитывается в соответствии с известным выражением

$$D_{\text{обн}} = \sqrt[4]{\frac{P_{\text{БРЛС}} G_{\text{пер}} G_{\text{пр}} \lambda^2 \sigma_{\text{ц}}}{(4\pi)^3 \sigma_c^2(D, F)}},$$

где $P_{\text{БРЛС}}$ – мощность передатчика БРЛС;

$G_{\text{пер}}(G_{\text{пр}})$ – коэффициенты усиления передающей (приемной) антенны БРЛС;

λ – длина волны передатчика БРЛС

$\sigma_{\text{н}}$ – эффективная отражающая поверхность k -го объекта;

$\sigma_c^2(D, F)$ – мощность отраженного сигнала, необходимая для обнаружения с вероятностями D и F .

Данный способ обнаружения наземных целей менее подвержен влиянию метеоусловий, а дальность обнаружения значительно превышает дальность обнаружения при визуальном способе.

Модуль атаки ударного вертолета

Подразделения АА в зависимости от обстановки и навигационного оборудования вертолета могут осуществлять выход на цель по месту следующими способами: по курсу и времени от заранее намеченного контрольного ориентира; с помощью автономных прицельных навигационных комплексов; с использованием радиотехнических средств; наведением и целеуказанием с наземных (воздушных) пунктов управления (с вертолетов наведения и авианаводчиками). Для упрощения процесса моделирования будем считать, что до обнаружения вертолет движется с установленной скоростью на заданной высоте. После обнаружения потенциального наземного объекта (положение 2 на рисунке 2) вертолет снижается на предельно малую высоту $H_{\text{руб}}$ с одновременным уменьшением скорости (вертолет перемещается из положения 2 в положение 4 на рисунке 2). По истечении некоторого времени вертолет выходит на рубеж атаки $S_{\text{руб}}$ (положение 4 на рисунке 2), который зависит от складывающейся обстановки и применяемого авиационного средства поражения (АСП). Одним из наиболее часто используемых тактических приемов боевого применения ударного вертолета является обстрел наземного объекта с подскоком. Основные этапы данного приема – вертикальный набор высоты (обычно 50–100 м), выстрел, снижение на предельно малую высоту (положения 4 и 5 на рисунке 2).

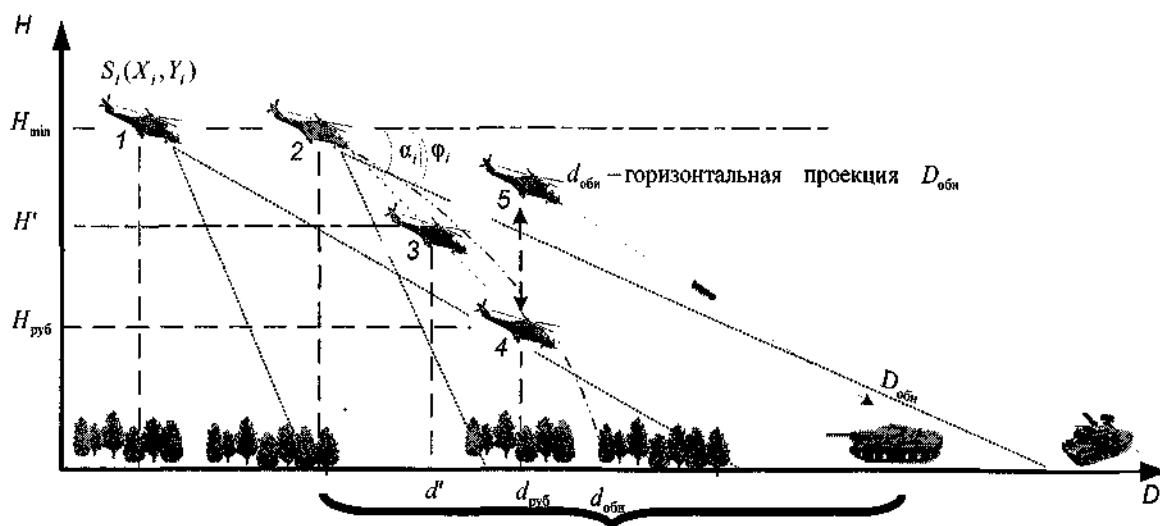


Рисунок 2 – Пример удара по наземному объекту

Маневрирование по курсу (высоте) происходит с постоянным нормальным ускорением, т.е. по дуге окружности. В этом случае проекция траектории ЛА на горизонтальную (вертикальную) плоскость представляет собой аппроксимацию маршрута полета отрезками прямых, сопряженных дугами окружности. Радиус дуги окружности R связан с допустимой перегрузкой n для данного вертолета и скоростью цели V формулой

$$R = \frac{V^2}{g\sqrt{n_y^2 - 1}},$$

где g – ускорение свободного падения;

n_y – нормальная перегрузка.

Маневр по скорости производится с постоянным ускорением; изменение высоты – с постоянной вертикальной скоростью. На данном этапе осуществляется изменение первоначальной траектории полета с выходом вертолета на новый курс α_i , рассчитываемый по следующей формуле:

$$\alpha_i = \operatorname{arctg} \left[\frac{Y_i - Y_{i-1}}{X_i - X_{i-1}} \right],$$

где i – номер точки ломаной на маршруте.

Очередные точки траектории рассчитываются с учетом изменения курса движения воздушного объекта φ_i :

$$\varphi_i = \begin{cases} \alpha_i - \alpha_{i-1} & \text{при } \alpha_i \geq \alpha_{i-1} \\ 2\pi - (\alpha_{i-1} - \alpha_i) & \text{при } \alpha_i < \alpha_{i-1} \end{cases}$$

Таким образом, ударный вертолет выходит на предполагаемый рубеж атаки, с которого он будет наносить удар по обнаруженному наземному объекту. При этом на каждый отрезок модельного времени Δt рассчитывается дальность до цели и высота D' ; H' и проверяется выполнение условия

$$D' \geq D_{\text{руб}},$$

$$H' \geq H_{\text{руб}}.$$

Модуль огневого поражения наземного объекта

Удар по цели осуществляется в соответствии с типовой логикой применения конкретного вида АСП. Эффективность ведения огня наиболее полно можно охарактеризовать двумя показателями: вероятностью поражения цели в складывающихся условиях боевой обстановки и временем нанесения удара.

В качестве показателя, характеризующего время нанесения удара, примем цикл стрельбы $T_{\text{ц}}$, представляющий собой интервал времени, необходимый для осуществления удара по цели, и рассчитываемый по формуле

$$T_{\text{ц}} = T_{\text{пр}} + T_{\text{с}} + T_{\text{о.р}},$$

где $T_{\text{пр}}$ – время прицеливания;

$T_{\text{с}}$ – время стрельбы по цели;

$T_{\text{о.р}}$ – время оценки результатов стрельбы.

Цикл стрельбы представляет собой случайную величину, определяемую характеристиками конкретного вертолета и АСП. Он зависит от множества факторов, воспроизведение и учет которых в полном объеме затруднительны. Существенную роль играет человеческий фактор – субъективные свойства пилота. Время цикла стрельбы можно интерпретировать как значение некоторой случайной величины, распределенной по нормальному закону, либо указанные составляющие времени цикла могут задаваться исходя из усредненных оценок продолжительности подэтапов.

Вероятность попадания в цель одним выстрелом определяется по формуле

$$P_{\text{пор}} = 1 - e^{-\rho^2 (r_u/B_n)^2},$$

где ρ – плотность вероятности ($\rho \approx 0,477$);

B_n – суммарное (приведенное) срединное отклонение АСП;

r_u – радиус окружности, которая описывает наземный объект и имеет площадь $S_{\text{прив}}$, определяемый по формуле

$$r_u = \sqrt{\frac{S_{\text{прив}}}{\pi}}.$$

Следует заметить, что площадь $S_{\text{прив}}$ рассчитывается с учетом рельефа местности, времени суток и метеорологических условий.

Суммарное срединное отклонение определяется по формуле

$$B_{\text{пр}} = \sqrt{B_{\text{рас}}^2 + B_{\text{приц}}^2},$$

где $B_{\text{рас}}$ – суммарное срединное отклонение, которое обусловлено рассеиванием применяемого АСП;

$B_{\text{приц}}$ – суммарная срединная ошибка (прицеливания) подготовки к стрельбе пилота.

Таким образом, предлагаемая имитационная модель боевого применения ударного вертолета позволит:

наносить траекторию его движения на ЭКМ;

визуально наблюдать на экране монитора воздушную и наземную обстановку в процессе моделирования;

исследовать процессы обнаружения и огневого воздействия ударного вертолета на наземные объекты и подразделения.

Кроме того, данная имитационная модель станет основой для создания комплексной модели конфликтного противоборства АА противника средствами войсковой ПВО, прикрывающих общевойсковые подразделения.

Литература

1. Ткачев, В. И. Армейская авиация в системе ПВО общевойсковых объединений / В. И. Ткачев // Воен. мысль. – 2005. – № 3. – С. 34–36.
2. Булойчик, В. М. Военно-прикладные вопросы математического моделирования. Основы теории математического моделирования боя и боевых действий: учеб. пособие / В. М. Булойчик. – Минск, 2005. – 211 с.
3. Организация и осуществление поиска объектов при проведении поисково-спасательных работ авиационными силами: науч.-метод. пособие. – Монино, 1997.
4. Булойчик, В. М. Имитационный подход к моделированию боя подразделения сухопутных войск / В. М. Булойчик, А. А. Дубровский // Сб. науч. ст. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2008. – № 14. – С.58–64.
5. Булойчик, В. М. Военно-прикладные вопросы математического моделирования. Ч. 2. Математические методы, используемые при моделировании процессов функционирования систем / В. М. Булойчик. – Минск, 2000.
6. Боевое применение авиации ВВС и войск ПВО в общевойсковом бою и операции: учеб. пособие. – Минск: ВА РБ, 2007.

*Сведения об авторах:

Берикбаев Владимир Мурзатаевич,

Крупин Никита Владимирович,

Москвин Геннадий Андреевич,

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 07.09.2011 г.

ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ОРГАНИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ МАЛОЙ ПЕРИОДИЧНОСТИ

УДК 621.486.62

В. И. Гринкевич*

Эффективность применения любых технических объектов во многом зависит от качества их подготовки. В статье сформулированы и обоснованы требования к данным контроля технического состояния объектов радиоэлектронной техники радиотехнических войск для оценки их готовности к использованию по назначению.

The effectiveness of any technical objects largely depends on the quality of their training. In the article are formulated and substantiated the data requirements control the technical condition of radio-electronic techniques for radio engineering troops to assess their readiness for its intended use.

В целях оценки готовности объектов радиоэлектронной техники (РЭТ) радиотехнических войск (РТВ) к использованию по назначению, оперативного выявления нарушений в работе аппаратуры при каждом ее включении техническими нормативными правовыми актами (ТНПА) установлены следующие виды технического обслуживания [1]:

контрольный осмотр (КО);

ежедневное техническое обслуживание (ЕТО).

В процессе ЕТО (КО) измерение параметров систем объектов, как правило, не проводится или контролируется ограниченный объем параметров, зависящий от типа РЭТ и времени, отводимого на проведение контроля. Вследствие этого обслуживающий персонал определяет состояние объекта РЭТ по признакам, характеризующим нормальное функционирование аппаратуры. Примерами такой оценки служат: ухудшение наблюдаемости контрольного местного предмета (КМП), свидетельствующее в совокупности об ухудшении параметров радиоприемного, радиопередающего тракта, антенно-фидерной системы и т. д.; ухудшение наблюдаемости целей при стробировании местных предметов и метеообразованиях, свидетельствующее об ухудшении параметров устройств селекции движущихся целей; рассогласование шкалы масштабной сетки на экране индикаторного устройства, характеризующее изменение параметров системы запуска и формирования масштабных меток и т. д.

Необходимость контроля технического состояния при каждом включении аппаратуры связана с особенностями эксплуатации рассматриваемых объектов. Эти особенности заключаются в том, что в процессе применения объектов наиболее типичной является ситуация, при которой аппаратура РЭТ находится в режиме ожидания, то есть, по условиям применения, выключена. В момент ее включения происходит увеличение числа отказов, возникающих за счет переходных процессов. Для оценки интенсивности отказов объектов РЭТ, используемых в циклическом режиме, применяют формулу [2]:

$$\lambda_{\text{ц}} = \frac{k_{\text{ц}}}{n_{\text{ц}}} \lambda, \quad (1)$$

где λ – интенсивность отказов для объектов, функционирующих в непрерывном режиме;

$k_{\text{ц}}$ – эмпирический коэффициент, выражающий относительный прирост интенсивности отказов для объектов циклического использования по отношению к объектам, функционирующим в непрерывном режиме;

$n_{\text{ц}}$ – количество включений объекта, приходящихся на один час работы.

С учетом (1) вероятность безотказной работы (при экспоненциальном распределении наработки на отказ) определяют по формуле [2]:

$$P_{\text{ц}}(t) = \exp(-\lambda [1 + k_{\text{ц}}])t. \quad (2)$$

Варианты решения (1) и (2) в виде зависимостей числа включений, приходящихся на час работы объекта, и вероятности безотказной работы от величины $k_{ц}$ приведены на рисунке 1.

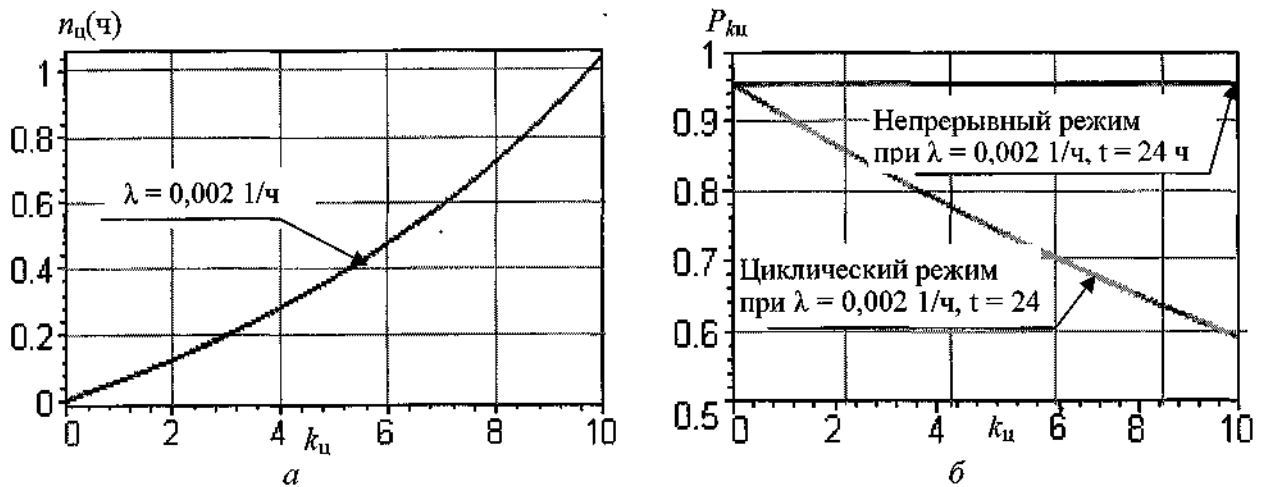


Рисунок 1 – Зависимость числа включений (а) и вероятности безотказной работы объекта (б) от коэффициента цикличности

Анализ зависимостей, приведенных на рисунке 1, отчасти подтверждает вывод о том, что на объектах циклического использования ЕТО (КО) должно проводиться при каждом включении их в работу [2]. Так, применительно к объектам РЭТ РТВ среднее число их включений в течение суток составляет два-три раза, средняя суточная наработка 8–12 часов, что соответствует величине $k_{ц} \approx 3$ (рисунок 1, а), откуда $P_{ц}(t) \approx 0,85$ (рисунок 1, б). Полученный результат свидетельствует о снижении уровня безотказности объектов примерно на 10 % за счет их циклического использования (рисунок 1, б), однако не является достаточным условием для принятия решения о проведении контроля при каждом включении аппаратуры. Обоснованием данного утверждения служит то, что в соответствии со свойством экспоненциального распределения ($\lambda = \text{const}$) цикличность включений объектов можно учесть при назначении сроков технического обслуживания большой периодичности [3], проведении ремонтов, определении комплекта запасных частей, установлении межремонтного ресурса и т. д. В то же время результаты контроля аппаратуры объектов РЭТ РТВ, основанные на приближенных оценках параметров, не позволяют оценить готовность объектов к использованию по назначению. Например, наличие КМП на индикаторе радиолокационной станции позволяет лишь сделать предположение о возможности обнаружения воздушных целей с характеристиками не хуже, чем у КМП. Это свидетельствует о том, что основные параметры объекта РЭТ (мощность, чувствительность, коэффициент бегущей волны, коэффициент подпомеховой видимости и др.) могут не соответствовать нормам, заданным ТНПА. В этом случае объект будет находиться в неработоспособном состоянии вследствие отказа [4], который в явном виде не проявляется. Такие отказы получили название скрытых [3]. Опасность скрытого отказа заключается в отсутствии явных признаков наступления данного события и приводит, как правило, к срыву выполнения возложенных на объект задач. Поэтому одной из актуальных задач на стадии подготовки объектов к использованию по назначению является определение рациональных мер, реализация которых позволит минимизировать время пребывания объекта РЭТ в состоянии скрытого отказа ($T_{о.с} \rightarrow \text{min}$).

Одним из путей решения этой задачи является повышение эффективности контроля технического состояния основных систем при проведения ЕТО и КО. Для этого рассмотрим стратегию ЕТО (КО) объектов РЭТ РТВ с периодическим контролем на одном периоде регенерации (между соседними номерными ТО) при условии, что в результате ТО объект обновляется до уровня, близкого к первоначальному.

Считаем заданным объект РЭТ, время безотказной работы которого распределено по закону $F(t) = P(T \leq t)$. Предположим, что отказ, появившийся на объекте, проявляется не мгновенно, а через некоторое случайное время $T_{o.c.}$, распределенное по закону $\Phi(t) = P(T_{o.c.} \leq t)$. Примем, что случайные величины T и $T_{o.c.}$ зависимы на одном периоде регенерации и имеют совместное распределение

$$F(t_1, t_2) = P(T \leq t_1, T_{o.c.} \leq t_2),$$

откуда

$$F(t_1) = \lim_{t_2 \rightarrow \infty} F(t_1, t_2), \quad (3)$$

$$\Phi(t_2) = \lim_{t_1 \rightarrow \infty} F(t_1, t_2). \quad (4)$$

Если в процессе эксплуатации объекта РЭТ до назначенного времени (η) проведения на нем планового ТО возник отказ ($T \leq \eta$), который самостоятельно не обнаружился ($T + T_{o.c.} \geq \eta$), то начиная с момента η начинается восстановление объекта с последующим проведением обслуживания. Если отказ произошел до ($T \leq \eta$) момента ($T + T_{o.c.} < \eta$) и появился самостоятельно, то в момент обнаружения отказа на объекте $T + T_{o.c.}$ начинается восстановление отказавшей системы. Необходимо определить вероятность нахождения объекта РЭТ в состоянии скрытого отказа на основании $\Phi(t) = P(T_{o.c.} \leq t)$ при условии (3) или (4), если известно, что $P(t)$ может быть определена с использованием (2).

Особенностью решения задачи является то, что объект находится не в двух, а в трех состояниях: работоспособном, неработоспособном, скрытого отказа.

В общем случае случайный процесс $x(t)$, характеризующий состояние объекта в произвольный момент времени t , может быть описан непрерывным марковским процессом, где

$$x(t) = \begin{cases} e_1, & \text{если в момент } t \text{ объект РЭТ находится в работоспособном состоянии;} \\ e_2 & \text{— в состоянии скрытого отказа;} \\ e_3 & \text{— в состоянии отказа.} \end{cases} \quad (5)$$

Граф состояний (5) приведен на рисунке 2.

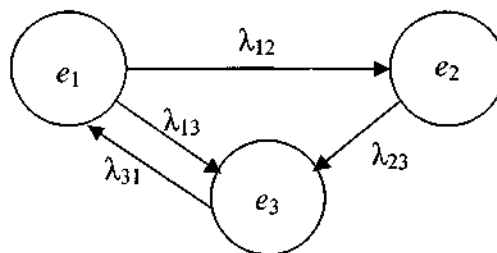


Рисунок 2 – Граф состояний процесса $x(t)$

В соответствии с графом, представленным на рисунке 2, система алгебраических уравнений марковского случайного процесса для предельных состояний имеет вид

$$\left. \begin{aligned} p_1 &= p_3 \lambda_{31} / (\lambda_{12} + \lambda_{13}), \\ p_2 &= p_1 \lambda_{12} / \lambda_{23}, \\ p_3 &= (p_2 \lambda_{23} + p_1 \lambda_{13}) / \lambda_{31}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Решив (6) относительно p_1 , с учетом нормировочного условия определим предельную вероятность p_2 нахождения объекта в состоянии скрытого отказа по формуле

$$p_2 = \frac{\lambda_{12}/\lambda_{23}}{1 + (\lambda_{12}/\lambda_{23}) + (\lambda_{12}/\lambda_{13})/\lambda_{31}}. \quad (7)$$

На основании (7) получим зависимости, характеризующие вероятности пребывания марковского случайного процесса в состоянии p_2 от интенсивности перехода в это состояние λ_{12} для различных значений параметра λ_{23} (интенсивность обнаружения скрытого отказа), которые приведены на рисунке 3. Из анализа данных зависимостей следует, что значение p_2 зависит от величины λ_{23} и при возрастании λ_{23} будет уменьшаться вероятность пребывания объекта в состоянии скрытого отказа p_2 .

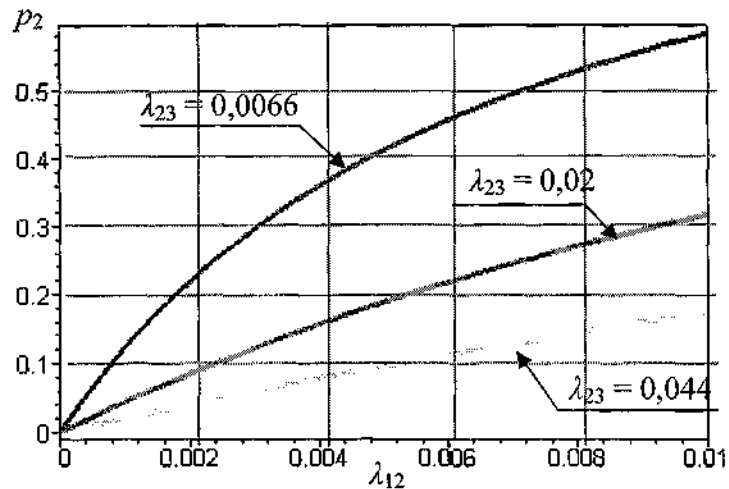


Рисунок 3 – Зависимость вероятности пребывания объекта в состоянии e_2 от интенсивности перехода $x(t)$ из состояния e_1 в состояние e_2

Полученный результат позволяет утверждать, что необходимым условием для снижения эффекта скрытого отказа (сведения к минимуму предпосылок его возникновения) является увеличение числа циклов контроля при достоверных результатах его проведения. В этом случае значение вероятности p_2 пребывания объекта в состоянии e_2 практически не зависит от величины T_0 , характеризующей среднюю наработку объекта на отказ, а значит, не зависит от цикличности включений объекта. В свою очередь это позволяет получить общее выражение для $\Phi(t)$ в соответствии с временной диаграммой функционирования объекта, приведенной на рисунке 4, принимая во внимание, что ЕТО на объектах РЭТ РТВ проводится через неслучайные промежутки времени с периодичностью $\Theta_k = T_k = \text{const}$ [5].

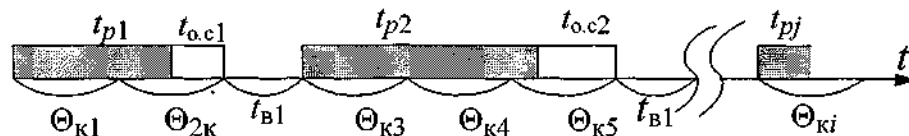


Рисунок 4 – Временная диаграмма функционирования объекта РЭТ

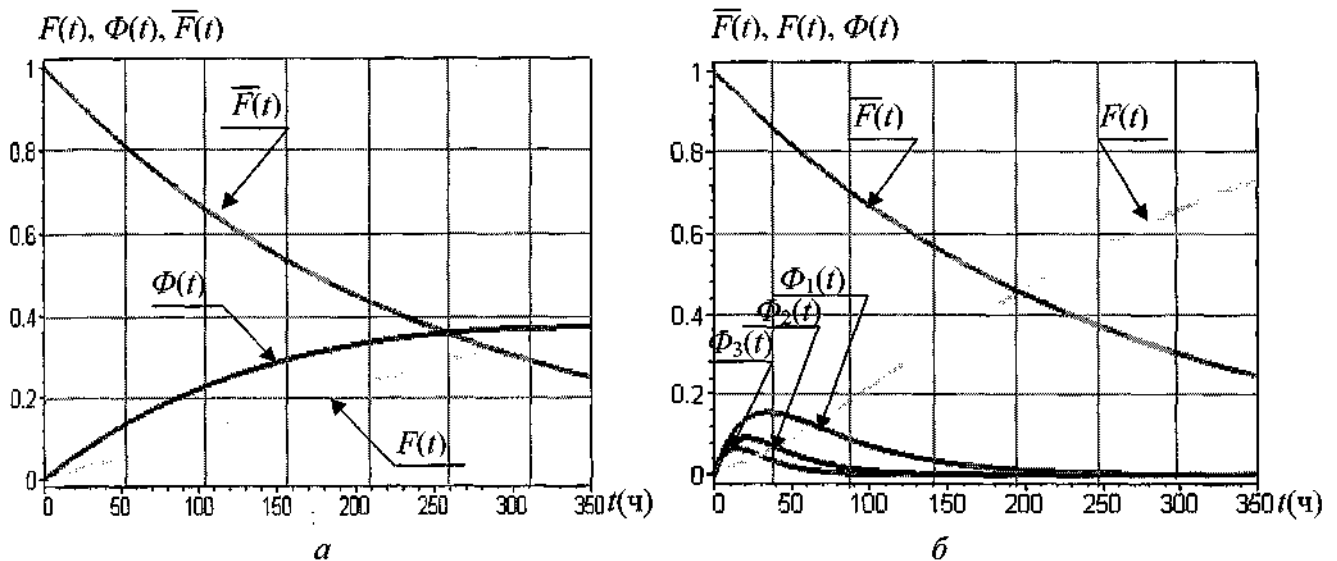
Из рисунка 4 видно, что, проработав случайное время t_p , объект переходит в состояние скрытого отказа, в котором находится некоторое случайное время $t_{o.c}$ до наступления i -го момента контроля с периодичностью Θ_{ki} . В момент контроля T_{ki} происходит обнаружение отказа и производится восстановление объекта в течение случайного времени t_b и далее процесс продолжается. В соответствии с рассмотренным процессом, допущениями на моменты контроля и основываясь на результатах, полученных в [5], функция распределения времени пребывания объекта в состоянии скрытого отказа будет иметь вид

$$\Phi(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \int_{nT_K - t}^{nT_K} dF(x) = \begin{cases} \sum_{n=1}^{\infty} [F(nT_K) - F(nT_K - t)], & 0 \leq t < T_K, \\ 1, & t \geq T_K. \end{cases} \quad (8)$$

При экспоненциальном распределении наработки на отказ с учетом (2) формула (8) примет следующий вид

$$\Phi(t) = \begin{cases} (e^{-\lambda t + k_u(n_u)T_K - t} - e^{-\lambda T_K}) / (1 - e^{-\lambda T_K}), & 0 \leq t < T_K, \\ 1, & t \geq T_K. \end{cases} \quad (9)$$

Решение (9) в виде зависимостей $F(t)$, $\Phi(t)$ и $\bar{F}(t)$ при $T_0 = 500$ ч приведено на рисунке 5.



Функции распределения: $\bar{F}(t)$ – безотказной работы, $F(t)$ – наработки на отказ, $\Phi(t)$ – скрытого отказа для одного (Φ_1), двух (Φ_2), трех (Φ_3) циклов контроля в течение суток

Рисунок 5 – Вид функций распределения при недостоверных (а) и достоверных (б) результатах контроля

Анализ приведенных зависимостей, позволяет утверждать, что эффект скрытого отказа имеет место на объектах с периодическим контролем технического состояния. Применительно к таким объектам вероятность их пребывания в состоянии скрытого отказа зависит от достоверности результатов контроля и периодичности его проведения. В случае отсутствия достоверной информации о техническом состоянии, независимо от числа циклов контроля объект РЭТ может длительное время находиться в состоянии скрытого отказа (рисунок 5, а). При достоверном контроле время пребывания объекта в скрытом отказе зависит только от частоты его проведения (рисунок 5, б), так как при $F_K \rightarrow \infty$, $\Phi(t) \rightarrow 0$. В то же время увеличение числа циклов контроля за счет дополнительных включений объекта приводит к ухудшению его безотказности (2). Разрешение этого противоречия возможно путем оптимизации числа циклов контроля (включений объекта) при условии обеспечения требуемой безотказности объекта, что является самостоятельной задачей и в данной статье не рассматривается.

Если считать, что контроль технического состояния объектов РЭТ РТВ в соответствии с действующими ТНПА проводится не менее одного раза в сутки при ЕТО и каждое последующее включение при КО [1], получить достоверную оценку готовности объектов к использованию по назначению возможно путем сопоставления текущих значений параметров из совокупности определяющих с заданными.

Реализация такого подхода применительно к большей части объектов РЭТ РТВ (объекты с ручным контролем) зависит от возможностей контрольно-измерительной аппаратуры (КИА), входящей в состав комплектов, и времени, отводимого на проведение контроля. Однако ограничение по времени на подготовку объектов к применению является одним из факторов, затрудняющим в полной мере реализацию возможностей КИА. Это свидетельствует о необходимости совершенствования существующих методик контроля и оценки технического состояния объектов РЭТ с последующей автоматизацией процессов контроля.

Полученные в ходе проведенного исследования результаты позволяют сделать следующие выводы:

в процессе использования объекты РЭТ с периодическим контролем технического состояния могут в межконтрольный период находиться в состоянии скрытого отказа;

выявить скрытый отказ возможно при оценке технического состояния объектов РЭТ в процессе их ЕТО (КО), базируясь на измеренных значениях определяющих параметров и сопоставлении их с заданными;

основным требованием, предъявляемым к данным контроля, является их достоверность (обеспечение минимально допустимой ошибки при измерении контролируемого параметра);

время пребывания объекта РЭТ в состоянии скрытого отказа при достоверном контроле технического состояния зависит от частоты его проведения;

повысить эффективность контроля технического состояния объектов РЭТ возможно путем совершенствования методов его проведения.

Литература

1. Инструкция по эксплуатации радиоэлектронной техники радиотехнических войск: введ. приказом командующего Военно-воздушными силами и войсками противовоздушной обороны № 540 29 дек. 2007 г. (текст по сост. на 1 янв. 2008 г.). – Минск: ВВС и войска ПВО, 2008. – 110 с.
2. Олейников, Л. Ф. Эксплуатация и ремонт вооружения и военной техники радиотехнических войск ПВО на этапе перевооружения / Л. Ф. Олейников. – М.: Воениздат, 1991. – 176 с.
3. Вопросы математической теории надежности / Е. Ю. Барзилович [и др.]; под ред. Б. В. Гнеденко. – М.: Радио и связь, 1983. – 376 с.
4. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения: ГОСТ 27.002-89. – Введ. 01.07.90. – М.: Госкомстандарт СССР, 1989. – 26 с.
5. Креденцер, Б. П. Модели технического обслуживания систем с избыточностью / Б. П. Креденцер, С. В. Ленков, М. И. Резников; под ред. Б. П. Креденцера. – Киев: Фенікс, 2002. – 192 с.

*Сведения об авторе:

Гринкевич Валентин Иванович,
УО «Военная академия Республики Беларусь».
Статья поступила в редакцию 02.09.2011 г.

ОБОСНОВАНИЕ ПЛАНА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ БОЕПРИПАСОВ С УЧЕТОМ ПАРТИЙ МЕЖДУ ОБЪЕКТАМИ ИХ ХРАНЕНИЯ

УДК 623.45

Н. И. Лисейчиков, И. С. Желудок, С. Н. Хандошко*

Рассматривается задача перемещения боеприпасов с учетом их партий, разрабатывается соответствующая оптимизационная модель, приводится пример ее решения и выполняется анализ полученных результатов.

The article considers the task of lots of ammunition transfer and work out the relevant optimization model, its solution example with obtained results analysis.

Развитие системы технического обеспечения войск обуславливает потребность изменения распределения боеприпасов между объектами их хранения, к которым относятся арсеналы, базы и склады. Перераспределение боеприпасов требует обоснования объемов их перемещения с одних объектов хранения на другие. С этой целью разрабатывается соответствующий план, определяющий номенклатуру и объемы боеприпасов, перемещаемых с каждого объекта хранения на остальные. Перераспределение боеприпасов должно осуществляться партиями [1]. Это означает, что боеприпасы одной партии могут быть отправлены не более чем на один объект хранения. Партия – множество боеприпасов одного конструктивного варианта, имеющих одинаковые производственные данные (номер партии, год и завод изготовления). Большое количество партий боеприпасов приводит к тому, что число комбинаций их возможных перемещений велико. Поэтому актуальной задачей является обоснование указанного выше плана перемещения. Рассмотрим постановку, формализацию и решение указанной задачи.

Постановка задачи. Имеется один объект хранения (база, войсковой склад и др.), на котором размещены боеприпасы. Номенклатура боеприпасов и объем каждой партии известны. Задано множество объектов хранения, на которые необходимо переместить установленные объемы боеприпасов каждой номенклатуры. Боеприпасы каждой партии перемещаются на один из выбранных объектов хранения в полном объеме. Требуется обосновать план перемещения боеприпасов с учетом партий на базы хранения.

Формализация задачи. Математическую модель запишем для каждой отдельно взятой номенклатуры боеприпасов. Это связано с тем, что замена боеприпасов одной номенклатуры другой невозможна. Следовательно, рассматриваемая задача может быть разбита на M (количество номенклатур боеприпасов) независимых подзадач. Перенумеруем имеющиеся партии боеприпасов – $1, 2, \dots, n$, где n – количество партий. Обозначим:

$w_i, i = 1, 2, \dots, n$ – объем имеющейся i -й партии боеприпасов;

m – количество объектов хранения, на которые необходимо переместить боеприпасы;

$W_j, j = 1, 2, \dots, m$ – объем боеприпасов, который требуется переместить на j -й объект хранения.

Введем булевы переменные $d_{ij} = \{0, 1\}$, $i = 1, 2, \dots, n$, $j = 1, 2, \dots, m$. Если боеприпасы i -й партии перемещаются на j -й объект хранения, то $d_{ij} = 1$; в противном случае $d_{ij} = 0$.

Ограничение задачи. Необходимо переместить все имеющиеся запасы, причем боеприпасы одной партии только на один из объектов хранения $\sum_{j=1}^m d_{ij} = 1, i = 1, 2, \dots, n$.

Очевидно, что исходное множество $I = \{1, 2, \dots, n\}$ не всегда позволяет сформировать такой набор партий, общее количество боеприпасов которых равно заданному значению. Следовательно, при решении задачи может возникнуть отклонение рассчитанного количества перемещаемых боеприпасов от запланированных объемов. Поэтому в качестве целевой функции задачи следует рассматривать величину указанного отклонения.

Отклонение количества боеприпасов, перемещаемых на j -й объект хранения, от требуемого объема определяется выражением $\Delta_j = W_j - \sum_{i=1}^n w_i d_{ij}$, $j = 1, 2, \dots, m$. Тогда целевая функция задачи будет иметь вид $F(d_{iz}) = \sum_{j=1}^m \left| W_j - \sum_{i=1}^n w_i d_{ij} \right|$.

Математическая модель задачи

$$\text{Найти} \quad \sum_{j=1}^m \left| W_j - \sum_{i=1}^n w_i d_{ij} \right| \rightarrow \min \quad (1)$$

$$\text{при ограничениях} \quad \begin{cases} \sum_{j=1}^m d_{ij} = 1, i = 1, 2, \dots, n, \\ d_{ij} = \{0, 1\}, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m. \end{cases} \quad (2)$$

Практика эксплуатации боеприпасов показывает, что с увеличением числа мест хранения, с которых осуществляется их перемещение, трудоемкость рассматриваемого процесса также повышается. Это связано с необходимостью разбора штабеля (полностью или его части) на каждом из мест хранения для извлечения боеприпасов какой-либо партии. Выполним учет количества мест хранения, с которых на каждую из баз перемещаются боеприпасы.

Среди исходного множества $I = \{1, 2, \dots, n\}$ выделим подмножества I_k , $k = 1, 2, \dots, Z$ партий боеприпасов, находящихся в k -м месте хранения (где Z – число мест хранения, в которых размещены рассматриваемые n партий). Введем булеву переменную $y_{kj} = \{0, 1\}$, $k = 1, 2, \dots, Z$, $j = 1, 2, \dots, m$. Переменная $y_{kj} = 1$ при перемещении боеприпасов из k -го места хранения на j -ю базу; в обратном случае $y_{kj} = 0$. Значение y_{kj} определяется выражением

$$y_{kj} = \max_i \{d_{ij}\}, \forall i \in I_k, k = 1, 2, \dots, Z, j = 1, 2, \dots, m.$$

Обозначим N_j – максимальное число мест хранения, с которых боеприпасы могут быть перемещены на j -ю базу. Тогда учет рассматриваемого ограничения для каждого j -го объекта хранения запишется $\sum_{k=1}^Z y_{kj} \leq N_j$, $j = 1, 2, \dots, m$.

Математическая модель задачи перемещения боеприпасов с учетом партий и их исходного размещения

$$\text{Найти} \quad \sum_{j=1}^m \left| W_j - \sum_{i=1}^n w_i d_{ij} \right| \rightarrow \min \quad (3)$$

$$\text{при ограничениях} \quad \begin{cases} \sum_{j=1}^m d_{ij} \leq 1, i = 1, 2, \dots, n, \\ y_{kj} = \max_i \{d_{ij}\}, \forall i \in I_k, k = 1, 2, \dots, Z, j = 1, 2, \dots, m, \\ \sum_{k=1}^Z y_{kj} \leq N_j, j = 1, 2, \dots, m, \\ d_{ij} = \{0, 1\}, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m, \\ y_{kj} = \{0, 1\}, k = 1, 2, \dots, Z, j = 1, 2, \dots, m. \end{cases} \quad (4)$$

Математические модели (1)–(2) и (3)–(4) описывают задачу дискретной оптимизации. Общие свойства и методы решения рассматриваемых задач подробно раскрыты в [3, 4]. Рассмотрим прикладную задачу, которая описывается математической моделью (1)–(2).

Прикладная задача. Имеется объект хранения, с которого часть номенклатуры боеприпасов в полном объеме требуется переместить на другие базы. Объемы перемещения ка-

ждой номенклатуры боеприпасов установлены [2]. Боеприпасы любой партии перемещаются только на один из объектов хранения. Требуется обосновать план перемещения боеприпасов с учетом партий между объектами хранения.

Приведем решение рассматриваемой задачи в отдельности для 82- и 120-мм минометных выстрелов. Указанные боеприпасы планируется переместить на четыре объекта в объемах, указанных в таблице 1. Задача описывается математической моделью (1)–(2).

Таблица 1 – Планируемые объемы перемещения минометных выстрелов на объекты хранения

Номенклатура боеприпасов	Объем боеприпасов, планируемый к перемещению на объекты хранения, усл. ваг.				
	1	2	3	4	Всего
82-мм выстрелы к БМ-37	28,576	23,698	49,486	23,698	125,458
120-мм выстрелы к ПМ-38	53,424	44,302	92,514	44,302	234,542
Всего	82	68	142	68	360

Решение задачи. Исходные данные задачи для 82-мм выстрелов к БМ-37: планируемые объемы перемещения боеприпасов на объекты хранения (таблица 1); объемы партий 82-мм выстрелов (таблица 2).

Для решения задачи был использован метод ветвей и границ, реализованный в программном продукте LpSolve IDE 5.5 [5]. Время поиска оптимального плана перемещения боеприпасов составило 18 с (ПЭВМ Intel Celeron 3 ГГц, 512 Мб ОЗУ). Полученный результат решения задачи приведен в таблице 3. В предлагаемом варианте отклонение полученного количества перемещаемых боеприпасов от плана равно нулю.

Таблица 2 – Характеристика партий 82-мм выстрелов к БМ-37

Номер партии	Объем, усл. ваг.	Номер партии	Объем, усл. ваг.
1 / 16 / 17	1,19 / 1,652 / 0,81	50 / 51 / 52	0,014 / 0,61 / 0,119
2–7, 28–36, 39, 41, 43–48, 54–55, 59–63, 66–69, 71, 76	2,381	53 / 56 / 57	0,676 / 0,001 / 0,44
		58 / 70 / 72	2,057 / 1,445 / 0,576
8–15, 19, 21–24, 27	1,191	73 / 74 / 75	1,555 / 2,212 / 0,278
18 / 20 / 25	0,666 / 0,905 / 0,393	77 / 78 / 79	0,029 / 0,057 / 0,005
26 / 37 / 38	0,31 / 0,238 / 0,476	80 / 81 / 82	0,121 / 0,048 / 0,224
40 / 42 / 49	1,023 / 0,643 / 1,095	Всего	125,458

Таблица 3 – План перемещения партий 82-мм минометных выстрелов

Объект хранения	Номера партий перемещаемых боеприпасов	Объем боеприпасов, усл. ваг.	
		по плану	фактически
1	3, 19, 25, 27, 37, 38, 40, 50–53, 55–57, 66–69, 71, 72, 74, 76, 78	28,576	28,576
2	1, 2, 8–13, 16, 54, 59, 60, 64, 70, 73, 77	23,698	23,698
3	4, 17, 31–36, 39, 41, 43–49, 58, 61–63, 65, 75, 80, 82	49,486	49,486
4	5–7, 14–15, 18, 20–24, 28–30	23,698	23,698
Всего		125,458	125,458

Исходные данные задачи для 120-мм выстрелов к ПМ-38: планируемые объемы перемещения боеприпасов на объекты хранения (таблица 1); объемы партий 120-мм выстрелов (таблица 4).

Время поиска решения задачи составляет 44 с, а полученный результат приведен в таблице 5. В предлагаемом варианте отклонение полученного количества перемещаемых боеприпасов от плана равно нулю.

Таблица 4 – Характеристика партий 120-мм выстрелов к ПМ-38

Номер партии	Объем, усл. ваг.	Номер партии	Объем, усл. ваг.
1 / 2	5,994 / 6,579	29 / 35 / 36	0,333 / 4,649 / 0,467
3, 6, 11, 13, 15, 22, 30–32, 34, 42	7,31	37 / 39	0,35 / 5,847
4 / 5 / 7	1,462 / 3,246 / 2,251	38, 40	4,386
8 / 9 / 10	0,673 / 3,725 / 1,14	41 / 43 / 44	1,81 / 0,1 / 0,35
12 / 14 / 16	3,655 / 1,462 / 0,263	45 / 46	2,924 / 1,462
17 / 18 / 19	3,216 / 5,555 / 3,684	47–59	4,386
20 / 21 / 33	2,193 / 5,848 / 7,21	60 / 61 / 62	0,862 / 6,579 / 2,368
23 / 24 / 25	0,009 / 0,086 / 0,099	63 / 64	1,462 / 0,351
26 / 27 / 28	0,02 / 0,032 / 0,026	<i>Всего</i>	<i>234,542</i>

Таблица 5 – План перемещения партий 120-мм минометных выстрелов

Объект хранения	Номера партий перемещаемых боеприпасов	Объем боеприпасов, усл. ваг.	
		по плану	фактически
1	7–10, 12, 16, 17, 19, 20, 36–38, 41, 43, 45, 46, 49, 54, 55, 57, 60, 62, 64	53,424	53,424
2	3, 5, 6, 22–24, 28, 39, 40, 53, 56	44,302	44,302
3	1, 4, 11, 13, 15, 25, 30, 31, 33–35, 42, 47, 48, 50, 58, 59	92,514	92,514
4	2, 14, 18, 21, 26, 27, 29, 32, 44, 51, 52, 61, 63	44,302	44,302
<i>Всего</i>		<i>234,542</i>	<i>234,542</i>

Аналогичным образом выполняется оптимизация плана для остальной номенклатуры боеприпасов (всего 33 наименования), перемещаемых с рассматриваемого объекта хранения. Ввиду ограниченного объема статьи приведем только результаты решения исходной задачи (таблица 6). Для номенклатуры, все боеприпасы которой должны быть отправлены только на один объект хранения (например, 220-мм Ф к 9П140 и др.), выбор перемещаемых партий очевиден и не требует решения оптимизационной задачи. В таблице 6 время решения таких задач обозначено знаком «—».

Таблица 6 – Анализ задачи перемещения боеприпасов учетом партий и результатов ее решения

Номенклатура	Характеристика боеприпасов	Характеристика задачи и ее решения		
		Диапазон изменения объемов партий, усл. ваг.	Количество переменных	Время решения, с
122-мм ОФ к БМ-21	0,007–10,533	1281	573	0
122-мм ОФ ин к БМ-21	—	1	—	0
122-мм З к БМ-21	0,007–1,293	8	—	0
220-мм Ф к 9П140	—	1	—	0
220-мм К к 9П140	0,594–12,75	46	131	$2 \cdot 10^{-4}$
220-мм Д к 9П140	1,5–4,629	4	—	0
220-мм другие к 9П140	—	1	—	0
100-мм ОФ к Т-12	0,047–6,557	48	0,76	$(1-6) \cdot 10^{-3}$
100-мм БК к Т-12	0,361–6,307	27	0,05	0,08–9
100-мм БМ к Т-12	0,002–3,484	24	0,02	2,4–20
23-мм БР к ЗУ-23	0,005–0,96	66	1	0
23-мм ОР к ЗУ-23	0,002–0,53	132	0,2	0
23-мм ОФ к ЗУ-23	0,001–0,902	291	5	0
122-мм ОФ к Д-30	0,002–4,012	138	600	0,009–0,1
122-мм Ш к Д-30	0,004–7	57	0,38	0,025–0,09
122-мм БК к Д-30	0,238–4,949	10	0,02	1,65–4
152-мм ОФ к Д-20	0,004–8,546	52	0,03	0

Характеристика боеприпасов		Характеристика задачи и ее решения		
Номенклатура	Диапазон изменения объемов партий, усл. ваг.	Количество переменных	Время решения, с	Отклонение объема перемещаемых боеприпасов, %
152-мм другие к Д-20	0,003–2,6	5	–	0
82-мм ОФ к БМ-37	0,001–2,381	328	19	0
120-мм ОФ к ПМ-38	0,009–7,31	256	44	0
73-мм О и П к СПГ-9	0,011–6,21	42	0,3	0,07–0,3
40-мм ПГ к РПГ-7	0,008–4,391	201	88	$(2-6) \cdot 10^{-3}$
30-мм ОФ к 2А42	0,002–0,83	603	2,47	0
30-мм БР к 2А42	0,002–0,615	32	0,02	0
30-мм ОР к 2А42	0,003–0,86	18	0,03	0,09–0,18
125-мм ОФ к Д-81	0,004–10,236	411	3,31	0
125-мм БМ к Д-81	0,002–5,025	903	0,17	0
125-мм другие к Д-81	0,002–4,687	15	–	0
5,45-мм патроны	0,0008–0,76	2240	297	0
7,62-мм патроны	0,0001–1,478	10460	422	0
12,7-мм патроны	0,0087–1,36	540	600	$(1-2) \cdot 10^{-3}$
14,5-мм патроны	0,0013–1,205	1056	63	0
Ручные гранаты	0,0001–10	1348	18	0

Таким образом, решение прикладной задачи методами математического программирования обеспечивает получение оптимального плана перемещения боеприпасов с учетом их партий. Рассмотренные математические модели отличаются от известных [2] учетом одного из основных требований руководящих документов – перемещения боеприпасов партиями. Анализ результатов решения прикладной задачи показывает, что нахождение точного решения, при котором количество перемещаемых боеприпасов соответствует заданным объемам, не всегда возможно (таблица 6). В случаях с небольшим количеством имеющихся партий (до 20 шт.) значение отклонения от требуемых объемов перемещения составляет 4–20 %. При большем числе партий боеприпасов отклонение не превышает 0,3 %. Для 15 из 26 (58 %) рассчитанных вариантов перемещения боеприпасов рассматриваемое отклонение равно нулю. Время поиска решения для одной номенклатуры боеприпасов составляет от 0,02 до 600 с.

В целом предлагаемые математические модели (1)–(2) и (3)–(4) позволяют оперативно выполнять обоснование плана перемещения боеприпасов и могут быть использованы инженерно-техническим составом баз хранения, управления РАВ МО РБ и воинских частей при планировании соответствующих мероприятий.

Литература

1. Инструкция о порядке эксплуатации РАВ в ВС РБ: утв. приказом М-ва обороны Респ. Беларусь № 11 от 11 марта 2008 г.
2. Военно-экономическое обоснование плана перемещения боеприпасов между арсеналами, базами и складами вооруженных сил: отчет о НИР «Обоз» / НИИ ВС РБ; Ю. В. Дубина. – Минск, 2009. – 39 с.
3. Сергиенко, И. В. Математические модели и методы решения задач дискретной оптимизации / И. В. Сергиенко. – Киев: Наукова думка, 1985. – 384 с.
4. Сигал, И. Х. Введение в прикладное дискретное программирование: модели и вычислительные алгоритмы: учеб. пособие / И. Х. Сигал, А. П. Иванова. – М.: Физматлит, 2003. – 240 с.
5. Официальный сайт компании Yahoo Groups. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://psolve.sourceforge.net/5.5/>.

* Сведения об авторах:
Лисейчиков Николай Иванович,
Желудок Иван Станиславович,
Хандошко Сергей Николаевич,
УО «Военная академия Республики Беларусь».
Статья поступила в редакцию 10.10.2011 г.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ ХРАНЕНИЯ АРТИЛЛЕРИЙСКОГО ВООРУЖЕНИЯ

УДК 623.48

А. В. Ружечко*

Принцип экономичности является одним из основных требований организации хранения вооружения и военной техники. В статье приведены две математические модели, обеспечивающие обоснованный выбор вариантов размещения образцов артиллерийского вооружения на длительное хранение по критерию показателей экономичности – результативности и ресурсоемкости.

The principle of economy is one of the main problems of arms and war machinery storage organization. There are two mathematical models in the article proved the variants of artillery arms patterns arrangement for long-term storage according to the criterion of economy indicators – efficiency and expenditure.

Артиллерийское вооружение (АВ) насчитывает более 300 основных видов и по номенклатуре образцов является одним из самых многочисленных классов вооружения и военной техники. В зависимости от назначения и решаемых задач образцы АВ разделяют на семь групп [1], в которых имеются образцы с общими конструктивными признаками и условиями хранения. Ввиду сложности учета указанных особенностей для всего класса АВ целесообразным является исследование некоторой совокупности образцов с общими характеристиками. Поэтому в данной статье рассматривается АВ на самоходном шасси.

Наличие ряда требований руководящих документов [2, 3], различных методов консервации и разнотипных мест хранения образует множество возможных вариантов размещения образцов АВ. Под вариантом размещения понимается количество образцов, располагаемое в каждом месте хранения с применением того или иного метода консервации. Множество существующих вариантов размещения АВ на хранение ведет к необходимости привлечения методов военно-экономического анализа для обоснования оптимального варианта [4]. Такой подход позволит снизить ресурсоемкость и повысить результативность хранения, что в целом повысит экономичность данного этапа эксплуатации. В нашем случае результативность характеризуется количеством работоспособных образцов после снятия с хранения. Ресурсоемкость определяется объемом материально-технических, финансовых и трудовых видов ресурсов, необходимых в течение периода длительного хранения образцов [5].

Выполним постановку и формализацию двух математических моделей указанной задачи, в которых целевыми функциями выбраны: для первой модели – количество работоспособных образцов АВ после снятия с хранения, для второй – суммарная трудоемкость работ.

Максимизация количества работоспособных образцов артиллерийского вооружения после снятия с хранения

Постановка и формализация задачи. Имеется a_0 однотипных образцов АВ, которые необходимо поставить на длительное хранение. Для размещения АВ имеются n мест хранения и m методов консервации. Количество образцов, размещаемых в каждое место хранения, зависит от применяемого метода консервации. Это обусловлено особенностями используемого метода консервации. Вместе с тем установлено количество образцов, которое может быть законсервировано каждым методом. Кроме того, в каждом месте хранения в зависимости от метода консервации должно быть размещено максимальное количество образцов АВ. Значения трудовых затрат и показателей сохраняемости образцов зависят от метода консервации и места хранения. Предположим, что в каждом месте хранения может применяться только один метод консервации. Необходимо выбрать такой вариант размещения образцов АВ, чтобы математическое ожидание числа работоспособных единиц после снятия с хранения было максимально возможным.

Обозначим:

a_{ij} – максимальное количество образцов АВ, которое может быть размещено в j -м месте хранения при условии их консервации i -м методом;

$\tau_{ij}, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$ – трудоемкость работ, проводимых на образце, который размещается в j -м месте хранения и консервируется i -м методом;

$p_{ij}, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$ – вероятность сохранения работоспособности образца при условии его нахождения в j -м месте хранения и консервации i -м методом;

$b_i, i = 1, 2, \dots, m$ – количество образцов АВ, которое может быть законсервировано i -м методом;

$d_{ij}, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$ – булева переменная, принимающая значение 1, если образец АВ консервируется i -м методом и размещается в j -м месте хранения, и 0 – в обратном случае;

T_0 – объем трудовых ресурсов, имеющийся для организации длительного хранения парка АВ.

Ограничения задачи:

1. Суммарная трудоемкость работ по консервации и техническому обслуживанию парка АВ за период хранения не должна превышать имеющихся ресурсов $\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \tau_{ij} a_{ij} d_{ij} \leq T_0$.

2. На хранение должны быть размещены все имеющиеся образцы $\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} d_{ij} = a_0$.

3. Количество образцов, законсервированных i -м методом, не должно превышать установленного числа $\sum_{j=1}^n a_{ij} d_{ij} \leq b_i, i = 1, 2, \dots, m$.

4. В каждом месте хранения образцы АВ могут быть законсервированы только одним методом $\sum_{i=1}^m d_{ij} = 1, j = 1, 2, \dots, n$.

Целевой функцией задачи является математическое ожидание числа работоспособных образцов АВ после снятия с хранения $F(d_{ij}) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_{ij} a_{ij} d_{ij}$.

Математическая модель задачи

Найти $\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_{ij} a_{ij} d_{ij} \rightarrow \max$ (1)

$$\text{при условиях } \begin{cases} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \tau_{ij} a_{ij} d_{ij} \leq T_0, \\ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} d_{ij} = a_0, \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} d_{ij} \leq b_i, i = 1, 2, \dots, m, \\ \sum_{i=1}^m d_{ij} = 1, j = 1, 2, \dots, n, \\ d_{ij} = \{0, 1\}, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n. \end{cases} \quad (2)$$

Математическая модель (1)–(2) описывает задачу булева программирования. Указанная задача решается на ПЭВМ с использованием известных методов дискретной оптимизации. Рассмотрим пример задачи.

Пример. Исходные данные приведены в таблице 1. Общее количество образцов АВ, которое необходимо поставить на длительное хранение, составляет 130 единиц. Образцы

размещаются в каждом из семи имеющихся мест хранения. Для их консервации применяются шесть методов. Суммарные трудовые затраты на подготовку и в период хранения парка АВ не должны превышать 120 тыс. чел.-ч. Количество образцов, которые могут быть законсервированы каждым методом: $b_1 = 20$, $b_2 = 40$, $b_3 = 50$, $b_4 = 90$, $b_5 = 30$, $b_6 = 60$.

Таблица 1 – Исходные данные задачи

Место хранения	Характеристики методов консервации																	
	1			2			3			4			5			6		
	p_{1j}	τ_{1j}	a_{1j}	p_{2j}	τ_{2j}	a_{2j}	p_{3j}	τ_{3j}	a_{3j}	p_{4j}	τ_{4j}	a_{4j}	p_{5j}	τ_{5j}	a_{5j}	p_{6j}	τ_{6j}	a_{6j}
1	–	–	–	0,93	1240	20	–	–	–	0,94	1090	20	0,96	710	10	0,9	504	20
2	–	–	–	0,93	1240	20	–	–	–	0,94	1090	20	0,96	710	10	0,9	504	20
3	–	–	–	–	–	–	0,93	1610	10	0,91	1165	10	0,94	730	10	0,85	557	10
4	–	–	–	–	–	–	0,93	1610	10	0,91	1165	10	0,94	730	10	0,85	557	10
5	0,95	672	10	–	–	–	0,9	1690	20	0,89	1254	30	0,93	760	10	0,82	595	30
6	0,95	672	10	–	–	–	0,9	1690	20	0,89	1254	30	0,93	760	10	0,82	595	30
7	0,95	672	10	–	–	–	0,9	1690	20	0,89	1254	30	0,93	760	10	0,82	595	30

Для решения задачи использовался программный продукт LPSolve IDE версии 5.5.0.15. Он предназначен для решения задач частично целочисленного линейного программирования при помощи метода ветвей и границ. Рассматриваемая задача состоит из 42 переменных и 15 ограничений. При решении задачи было получено значение целевой функции, равное 117,7. Суммарные трудовые затраты на подготовку и хранение парка АВ составили 116 720 чел.-ч, что не превышает объема имеющихся ресурсов.

В силу того, что образцы размещаются в местах хранения с одинаковыми характеристиками, может существовать несколько решений, при которых обеспечивается экстремум целевой функции. Целевая функция достигает своего экстремального значения на некотором подмножестве множества допустимых решений. Элементы этого подмножества называют альтернативными оптимальными решениями [6]. В рассматриваемой задаче имеется три альтернативных оптимальных решения, которые представлены матрицами A_1 , A_2 , A_3 . В указанных и последующих матрицах горизонтальные строки соответствуют местам хранения, а столбцы обозначают методы консервации.

$$A_1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 20 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 20 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 30 & 0 & 0 \\ 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 30 & 0 & 0 \end{pmatrix}, A_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 20 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 20 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 30 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 30 & 0 & 0 \end{pmatrix}, A_3 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 20 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 20 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 30 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 30 & 0 & 0 \\ 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Наличие альтернативных оптимальных решений полезно при решении практических задач, так как лицо, принимающее решения, получает возможность выбора варианта, который в наибольшей степени отвечает сложившейся ситуации [6].

Проведем анализ модели на чувствительность по правым частям ограничений. Его суть заключается в определении предельно допустимого увеличения дефицитного ресурса, позволяющего получить новое оптимальное решение, которое с точки зрения значения целевой функции является более предпочтительным, чем старое.

Рассмотрим ситуацию, когда для размещения образцов АВ на длительное хранение могут быть выделены дополнительные трудовые ресурсы. При этом необходимо определить требуемый объем этих ресурсов, чтобы математическое ожидание числа работоспособных образцов после снятия с хранения увеличилось. Суммарные трудовые затраты при хранении АВ являются дефицитным ресурсом. Величина дефицитного ресурса, при увеличении кото-

рой значение целевой функции больше невозможно улучшить, составляет 143 160 чел.-ч. При этом математическое ожидание числа работоспособных образцов после снятия с хранения составляет 119,1 единиц. Для данной задачи получено шесть альтернативных оптимальных решений, которые представлены матрицами $B_1 - B_6$. Таким образом, чтобы получить максимальное значение целевой функции за счет увеличения объема трудовых ресурсов, необходимо к уже имеющимся ресурсам (по условию задачи) выделить 23 160 чел.-ч.

$$B_1 = \begin{pmatrix} 0 & 20 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 20 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 30 & 0 & 0 \\ 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 30 & 0 & 0 \end{pmatrix}, B_2 = \begin{pmatrix} 0 & 20 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 20 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 30 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 30 & 0 & 0 \end{pmatrix}, B_3 = \begin{pmatrix} 0 & 20 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 20 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 30 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 30 & 0 & 0 \\ 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$$B_4 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 20 & 0 & 0 \\ 0 & 20 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 30 & 0 & 0 \\ 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 30 & 0 & 0 \end{pmatrix}, B_5 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 20 & 0 & 0 \\ 0 & 20 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 30 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 30 & 0 & 0 \end{pmatrix}, B_6 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 20 & 0 & 0 \\ 0 & 20 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 30 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 30 & 0 & 0 \\ 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Если необходимо разместить на хранение образцы АВ так, чтобы суммарная трудоемкость работ была минимально возможной, формулируется обратная постановка задачи.

Минимизация суммарной трудоемкости работ

Постановка и формализация задачи. Исходные данные такие же, как в предыдущей задаче. Необходимо обосновать методы консервации образцов АВ, размещаемых в каждом месте хранения. При этом суммарная трудоемкость работ при хранении парка АВ в течение установленного срока должна быть минимально возможной. Обозначим через P_0 количество работоспособных образцов АВ после снятия с хранения. Тогда математическое ожидание числа работоспособных образцов, снятых с хранения, должно быть не менее требуемого значения P_0 . Остальные обозначения идентичны введенным в предыдущей задаче. В ограничениях задачи изменится только первое условие. Оно формулируется следующим образом: математическое ожидание числа работоспособных образцов АВ, снятых с хранения, должно быть не менее требуемого $\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_{ij} x_{ij} \geq P_0$.

Целевой функцией задачи является суммарная трудоемкость работ по консервации и техническому обслуживанию образцов АВ за период хранения $F(d_{ij}) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \tau_{ij} a_{ij} d_{ij}$.

Математическая модель задачи

$$\text{Найти } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \tau_{ij} a_{ij} d_{ij} \rightarrow \min \quad (3)$$

$$\text{при условиях } \begin{cases} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_{ij} a_{ij} d_{ij} \geq P_0, \\ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} d_{ij} = a_0, \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} d_{ij} \leq b_i, i = 1, 2, \dots, m, \\ \sum_{i=1}^m d_{ij} = 1, j = 1, 2, \dots, n, \\ d_{ij} = \{0, 1\}, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n. \end{cases} \quad (4)$$

Выполним решение примера задачи (3)–(4) на ПЭВМ с помощью программного средства LPSolve IDE.

Пример. Исходные данные аналогичны предыдущему примеру (таблица 1). Количество размещаемых на хранение образцов АВ составляет 130 ед. Математическое ожидание числа работоспособных объектов после снятия с длительного хранения должно быть не менее 118 единиц. Для хранения АВ имеется семь мест хранения и может применяться шесть методов консервации. Количество образцов, которое может быть законсервировано каждым из методов, остается прежним.

Решение задачи было найдено при помощи программы LPSolve IDE версии 5.5.0.15. Суммарная трудоемкость работ составила 128 440 чел.-ч, а математическое ожидание числа работоспособных образцов АВ после снятия с хранения – 118,5 единиц. В результате решения задачи получены шесть альтернативных оптимальных решений, представленных матрицами C_1 – C_6 .

$$C_1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 20 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 20 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 30 & 0 & 0 \\ 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 30 & 0 & 0 \end{pmatrix}, C_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 20 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 20 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 30 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 30 & 0 & 0 \end{pmatrix}, C_3 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 20 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 20 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 30 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 30 & 0 & 0 \\ 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$$C_4 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 20 \\ 0 & 0 & 0 & 20 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 30 & 0 & 0 \\ 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 30 & 0 & 0 \end{pmatrix}, C_5 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 20 \\ 0 & 0 & 0 & 20 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 30 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 30 & 0 & 0 \end{pmatrix}, C_6 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 20 \\ 0 & 0 & 0 & 20 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 30 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 30 & 0 & 0 \\ 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Таким образом, приведенные математические модели (1)–(2) и (3)–(4) позволяют найти вариант размещения образцов АВ на длительное хранение, при котором обеспечиваются оптимальные значения показателей экономичности. Это подтверждается решением примеров прикладных задач на ПЭВМ с помощью программного продукта LPSolve IDE версии 5.5.0.15.

Разработанные математические модели могут использоваться при обосновании плана размещения АВ на длительное хранение.

Особенностью задачи размещения образцов АВ на длительное хранение является возможность существования альтернативных оптимальных решений. Это обусловлено тем, что места хранения, в которых размещаются образцы, как правило, являются типовыми и имеют одинаковые характеристики. Наличие нескольких оптимальных решений позволяет лицу, принимающему решения, выбрать наиболее предпочтительное в конкретной ситуации.

Литература

1. Инструкция о порядке проведения проверки и оценки состояния вооружения, военной и специальной техники в Вооруженных Силах и транспортных войсках: утв. приказом Министра обороны Респ. Беларусь № 770 от 27 авг. 2010 г. – 59 с.

2. Инструкция о порядке эксплуатации РАВ в ВС РБ: утв. приказом Министра обороны Респ. Беларусь № 11 от 11 марта 2008 г. – 266 с.

3. Инструкция о порядке оборудования парков в воинских частях ВС РБ и транспортных войсках РБ: утв. приказом Министра обороны Респ. Беларусь № 1 от 3 янв. 2007 г. – 96 с.

4. Военно-экономический анализ: учеб. / С. Ф. Викулов [и др.]; под ред. С. Ф. Викулова. – М.: Воениздат, 2001. – 351 с.

5. Лисейчиков, Н. И. Моделирование и обоснование решений при хранении вооружения и техники / Н. И. Лисейчиков, Ю. В. Дубина. – Минск: НИИ ВС РБ, 2006. – 137 с.

6. Волков, И. К. Исследование операций / И. К. Волков, Е. А. Загоруйко; под ред. В. С. Зарубина, А. П. Крищенко. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. – 434 с.

* Сведения об авторе:

Ружечко Антон Владимирович,

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 10.10.2011 г.

КОДИРОВАНИЕ ДВУМЕРНЫХ МАССИВОВ ИНФОРМАЦИИ В ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ ПАМЯТИ

УДК 681.3.053:[681.327.68:778.38]

С. Г. Шматин, А. Н. Мацкевич, А. С. Шматин,
А. В. Комяк, М. Е. Ватугин

В статье предложены алгоритмы кодирования двумерных массивов информации, стабилизирующие хемминговский вес с точностью 10–20 %. С помощью статистического компьютерного моделирования определена эффективность предложенных алгоритмов для случаев равномерного и β -распределения хемминговского веса исходной информации.

In this paper algorithms for coding two-dimensional data arrays are proposed, which stabilize the spread of Hamming weight with an accuracy of 10 to 20 %. The algorithms are investigated by the statistical computer simulation techniques in order to achieve uniform and β -distribution of Hamming weight of the input data.

В оптоэлектронных системах памяти, и в частности в голографических запоминающих устройствах, разброс чувствительности многоканального матричного фотоприемника, разброс интенсивностей изображений приводят к значительному снижению отношения сигнал/шум и достоверности считывания информации [1, 2].

Интенсивность светового изображения пропорциональна количеству «единиц» в исходном массиве данных – хемминговскому весу H . Известные наиболее эффективные методы стабилизации последнего заключаются либо в парафазном кодировании массива информации [2], либо в прямом или инверсном кодировании слов массива информации в зависимости от хемминговского веса кодируемого слова [3]. Основными недостатками указанных методов являются соответственно снижение в два раза информативной емкости оптоэлектронной системы памяти и большой разброс хемминговского веса, который достигает 50 % от емкости страницы M .

В данной статье предлагаются алгоритмы кодирования двумерных массивов информации, стабилизирующие хемминговский вес страниц на уровне $0,5M \pm (5 \dots 10) \%$, с помощью методов статистического моделирования исследуется эффективность стабилизации хемминговского веса указанными алгоритмами для страниц с емкостью до 1 кбит.

Алгоритм 1 преобразует двоичную матрицу $[a_{i,j}]$ в матрицу $[b_{i,j}]$ следующим образом:

$$b_{1,j} = X_j \oplus a_{1,j}; j = 1, n; [X] = \text{const};$$

.....

$$b_{k,j} = a_{k,j} \oplus b_{k-1,j}; j = 1, n;$$

.....

$$b_{m,j} = a_{m,j} \oplus b_{m-1,j}; j = 1, n.$$

Алгоритм 2 перекодирует матрицу $[a_{i,j}]$ в матрицу $[c_{i,j}]$ следующим образом: образуется промежуточная матрица $[c'_{i,j}]$, получаемая путем сложения по модулю 2 каждой строки матрицы $[a_{i,j}]$ с константой $[X]$; матрица $[c_{i,j}]$ получается путем сложения по модулю 2 каждого столбца матрицы $[c'_{i,j}]$ с константой $[Y]$. В процессе моделирования использовались константы $[X] = [Y] = 1010\dots$. В этом случае алгоритм 2 производит сложение по модулю 2 исходной матрицы $[a_{i,j}]$ с матрицей типа «шахматная доска», в результате чего в матрице $[a_{i,j}]$ инвертируются четные элементы в нечетных строках и нечетные элементы в четных строках:

$$c_{i,j} = \begin{cases} a_{i,j}; & j=1, 3, \dots, n-1; & i=1, 3, \dots, m-1; \\ \bar{a}_{i,j}; & j=2, 4, \dots, n; & i=1, 3, \dots, m-1; \\ \bar{a}_{i,j}; & j=1, 3, \dots, n-1; & i=2, 4, \dots, m; \\ a_{i,j}; & j=2, 4, \dots, n; & i=2, 4, \dots, m. \end{cases}$$

Алгоритм кодирования 3 учитывает распределение логических единиц в исходной информации и является одним из вариантов адаптивного кодирования.

1. Определяется количество логических единиц в нечетных $N_{1,j}$ и четных $N_{2,j}$ позициях i -й строки матрицы $[a_{i,j}]$.

2. Величины $N_{1,j}$ и $N_{2,j}$ сравниваются и в зависимости от результата сравнения i -я строка матрицы $[a_{i,j}]$ складывается по модулю 2 с прямым либо инверсным кодом константы $[X]$, а в служебный разряд i -й строки записывается 0 или 1 в зависимости от использованного кода:

$$\begin{aligned} d_{i,j} &= a_{i,j} \oplus X_j; N_{1,j} > N_{2,j}; j=1, n; [X] = \text{const}; \\ d_{i,j} &= a_{i,j} \oplus \bar{X}; N_{1,j} \leq N_{2,j}; j=1, n. \end{aligned} \quad (1)$$

Эффективность предложенных алгоритмов определялась с помощью статистического моделирования на ЭВМ. Моделирование проводилось для матриц размерностью $(1...4)^2$ байта. Исходные данные для каждого этапа моделирования представляли собой 1000 псевдослучайных двоичных матриц, причем программно задавались два распределения хемминговского веса исходных страниц: равномерное и β -распределение. Равномерный закон распределения моделировался для анализа эффективности работы алгоритмов в диапазоне изменения хемминговского веса от 0 до M . С помощью β -распределения моделировался конкретный случай распределения хемминговского веса исходной информации.

Результаты компьютерного моделирования приведены в таблице и на рисунке 1, на котором изображены функции плотности вероятности распределения хемминговского веса исходных и преобразованных страниц размерностью 32×32 бит в случаях равномерного и β -распределения хемминговского веса исходных массивов данных. В таблице приведены численные характеристики работы предлагаемых алгоритмов для этих случаев.

Таблица – Численные характеристики работы алгоритмов 1, 2 и 3 для β - и равномерного распределения (р. р.) исходных массивов информации

Алгоритм	Математическое ожидание		Дисперсия (D)		$D_{\text{вх}}/D_{\text{вых}}$		H_{min}		H_{max}	
	р. р.	β	р. р.	β	р. р.	β	р. р.	β	р. р.	β
Исходная информация	511,2	453,0	295,8	62,8	–	–	0	113	1024	603
Алгоритм 1	511,7	513,5	23,5	19,1	12,58	3,28	364	458	663	602
Алгоритм 2	512,1	512,8	12,8	16,2	23,1	3,87	468	439	554	562
Алгоритм 3	456,6	582,9	19,2	8,5	15,4	7,38	406	550	512	616

Как видно из таблицы, алгоритмы 1 и 2 значительно уменьшили дисперсию хемминговского веса исходных страниц как для равномерного, так и для β -распределений входной информации. Причем математическое ожидание хемминговского веса преобразованной ин-

формации для алгоритмов 1 и 2 равно $0,5M \pm 2\%$, что обеспечивает достаточно высокую стабилизацию хемминговского веса, так как его разброс относительно величины $0,5M$ не превышает 10% .

Для алгоритма 3 математическое ожидание хемминговского веса в зависимости от выбора знаков неравенств в (1) может быть смещено от величины $0,5M$ на $\pm(11...13)\%$ (рисунок 1, кривые 4), что позволяет увеличить среднюю интенсивность предметного пучка и, следовательно, быстродействие при записи.

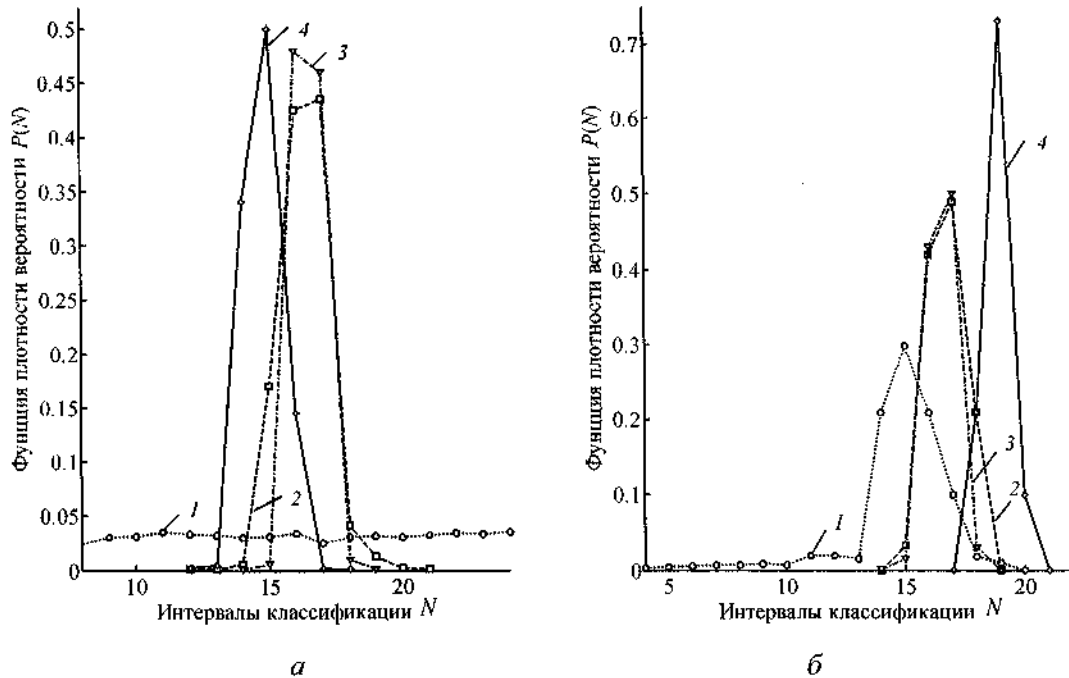


Рисунок 1 – Функции плотности $P(N)$ вероятности распределения хемминговского веса исходной (1) и перекодированной информации (2 – алгоритм 1, 3 – алгоритм 2, 4 – алгоритм 3) в случае равномерного (а) и β -распределения (б) хемминговского веса исходной информации (N – интервалы классификации)

Эффективность стабилизации хемминговского веса предлагаемыми алгоритмами для β -распределения исходной информации иллюстрируется графиками, представленными на рисунке 2. Наилучшими стабилизирующими свойствами обладает алгоритм 3 (кривая 3), который имеет относительную избыточность, равную $1/n$, где n – количество слов в массиве преобразуемых данных.

В оптоэлектронных системах памяти вероятность появления ошибки при считывании информации матричным фотоприемником (МФ) зависит также от величины освещенности и ее распределения на плоскости МФ [4, 5].

Выше показано, что дисперсия хемминговского веса D определяет среднюю интенсивность светового потока, падающего на МФ. Общая вероятность появления ошибки $P_{\text{ош}}$ при считывании определяется как [5]

$$P_{\text{ош}} = P_0 P_{01} + P_1 P_{10},$$

где P_0 – априорная вероятность пропуска, P_{01} – условная вероятность пропуска, P_1 – априорная вероятность ложного срабатывания, P_{10} – условная вероятность ложного срабатывания.

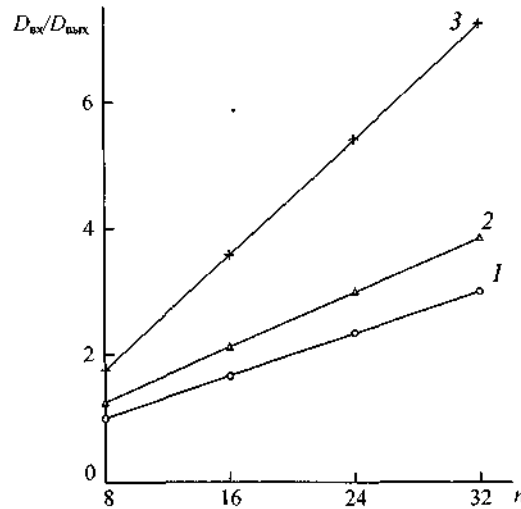


Рисунок 2 – Функции изменения отношения дисперсии хемминговского веса исходных данных к дисперсии преобразованных данных в зависимости от размерности n преобразуемых массивов информации: 1, 2, 3 – соответствуют алгоритмам 1, 2, 3

Значения P_{01} и P_{10} определяются следующими соотношениями

$$P_{01} = \left(\frac{1}{2} - \Phi_0 \left(\frac{\bar{J}_1 - J_n}{\sigma_1} \right) \right), \quad P_{10} = \left(\frac{1}{2} - \Phi_0 \left(\frac{J_n - \bar{J}_0}{\sigma_0} \right) \right),$$

где $\Phi_0(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-t^2/2} dt$ – функция Лапласа, \bar{J}_1 – средний уровень сигнала, соответствующий

«1», J_n – уровень порогового сигнала, σ – среднее квадратическое значение шума, \bar{J}_0 – средний уровень сигнала, соответствующий «0».

Для минимизации общей вероятности появления ошибки использован критерий Зигерта – Котельникова, в соответствии с которым

$$\frac{\omega_{01}}{\omega_{10}} = \frac{P_1}{P_0},$$

где $\omega_{01} = \frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(J_1 - J_n)^2}{2\sigma_1^2}}$ – плотность условной вероятности пропуска, $\omega_{10} = \frac{1}{\sigma_0 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(J_n - \bar{J}_0)^2}{2\sigma_0^2}}$ –

плотность условной вероятности ложного срабатывания.

Среднеквадратическое значение шума при непосредственном преобразовании фотоприемником в матрице оптического сигнала в электрический определяется как [6, 7]:

$$\sigma = \sqrt{2q(J_x + J_T)\Delta f + 4kT\Delta f/R_s}, \quad (2)$$

где q – заряд электрона, J_x – значение тока фотоприемника, зависящее от интенсивности падающего на него светового потока, которое определяется дисперсией хемминговского веса массива данных, J_T – темновой ток, Δf – полоса рабочих частот, k – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура, R_s – эквивалентное «шумовое» сопротивление.

В выражении (2) темновой ток J_T и шумы намного меньше тока J_x , поэтому

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_0} = \sqrt{\frac{J_{x1}}{J_{x0}}},$$

где $J_{xi} = \gamma_i D_i S_i P_{\text{вкл}}$, γ_i – коэффициент, учитывающий плотности вероятностей распределения хемминговского веса исходящей и перекодированной информации, D_i – дисперсия i -го кода массива данных, S_i – токовая чувствительность фотоприемника, $P_{\text{вкл}}$ – мощность светового потока, падающего на фотоприемник в матрице.

С использованием вышеприведенных выражений оценены вероятности появления ошибки при считывании информации матричным фотоприемником для трех алгоритмов перекодировки исходного массива данных. При этом использовался матричный фотоприемник с кристаллами кремния, имеющий следующие параметры: темновой ток $J_T = 10^{-9}$ А, чувствительность фотоприемника $S_f = 0,28$ А/Вт при отношении сигнал/шум, равном 10, размер информационной емкости 32×32 , режим работы – непосредственное преобразование светового сигнала в электрический.

Результаты оценки показали, что при использовании алгоритмов 1, 2 и 3 перекодировки исходного массива данных вероятность появления ошибки при считывании информации фотоприемником уменьшается в 1,175, 1,182 и 2,27 раза соответственно по отношению к считыванию исходной информации без алгоритмов перекодировки.

В заключение необходимо отметить, что предлагаемые алгоритмы кодирования двумерных массивов информации стабилизируют хемминговский вес страниц на уровне $0,5M \pm (5...10)\%$ при любом распределении логических единиц в исходной информации. Алгоритм 3 позволяет значительно уменьшить вероятность появления ошибки при считывании информационных массивов данных. Применение данных алгоритмов в оптоэлектронных системах памяти позволит без изменения параметров ее составных элементов улучшить такие характеристики системы, как быстродействие и достоверность считывания информации.

Литература

1. Sutherlin, K. K. Applied Optics / K. K. Sutherlin, J. P. Lauer, R. W. Olenik. – 1974. – Vol. 13, № 6. – P. 1345–1354.
2. Акаев, А. А. Когерентные оптические вычислительные машины / А. А. Акаев, С. А. Майоров. – Л.: Машиностроение, 1977. – 439 с.
3. Акаев, А. А. Помехи в цифровой технике / А. А. Акаев, С. А. Майоров, И. А. Смирнов. – 1974. – С. 184–187.
4. Шматин, С. Г. Применение многоэмиттерной фототранзисторной матрицы в оптоэлектронных системах хранения и обработки информации / С. Г. Шматин [и др.] // Сб. науч. ст. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2010. – № 18. – С. 87–91.
5. Осинский, В. И. Интегральная оптоэлектроника / В. И. Осинский. – Минск: Наука и техника, 1977. – 248 с.
6. Скоморовский, Ю. А. Передача сообщений по оптическим линиям связи / Ю. А. Скоморовский, В. А. Рожанский. – М.: Связь, 1974. – 200 с.
7. Шереметьев, А. Г. Лазерная связь / А. Г. Шереметьев, Р. Г. Толпарев. – М.: Связь, 1974. – 384 с.

*Сведения об авторах:

Шматин Сергей Григорьевич,
 Машкевич Артур Николаевич,
 Комяк Александр Васильевич,
 Ватутин Михаил Евгеньевич,
 УО «Военная академия Республики Беларусь»;
 Шматин Александр Сергеевич,
 УО «Белорусский государственный
 университет информатики и радиоэлектроники».
 Статья поступила в редакцию 29.10.2011 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК БЕСПРОВОДНОЙ AD-HOC СЕТИ НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

УДК 621.396.5

В. В. Шаболтнев*

В статье проведен анализ ad-hoc сетей для двух моделей распространения радиоволн, на основе имитационного моделирования определены зависимости средней степени узлов, вероятности 1-связности, размера максимальной компоненты, среднего количества скачков в максимальной компоненте от размеров сети и области размещения узлов.

The mean degree, the probability of 1-connectivity, the giant component size, the mean hop-count in giant component vs. network size and area size dependences for two radio propagation models are considered in this article.

Мобильные беспроводные ad-hoc сети находят все более широкое применение как в гражданской, так и военной сферах. Создание модели сети для конкретных условий ее применения является актуальной задачей с точки зрения синтеза и оптимизации протоколов адресации для улучшения характеристик сети.

Для исследования основных характеристик беспроводной ad-hoc сети используется ее представление в виде графа, вершины которого отражают узлы сети, а ребра – линии связи между ними. С учетом допущения, что все узлы сети однотипны, то есть обладают одинаковыми мощностями передачи, уровнями приема и другими характеристиками, в качестве основы модели ad-hoc сети выбран неориентированный граф.

В беспроводной ad-hoc сети наличие или отсутствие связи между узлами зависит от множества факторов. В качестве основных можно выделить затухание радиосигнала на пути распространения (дальность передачи/приема), флуктуацию мощности вокруг среднего значения ввиду влияния быстрых и медленных замираний, преднамеренные помехи.

Упрощенная модель распространения радиоволн (закон убывания средней мощности), отражающая зависимость потерь сигнала на трассе от дальности между источником сигнала и приемником, выглядит следующим образом [1, 2]:

$$P_a = P_t K \left(\frac{r_0}{r} \right)^\gamma, \quad (1)$$

где P_a – средняя принимаемая мощность на расстоянии r от передатчика; P_t – мощность передачи; K – безразмерный коэффициент, зависящий от характеристик антенн, среднего затухания, вносимого препятствиями; r_0 – эталонное расстояние; γ – коэффициент потерь на трассе, зависящий от среды распространения и окружающей местности.

Модель, описываемая формулой (1), справедлива только для $r > r_0$.

Логнормальная модель распространения радиоволн позволяет также учитывать медленные затухания, которые согласно [2] распределены по логнормальному закону. Основным допущением данной модели является то, что логарифм уровня принимаемой мощности на расстоянии r от передатчика распределен по нормальному закону относительно логарифма уровня средней мощности

$$10 \lg(P(r)) = 10 \lg(P_a(r)) + x, \quad (2)$$

где x – нормально распределенная случайная величина со средним значением, равным нулю, и стандартным отклонением σ . В случае когда $\sigma = 0$, логнормальная модель сводится к (1).

Для исследования основных характеристик беспроводной ad-hoc сети используются три модели, основанные на неориентированном графе и различных моделях распространения радиоволн. При моделировании узлы (вершины) равномерно распределяются по заданной квадратной области, нормированной относительно средней дальности передачи (расстояния, при котором обеспечивается минимально необходимая мощность для приема сигнала). После этого строятся линии связи (ребра). Наличие линии связи определяется вероятностью, высчитываемой по различным правилам для каждой модели. Данные модели предназначены

для оценки показателей сети только на физическом уровне и не учитывают работу протоколов канального уровня (доступа к среде) и протоколов более высокого уровня.

Первой моделью является случайный граф. Он не учитывает геометрические свойства сети, вероятность связи задается в виде константы, равной для всех пар узлов.

Во второй модели – геометрическом случайном графе с учетом потерь сигнала на трассе распространения – вероятность связи между двумя узлами определяется на основании формулы (1). Допуская, что для приема сигнала средняя мощность в точке приема должна быть не меньше некоторого значения ρ , радиус зоны, для которой выполняется это условие, равен $R = r_0 (P_T K / \rho)^{1/\gamma}$. Вероятность наличия связи между узлами $p(r_{ij})$ определяется ступенчатой функцией, зависящей от расстояний между узлами r_{ij} , нормированных относительно радиуса зоны:

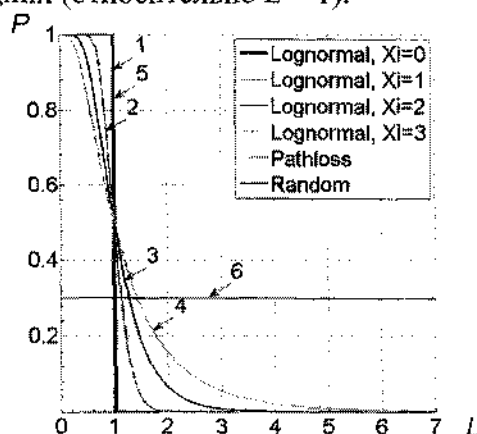
$$p(r_{ij}) = \begin{cases} 1, & \text{если } 0 < r_{ij} \leq 1, \\ 0, & \text{если } r_{ij} > 1. \end{cases}$$

Для третьей модели – логнормального геометрического случайного графа [2], использующего соотношение (2) в качестве модели распространения радиоволн, – вероятность наличия связи между двумя узлами (для расстояния между узлами, нормированного относительно радиуса зоны, и мощности, нормированной относительно средней мощности ρ в точке приема), определяется по формуле

$$P(r_{ij}) = \frac{1}{2} \left[1 - \operatorname{erf} \left(J \frac{\ln(r_{ij})}{\xi} \right) \right], \quad \xi = \frac{\sigma}{\gamma},$$

где $J = 10 / (\sqrt{2} \ln 10)$, а ξ является частным от среднеквадратического отклонения σ и экспоненты, определяющей потери на трассе, γ . ξ отражает степень флуктуации мощности в точке приема вокруг ее среднего значения, определяемого формулой (1).

Как видно из рисунка 1, вероятность наличия связи между узлами для случайного графа не зависит от расстояния между узлами; геометрический случайный граф с учетом потерь сигнала на трассе распространения является частным случаем логнормального геометрического случайного графа при $\xi = 0$; увеличение ξ приводит к снижению вероятности возникновения более коротких связей и увеличению вероятности возникновения более длинных со смещением в сторону последних (относительно $L = 1$).

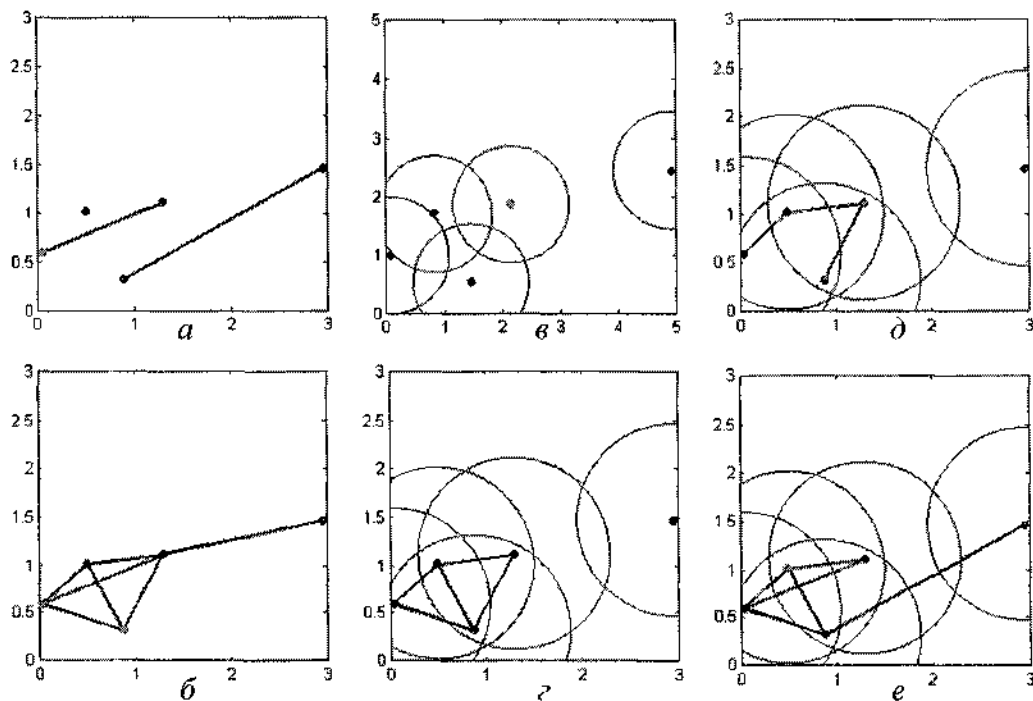


1 – геометрический случайный граф с учетом потерь сигнала на трассе распространения; 2 – логнормальный геометрический случайный граф $\xi = 1$; 3 – логнормальный геометрический случайный граф $\xi = 2$; 4 – логнормальный геометрический случайный граф $\xi = 3$; 5 – логнормальный геометрический случайный граф $\xi = 0$; 6 – случайный граф

Рисунок 1 – Графики зависимости вероятности наличия связи между двумя узлами в сети от нормированного расстояния между ними для различных моделей

Принцип формирования связей между узлами для трех моделей с различными параметрами (величина области L для всех моделей, вероятность связи P для случайного графа, степень флуктуации мощности ξ для логнормальной модели) представлен на рисунке 2.

Расстояние между узлами в общем случае зависит от размера области и количества узлов в сети (при условии их равномерного распределения). Так как для всех рассматриваемых моделей, кроме случайного графа, вероятность возникновения связи между узлами является функцией от расстояния между ними, то уменьшение расстояния (увеличение плотности узлов) приводит к увеличению вероятности связи, что в свою очередь определяет увеличение плотности связей в сети. В случайном графе увеличение плотности связей достигается повышением вероятности связи. Плотность связей в сети (отношение количества связей в сети к его максимально возможному значению) определяет среднее количество каналов каждого узла, или среднюю степень узла.



a – случайный граф с вероятностью наличия связи между узлами $P = 0,3$; $б$ – случайный граф с вероятностью наличия связи между узлами $P = 0,7$; $в$ – геометрический случайный граф с учетом потерь сигнала на трассе распространения ($L = 5$); $г$ – геометрический случайный граф с учетом потерь сигнала на трассе распространения ($L = 3$); $д$ – логнормальный геометрический случайный граф ($L = 3, \xi = 2$); $е$ – логнормальный геометрический случайный граф ($L = 3, \xi = 3$)
(на рисунках окружностями с единичными радиусами показаны зоны средней мощности $P_a = \rho$)

Рисунок 2 – Графическое представление ad-hoc сети для различных моделей распространения радиоволн

Значение средней степени узла является важной характеристикой сети, непосредственно влияющей на ее связность. Зависимости средней степени узлов от количества узлов в сети и размера области для геометрического случайного графа, учитывающего потери сигнала на трассе распространения (a), логнормального геометрического случайного графа при $\xi = 3$ ($в$), а также от размера области и степени вариации мощности ξ при $N = 100$ ($д$) приведены на рисунке 3.

В качестве характеристики связности рассматривается 1-связность. Под 1-связностью понимается наличие между двумя произвольно выбранными узлами хотя бы одного независимого пути (не имеющего общих узлов с другими путями, кроме конечных). Зависимости вероятности 1-связности от количества узлов в сети и размера области для геометрического

случайного графа, учитывающего потери сигнала на трассе распространения (б), логнормального геометрического случайного графа при $\xi = 3$ (в), а также от размера области и степени вариации мощности ξ при $N = 100$ (г) приведены на рисунке 3.

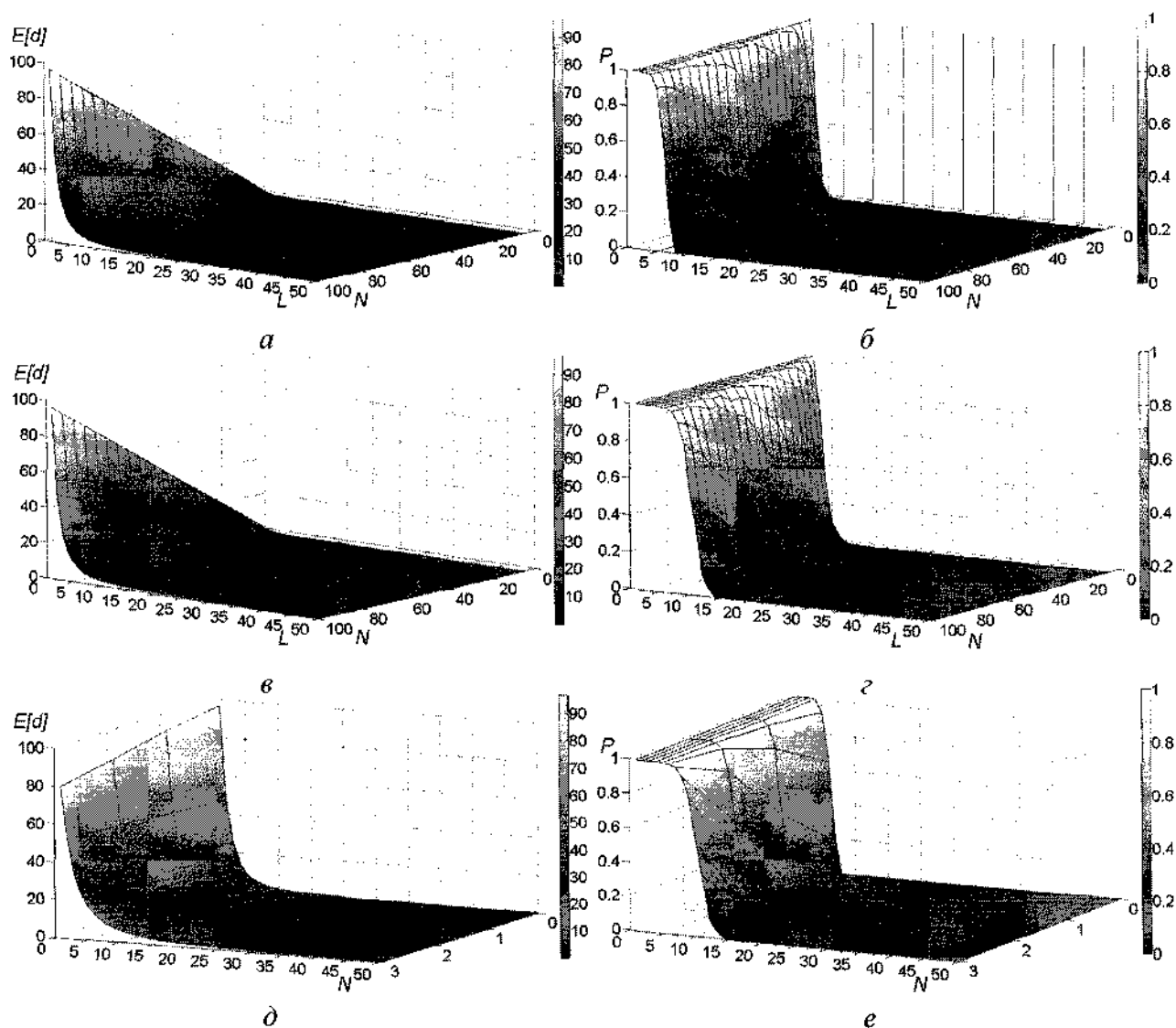
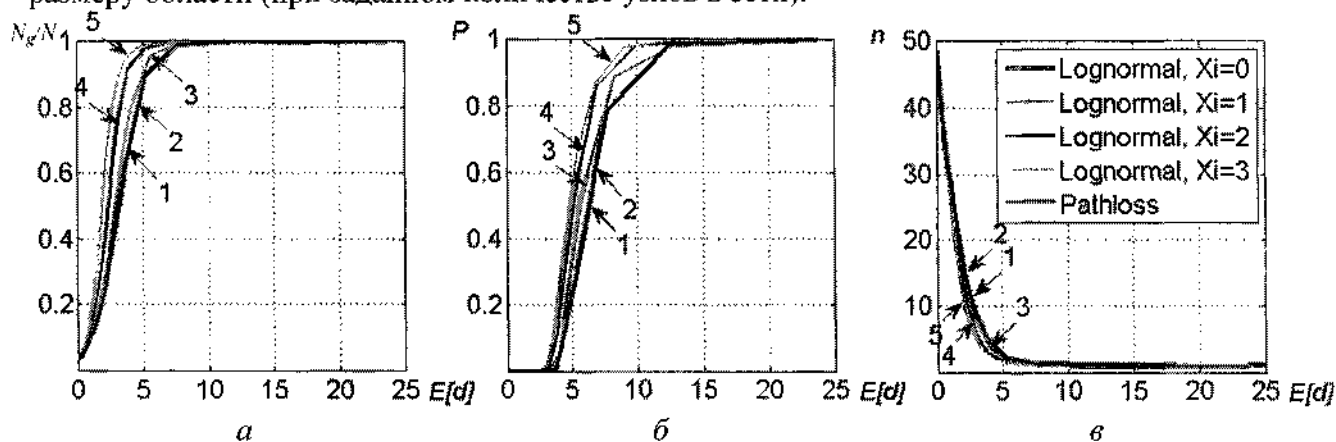


Рисунок 3 – Графики зависимостей средней степени узлов $E[d]$ (а) и вероятности 1-связности (б) от количества узлов в сети N и размера зоны L для геометрического случайного графа с учетом потерь сигнала на трассе распространения; средней степени узлов $E[d]$ (в) и вероятности 1-связности (г) от количества узлов в сети N и размера зоны L для логнормального геометрического случайного графа при $\xi = 3$; средней степени узлов $E[d]$ (д) и вероятности 1-связности (е) от размера зоны L и степени флуктуации мощности в точке приема ξ для логнормального геометрического случайного графа при количестве узлов в сети $N = 100$

Увеличение количества узлов в сети, снижение размера области и более высокие значения вариации мощности приводят к повышению средней степени узлов и вероятности 1-связности. При размерах области, сравнимых с максимальной дальностью связи узла более высокие значения ξ приводят к пропаданию некоторого количества связей между узлами, вследствие чего снижается средняя степень узлов (рисунок 3, д) при сохранении связности сети, так как практически все узлы сети попадают в зону покрытия узла. При больших размерах области увеличение флуктуации мощности приводит к образованию более длинных

связей, повышая вероятность 1-связности, пропадание более коротких связей компенсируется увеличением количества узлов в сети.

О связности сети также свидетельствует количество компонент в сети (графе) и величина максимальной компоненты (максимальная величина подграфа [3]). Величина компоненты определяется отношением количества входящих в нее узлов N_g к общему количеству узлов в сети N . В сети из 50 узлов размер максимальной компоненты приближается к единице при средней степени узлов $E[d] = 10$ (рисунок 4, а), среднее количество компонент при этом $n = 1,1$ (рисунок 4, в), однако вероятность 1-связности находится в пределах от 0,88 до 0,98, что свидетельствует о наличии в сети нескольких несвязанных с максимальной компонентой узлов. Полная связность сети достигается при высоких значениях средней степени узлов, что обуславливает дополнительные требования к размеру области (при заданном количестве узлов в сети).



1 – геометрический случайный граф с учетом потерь сигнала на трассе распространения;
2 – логнормальный геометрический случайный граф $\xi = 0$; 3 – логнормальный геометрический случайный граф $\xi = 1$; 4 – логнормальный геометрический случайный граф $\xi = 2$; 5 – логнормальный геометрический случайный граф $\xi = 3$

Рисунок 4 – Графики зависимостей величины наибольшей компоненты от средней степени узла (а), вероятности 1-связности от средней степени узла (б), количества компонент в сети от средней степени узла (в) для ad-hoc сети, содержащей $N = 50$ узлов

В случайном графе количество компонент стремится к единице при увеличении вероятности связи между узлами сети и для относительно большого количества узлов в сети достигает единицы при низких значениях вероятности наличия связи между ними (рисунок 5).

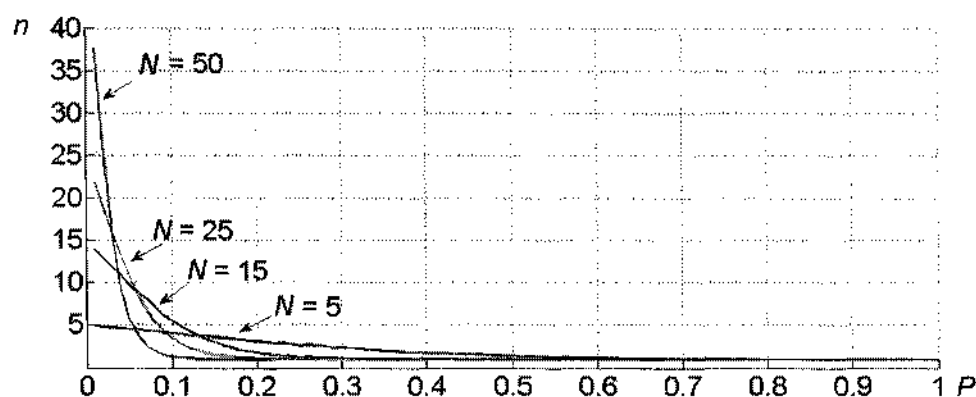
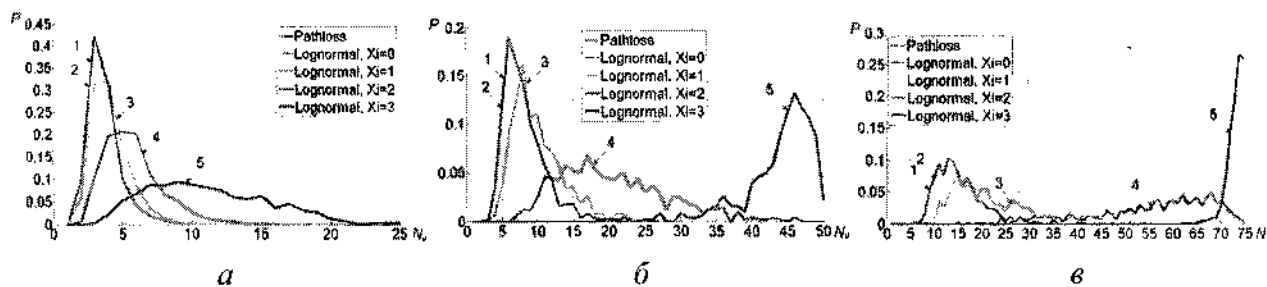


Рисунок 5 – Графики зависимости количества компонент (n) в случайном графе от вероятности наличия связи между узлами для различного количества узлов (N) в сети

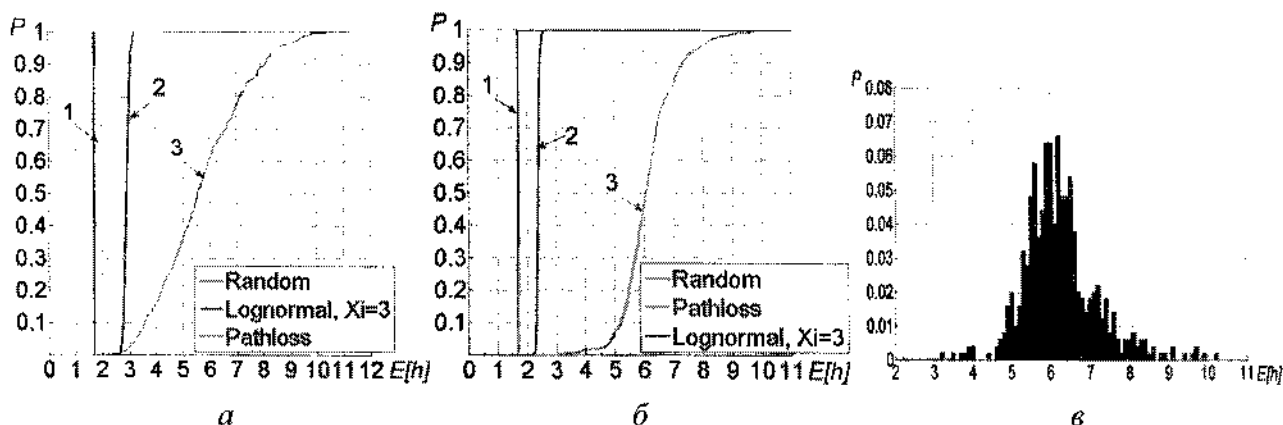
На рисунке 6 приведены ряды распределения количества узлов в максимальной компоненте для различного количества узлов, распределенных в области 10×10 . При использовании максимальной компоненты в качестве «основной» сети можно определить степень доступности узлов (вероятность того, что в сети будет доступно заданное количество узлов).



1 – геометрический случайный граф с учетом потерь сигнала на трассе распространения; 2 – логнормальный геометрический случайный граф $\xi = 0$; 3 – логнормальный геометрический случайный граф $\xi = 1$; 4 – логнормальный геометрический случайный граф $\xi = 2$; 5 – логнормальный геометрический случайный граф $\xi = 3$

Рисунок 6 – Графическое отображение рядов распределения количества узлов в наибольшей компоненте графа (N_g) для сети, состоящей из $N = 25$ узлов (а), $N = 50$ узлов (б), $N = 75$ узлов (в), равномерно распределенных в области 10×10

Важной характеристикой является среднее количество скачков (средняя длина пути) в сети, позволяющее оценить среднее время доставки сообщения и ее пропускную способность. Графики функций распределения среднего количества скачков в максимальной компоненте сети из 100 узлов в областях 9×9 и 7×7 приведены на рисунке 7, а и б соответственно. Уменьшение размера области приводит к увеличению минимального количества скачков (больше узлов становятся связанными) и уменьшению максимального количества скачков (с увеличением плотности связей появляются более короткие пути). Распределение количества скачков в случайном геометрическом графе с учетом потерь сигнала на трассе распространения близко к биномиальному с математическим ожиданием, равным среднему значению количества скачков (рисунок 7, в).



1 – случайный граф; 2 – логнормальный геометрический случайный граф $\xi = 3$; 3 – геометрический случайный граф с учетом потерь сигнала на трассе распространения

Рисунок 7 – Графики функций распределения среднего количества скачков для $N = 100$ узлов, равномерно распределенных в областях $L = 9 \times 9$ (а) и $L = 7 \times 7$ (б), ряд распределения среднего количества скачков для модели, учитывающей только потери на трассе распространения ($N = 100$, $L = 7 \times 7$)

Таким образом, в статье рассмотрены различные графовые модели ad-hoc сети, в результате имитационного моделирования получены зависимости средней степени узлов, вероятности 1-связности, размера максимальной компоненты, среднего количества скачков в

максимальной компоненте от размера сети (до $N = 100$ узлов) и размера области размещения узлов (до 50×50) для случайного графа и геометрического случайного графа с двумя моделями распространения радиоволн. Анализ полученных зависимостей показал, что:

увеличение количества узлов, уменьшение области и увеличение степени флуктуации мощности приводят к увеличению средней степени узла;

увеличение степени узла при заданном количестве узлов в сети приводит к увеличению максимальной компоненты, вероятности 1-связности, уменьшению количества компонент;

вероятность 1-связности становится равной единице при относительно высоком значении средней степени узла, поэтому для анализа функционирования сети целесообразно использовать значения вероятности связи около 0,98;

для случайного графа при фиксированном количестве узлов в сети существует некоторое относительно небольшое постоянное значение вероятности связи между узлами, при превышении которого сеть становится полносвязной. Это значение тем меньше, чем больше количество узлов в сети.

Полученные зависимости для связности сети и количества скачков могут быть в дальнейшем использованы при оценке плотности интерференции в сети (моделирование работы протокола доступа к среде), пропускной способности сети и задержке передачи пакета, а также при оценке функционирования протоколов автоконфигурации и адресации для конкретных реализаций сети и условий распространения радиоволн.

Литература

1. Комашинский, В. Системы подвижной радиосвязи с пакетной передачей информации / В. Комашинский, А. Максимов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 176 с.
2. Nekmat, R. Ad-hoc Networks: Fundamental Properties and Network Topologies / R. Nekmat. – Springer, 2006. – 146 p.
3. Харари, Ф. Теория графов / пер. с англ. и предисл. В. П. Козырева; под ред. Г. П. Гаврилова. – Изд. 2-е. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 296 с.

*Сведения об авторе:

Шаболтис Вячеслав Викторович,
УО «Военная академия Республики Беларусь».
Статья поступила в редакцию 19.10.2011 г.

ШИРОКОПОЛОСНЫЙ СИНТЕЗ НА ОСНОВЕ НАРАСТАЮЩЕ-ВОЛНОВОЙ АППРОКСИМАЦИИ ФУНКЦИИ ПЕРЕДАЧИ

УДК 621.372.512

Г. А. Филиппович, В. Н. Шашок, В. Ф. Белевич*

Получено аналитическое решение для согласования шестиэлементной нагрузки, содержащей комплексные нули передачи. Синтезированная согласующая цепь имеет нарастающе-волновую функцию передачи мощности. Решение основано на использовании обобщенного метода Дарлингтона.

Broadband matching of 6-element impedance with complex transmission zeroes is under consideration. Synthesized equalizer has rising-ripple response. Analytical approach is based on generalized Darlington method.

Нагрузки с комплексными нулями передачи вызывают трудности в использовании аналитических методов, поскольку системы ограничений на пределы широкополосного согласования оказываются неразрешимыми ввиду ограниченных вариативных возможностей классических аппроксимирующих функций [1]. Устойчивый интерес к подобным задачам сохраняется по той причине, что нагрузки этого класса служат моделями входных и выходных сопротивлений СВЧ транзисторов [2, 3]. Заметно большие возможности для решения подобных задач предоставляет обобщенный метод Дарлингтона [4]. Результат синтеза чебышевской функции передачи с использованием этого метода приведен в работе [5]. При исследовании возможностей согласования этой нагрузки было установлено, что решение существует для ограниченного диапазона значений параметра неравномерности частотной характеристики. В этой связи интерес представляет исследование возможностей синтеза с использованием нарастающе-волновой функции передачи [6].

В работе [3] синтезирована модель входного сопротивления СВЧ транзистора по измеренным S -параметрам (рисунок 1).

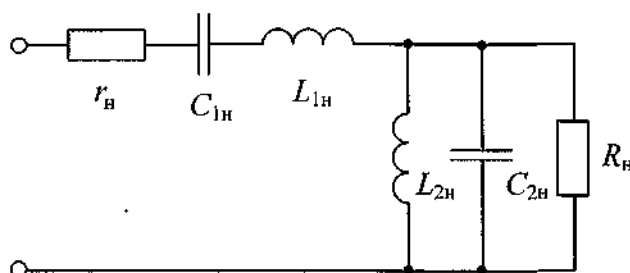


Рисунок 1 – Модель входного сопротивления СВЧ транзистора

Сопротивление нагрузки, изображенное на рисунке 1, описывается следующим выражением

$$Z_H(s) = \frac{a_{0H} + a_{1H}s + a_{2H}s^2 + a_{3H}s^3 + a_{4H}s^4}{c_{1H}s + c_{2H}s^2 + c_{3H}s^3}, \quad (1)$$

где $a_{0H} = R_H$, $a_{1H} = R_H r_n C_{1H} + L_{2H}$, $a_{4H} = R_H L_{1H} L_{2H} C_{1H} C_{2H}$, $c_{1H} = R_H C_{1H}$, $c_{3H} = R_H L_{2H} C_{1H} C_{2H}$,

$a_{2H} = R_H (L_{1H} C_{1H} + L_{2H} C_{2H}) + L_{2H} C_{1H} (R_H + r_n)$, $a_{3H} = L_{2H} C_{1H} (R_H r_n C_{2H} + L_{1H})$, $c_{2H} = L_{2H} C_{1H}$.

Из выражения (1) видно, что сопротивление нагрузки имеет простые нули передачи при $s = 0$ и $s = \infty$. Для определения остальных нулей передачи зададим значения параметров нагрузки: $r_n = 1$, $L_{1H} = 0,5$, $C_{1H} = 0,5$, $L_{2H} = 1$, $C_{2H} = 1$, $R_H = 3$. В этом случае функция $Z_H(s)$ примет вид

$$Z_H(s) = \frac{3 + 4s + 8,5s^2 + 3,5s^3 + 1,5s^4}{3s + s^2 + 3s^3}. \quad (2)$$

Числитель вещественной части функции сопротивления (2) равен:

$$N_H(-s^2) = -2,25s^2(s^4 + 1,556s^2 + 1). \quad (3)$$

Из выражения (3) находим, что сопротивление рассматриваемой нагрузки помимо указанных выше нулей передачи имеет четверку комплексно-сопряженных нулей $s = \pm\sigma \pm j\omega$, которые образуют последний сомножитель (3):

$$s^4 + 1,556s^2 + 1 = (s^2 - \alpha s + \beta)(s^2 + \alpha s + \beta); \quad \alpha = 2\sigma = 0,666, \quad \beta = \sigma^2 + \omega^2 = 1.$$

Функцию коэффициента отражения на входе согласующей цепи для низкочастотного прототипа третьего порядка представим в виде отношения полиномов

$$\rho(-s) = \frac{-b_3s^3 + b_2s^2 - b_1s + b_0}{a_3s^3 + a_2s^2 + a_1s + 1}$$

и, применив частотное преобразование $s' = (s^2 + 1)/s$, получим соответствующую функцию для полосно-пропускающей цепи

$$\rho_{\text{пп}}(-s) = \frac{-b_3(s^2 + 1)^3 + b_2(s^2 + 1)^2 s - b_1(s^2 + 1)s^2 + b_0s^3}{a_3(s^2 + 1)^3 + a_2(s^2 + 1)^2 s + a_1(s^2 + 1)s^2 + s^3}. \quad (4)$$

Классические функции передачи содержат нули передачи только на мнимой оси комплексной плоскости, поэтому для совместимости функций сопротивления нагрузки (2) и функции входного сопротивления [4] дополним (4) фазовым множителем, не влияющим на функцию передачи:

$$\tilde{\rho}_{\text{пп}}(-s) = \rho_{\text{пп}}(-s) \frac{s^2 - \alpha s + \beta}{s^2 + \alpha s + \beta}, \quad (5)$$

и определим функцию входного сопротивления в следующем виде:

$$Z_{\text{вх}}(s) = \frac{1 - \tilde{\rho}_{\text{пп}}(-s)}{1 + \tilde{\rho}_{\text{пп}}(-s)} = \frac{\sum_{i=0}^{i=8} A_i s^i}{\sum_{i=1}^{i=7} C_i s^i},$$

$$A_0 = 2a_3\beta, \quad A_1 = \beta(a_2 - b_2), \quad A_2 = 2a_3 + \alpha(a_2 + b_2) + \beta(a_1 + b_1 + 6a_3),$$

$$A_3 = a_2 - b_2 + \alpha(a_1 - b_1) + \beta(1 + 2(a_2 - b_2) - b_0),$$

$$A_4 = \alpha[1 + 2(a_2 + b_2) + b_0] + (\beta + 1)(a_1 + b_1 + 6a_3), \quad A_5 = 1 + 2a_2 - b_0 + \alpha(a_1 - b_1) + \beta(a_2 - b_2),$$

$$A_6 = a_1 + b_1 + 6a_3 + \alpha(a_2 + b_2) + 2a_3\beta, \quad A_7 = (a_2 - b_2), \quad A_8 = 2a_3, \quad (6)$$

$$C_1 = 2a_3\alpha + \beta(a_2 + b_2), \quad C_2 = \alpha(a_2 - b_2) + \beta(a_1 - b_1),$$

$$C_3 = a_2 + b_2 + \alpha(a_1 + b_1 + 6a_3) + \beta[1 + 2(a_2 + b_2) + b_0],$$

$$C_4 = a_1 - b_1 + \alpha[1 + 2(a_2 - b_2) - b_0] + \beta(a_1 - b_1), \quad C_7 = 2a_3\alpha + a_2 + b_2,$$

$$C_5 = 1 + 2(a_2 + b_2) + b_0 + \alpha(a_1 + b_1 + 6a_3) + \beta(a_2 + b_2), \quad C_6 = a_1 - b_1 + \alpha(a_2 - b_2).$$

Сопротивление нагрузки (2) имеет три нуля передачи, поэтому система ограничений на широкополосное согласование должна состоять из трех равенств или неравенств. Для нулей передачи при $s = 0$ и $s = \infty$ ограничения имеют вид соответственно [4]:

$$\left. \begin{array}{l} B_{M-(r-1)+i} = 0; \quad i = 1, 2, \dots, (r-1); \\ B_{M-(r-1)} \geq 0; \quad Z_H(s_{0H}) = 0; \\ C_{M-(r-1)} \geq 0; \quad Z_H(s_{0H}) = \infty; \end{array} \right\} \quad \left. \begin{array}{l} B_i = 0; \quad i = 1, 2, \dots, (r-2); \\ B_{r-1} \geq 0; \quad Z_H(s_{0H}) = 0; \\ C_{r-1} \geq 0; \quad Z_H(s_{0H}) = \infty. \end{array} \right\}$$

В нулях передачи при $s = 0$ и $s = \infty$ сопротивление нагрузки обращается в бесконечность, поэтому соответствующие ограничения обеспечиваются положительностью коэффициентов младшей и старшей степени полинома числителя z -параметра z_{22} согласующей цепи [4]. Можно показать, что для нуля передачи при $s = 0$, обусловленного наличием емкости C_{1H} (см. рисунок 1), ограничение имеет вид

$$a_2 - b_2 / \beta(a_2 + b_2) \Big|_{s=0} \leq \frac{L_{1H} + r_H R_H C_1}{R_H}.$$

Ноль передачи в бесконечности создает индуктивность L_{1H} и соответствующее ограничение можно представить следующим образом:

$$\frac{(a_1 - b_1) + \alpha(a_2 - b_2)}{(a_2 + b_2) + 2\alpha a_3} \Big|_{s=0} \leq \frac{L_{1H} + r_H R_H C_{2H}}{R_H L_{1H} C_{1H}}.$$

Для четверки комплексно-сопряженных нулей, содержащихся в (3), ограничение имеет вид [4]:

$$\frac{d^i}{ds^i}(z_{22H}) \Big|_{s=s_{0H}} = \frac{d^i}{ds^i}(z_{22B2}), \quad i = 0, 1, \dots, (r-1),$$

и по существу сводится к обеспечению нулей полиномов числителя и знаменателя z -параметра z_{22} на частотах, соответствующих комплексным нулям передачи. Это означает, что полиномы имеют в качестве множителей члена $s^4 + 1,556s^2 + 1$, что приводит к соответствующему понижению порядка полиномов.

В качестве функции передачи выберем функцию Чебышева третьего порядка, которой для низкочастотного прототипа соответствует выражение

$$K_p(-s^2) = K / \left[1 + \varepsilon^2 (16s^6 + 24s^4 + 9s^2) \right]. \quad (7)$$

Принимая во внимание соотношение между коэффициентом отражения (4) и функцией передачи мощности (7)

$$K_p(-s^2) = 1 - \rho(s)\rho(-s),$$

находим систему уравнений для определения коэффициентов полиномов выражения (4)

$$a_1^2 - 2a_2 = 9\varepsilon^2; \quad a_2^2 - 2a_1a_3 = -24\varepsilon^2; \quad a_3 = 4\varepsilon;$$

$$b_1^2 - 2(1-K)^{0,5}b_2 = 9\varepsilon^2; \quad b_2^2 - 2b_1b_3 = -24\varepsilon^2; \quad b_3^2 = a_3^2,$$

в результате решения которой совместно с системой ограничений находим функцию входного сопротивления (7):

$$Z_{\text{вх}}(s) = \frac{2,988s^7 + 1,788s^6 + 10,384s^5 + 3,961s^4 + 9,988s^3 + 1,656s^2 + 2,593s}{2,0065s^8 + 1,1385s^7 + 11,761s^6 + 4,964s^5 + 20,193s^4 + 4,964s^3 + 11,761s^2 + 1,138s + 2,006}$$

Решение получено при значениях параметров функции передачи (7) $\varepsilon = 0,558$, $K = 0,98$. Для проверки соответствия нулей передачи функций $Z_{\text{вх}}(s)$ и $Z_{\text{н}}(s)$ определим числитель четной части $Z_{\text{вх}}(s)$

$$N_{\text{вх}}(-s^2) = -0,991s^6(s^4 + 1,556s^2 + 1)$$

Таким образом, функция $Z_{\text{вх}}(s)$ содержит все нули передачи функции $Z_{\text{н}}(s)$ не меньшей кратности. Нарастающе-волновая полосно-пропускающая функция передачи мощности третьего порядка содержит нуль шестого порядка при $s = 0$. Введение фазового множителя в (5) обеспечило наличие комплексно-сопряженной четверки нулей в числителе вещественной части функции входного сопротивления (6), совпадающей с соответствующими нулями функции (3). Эти обстоятельства свидетельствуют в пользу выбора варианта А z-параметров [4], который имеет вид:

$$z_{11} = \frac{m_1m_{2\text{н}} - n_1n_{2\text{н}}}{n_2m_{2\text{н}} - m_2n_{2\text{н}}}; \quad z_{22} = \frac{m_2m_{1\text{н}} - n_2n_{1\text{н}}}{n_2m_{2\text{н}} - m_2n_{2\text{н}}};$$

$$z_{12} = \frac{[(m_1m_2 - n_1n_2)(m_{1\text{н}}m_{2\text{н}} - n_{1\text{н}}n_{2\text{н}})]^{1/2}}{n_2m_{2\text{н}} - m_2n_{2\text{н}}},$$
(8)

где m_1, m_2, n_1, n_2 – соответственно четные и нечетные части полиномов рациональной функции $Z_{\text{вх}}(s)$;

$m_{1\text{н}}, m_{2\text{н}}, n_{1\text{н}}, n_{2\text{н}}$ – соответственно четные и нечетные части полиномов $Z_{\text{н}}(s)$.

Подставляя в (8) составляющие функций сопротивлений (2) и (6) после сокращения полиномов z-параметров на множитель $s^4 + 1,556s^2 + 1$ получаем систему z-параметров согласующей цепи

$$z_{11} = \frac{0,903s^4 + 2,626s^2 + 0,903}{1,335s(s^2 + 1)}, \quad z_{22} = \frac{4,385s^4 + 9,479s^2 + 2,377}{1,335s(s^2 + 1)},$$

$$z_{12} = \frac{-1,496s^2}{1,335s(s^2 + 1)}.$$

Лестничную реализацию согласующей цепи можно получить в результате синтеза выходного сопротивления согласующей цепи. Последнее определяется по найденным z-параметрам

$$Z_{\text{ВЫХ}}(s) = \frac{\Delta_z + z_{22}}{z_{11} + 1},$$

что в результате дает

$$Z_{\text{ВЫХ}}(s) = \frac{5,906s^6 + 9,963s^5 + 26,445s^4 + 23,77s^3 + 24,808s^2 + 8,643s + 5,123}{1,565s^5 + 2,640s^4 + 4,839s^3 + 2,64s^2 + 1,565s}.$$

Полученное выходное сопротивление может быть реализовано как сопротивление лестничной схемы, нагруженное на активное сопротивление, с нормированными значениями элементов: $C_1 = 8,712$, $C_2 = 0,889$, $C_3 = 1,203$, $C_4 = 0,305$, $L_1 = 0,593$, $L_2 = 1,956$, $L_3 = 3,773$, $R = 1$. Синтезированная схема широкополосного согласующего устройства (ШСУ) после преобразования Нортон для сопротивления источника сигналов вместе с эквивалентом нагрузки представлена на рисунке 2.

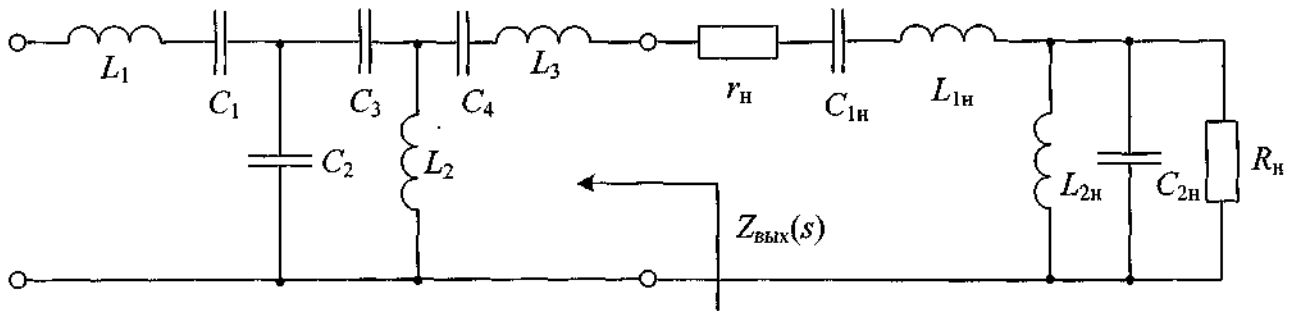


Рисунок 2 – Схема ШСУ для шестиэлементного эквивалента

На рисунке 3 представлены частотные характеристики передачи мощности: пунктирной линией – без ШСУ, сплошной – с ШСУ.

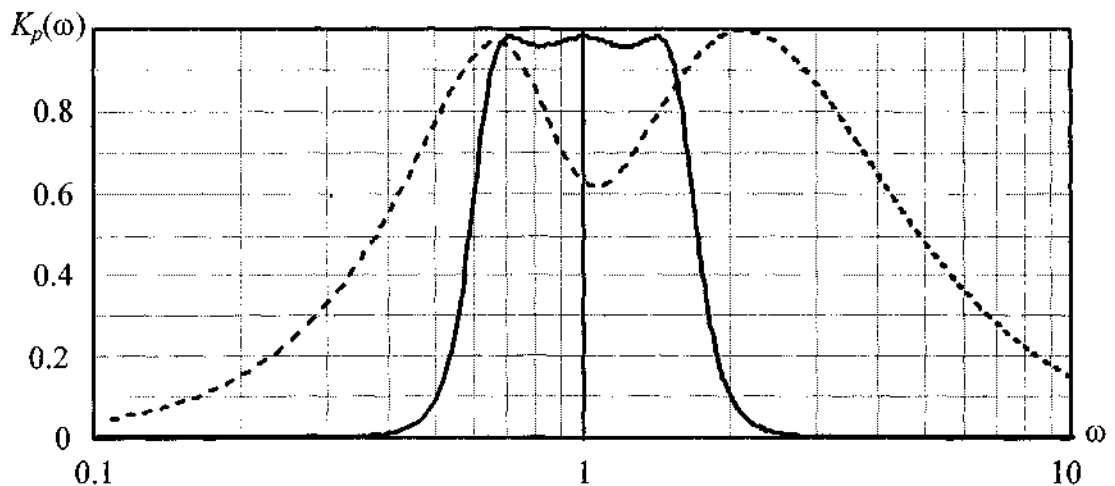


Рисунок 3 – Частотные характеристики передачи мощности

При исследовании данной нагрузки выяснилась важная особенность нарастающе-волновой функции передачи. Решения получены практически для любого значения коэффициента неравномерности ε . Ранее при использовании чебышевской аппроксимации аналогичные решения получены для небольшого диапазона значений параметра ε . На рисунке 4 представлены частотные характеристики, полученные в результате синтеза с

использованием нарастающе-волновой функции передачи для различных значений параметра ε .

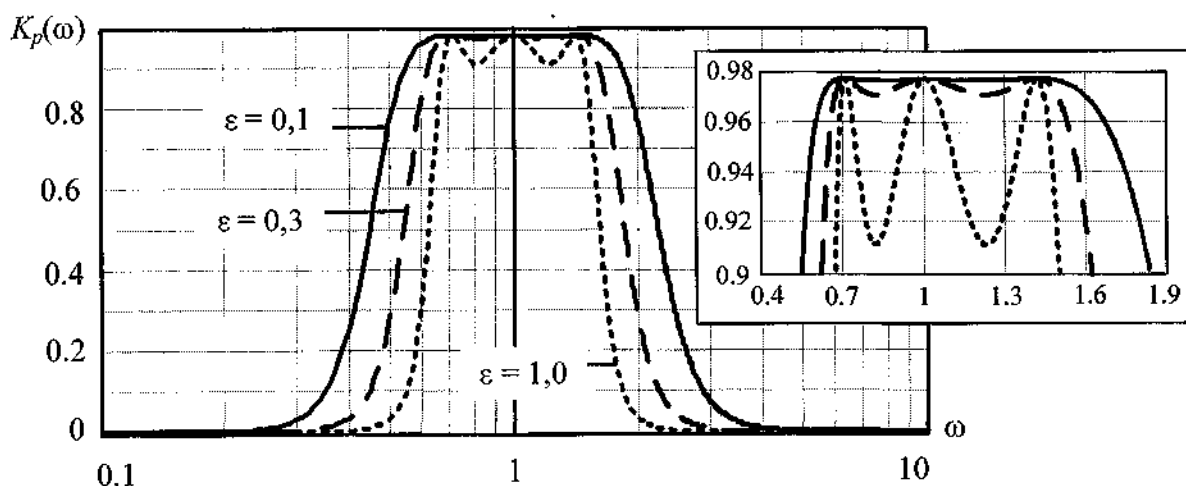


Рисунок 4 – Частотные характеристики для $\varepsilon = 0,1; 0,3$ и 1

Все представленные на рисунке 4 частотные характеристики имеют одинаковую нормированную полосу пропускания $\Delta\omega = 0,618...1,618$ и различаются степенью неравномерности.

Таким образом, разработанная методика позволяет синтезировать согласующие цепи для сложных комплексных нагрузок с малым уровнем неравномерности частотной характеристики, свойственным нарастающе-волновым аппроксимирующим функциям. Важным свойством этих функций является значительно больший диапазон значений параметра неравномерности функции передачи. Это свойство представляется особо важным для построения входных приемных трактов современных широкополосных РЛС.

Литература

1. Филиппович, Г. А. Разрешимость системы ограничений в задачах широкополосного согласования / Г. А. Филиппович // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2005. – Т. 10, № 1–2. – С. 92–97.
2. Becciolini, В. Impedance matching networks applied to RF power transistors / В. Becciolini // Motorola semiconductors. – 1993. – Vol. 721. – P. 79–86.
3. Филиппович, Г. А. Моделирование сопротивлений по измеренным S-параметрам / Г. А. Филиппович, В. Ф. Белевич // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2007. – № 1(14). – С. 34–38.
4. Филиппович, Г. А. Широкополосное согласование сопротивлений / Г. А. Филиппович. – Минск: ВАРБ, 2004. – 175 с.
5. Широкополосное согласование нагрузок с комплексными нулями передачи / Г. А. Филиппович [и др.] // Сб. науч. ст. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2010. – № 10. – С. 97–101.
6. Филиппович, Г. А. Ограниченно-плоские аппроксимирующие функции с корректирующими полиномами Чебышева / Г. А. Филиппович, В. Н. Шашок // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2010. – № 1. – С. 65–72.

*Сведения об авторах:

Филиппович Геннадий Александрович,
Шашок Виктор Николаевич,
Белевич Владимир Федорович,
УО «Военная академия Республики Беларусь».
Статья поступила в редакцию 14.07.2011 г.

БЫСТРАЯ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ПРОВЕРКА ПРОСТОЙ ГИПОТЕЗЫ ОТНОСИТЕЛЬНО ПАРАМЕТРА ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

УДК 004(063)

В. И. Никитенок*

Работа является продолжением серии публикаций автора в журнале, посвященных непараметрическим (в том числе ранговым) алгоритмам принятия статистических решений, функционирующим в реальном масштабе времени (быстрые алгоритмы) и обеспечивающим устойчивость уровня значимости (вероятности ложной тревоги). В статье рассматривается быстрая непараметрическая проверка простой гипотезы относительно параметра экспоненциального распределения, получены показатели качества правил принятия решения при использовании быстрых алгоритмов Манна – Уитни, Вальда – Вольфовица и модифицированного знакового.

This paper is a continuation of a series of publications in the journal devoted to the non-parametric (including rank) statistical decision making algorithms, operating in real time (fast algorithms) and providing the stability of the significance level (probability of false alarm). In this paper we consider fast nonparametric test of a simple hypothesis about the parameter of exponential distribution, quality indicators of decision making rules for using fast Mann – Whitney, Wald – Wolfowitz and modified sign algorithms are received.

1. Постановка задачи

Пусть имеются две выборки одинакового фиксированного объема m из экспоненциальных распределений с параметрами λ_1 и λ_2 соответственно. Необходимо проверить гипотезу $H: \lambda_1 = \lambda_2$ относительно одной из альтернатив $K: \lambda_1 > \lambda_2, \lambda_1 < \lambda_2, \lambda_1 \neq \lambda_2$. Состыкованные по порядку появления элементы выборок представляют собой два пуассоновских потока каждый по m фиксированных точек на интервалах $[0, T_1]$ и $[0, T_2]$. Величины T_1 и T_2 при фиксированном m являются случайными. С точки зрения практических приложений рассматриваемого материала уместно привести такой факт: простейший поток однородных событий и процесс Пуассона имеют огромное число приложений. Этими математическими схемами описываются самые различные модели физических явлений [1]. Они имеют место в области радиофизики, аэрокосмических радиоэлектронных и информационных систем и технологий, физики, прикладной математики и информатики, радио- и оптической локации (прием слабых (на уровне фотонов) оптических сигналов). В силу этого представляется практически актуальным для специалистов, занимающихся разработкой и использованием радиоэлектронных систем различного назначения, поиск новых эффективных путей решения указанной выше задачи. Один из них представлен в настоящей работе. Получен оригинальный результат, когда при малых «расстояниях» между гипотезой и альтернативой и уровне значимости непараметрический двухканальный алгоритм (Манна – Уитни), настроенный на гипотетические равномерные распределения [2, 3], имеет лучшие рабочие характеристики квази-оптимального алгоритма, настроенного на экспоненциальные распределения.

В статьях автора [2, 3] показано, что пуассоновские потоки можно представить как результат упорядочения гипотетических элементов выборок из соответствующих равномерных распределений с плотностями

$$f_1(t) \cong \begin{cases} 1/T_1 \cong \lambda_1/m, & 0 < t < T_1, \\ 0, & t \leq 0, t \geq T_1, \end{cases} \quad (1)$$

$$f_2(t) \cong \begin{cases} 1/T_2 \cong \lambda_2/m, & 0 < t < T_2, \\ 0, & t \leq 0, t \geq T_2. \end{cases} \quad (2)$$

Таким образом, проверка простой гипотезы о параметре экспоненциального распределения преобразована в проверку гипотезы о параметре равномерного распределения. Это в конечном счете позволяет в случае рассматриваемой параметрической априорной неопределенности обеспечить работу в общем случае K -выборочных непараметрических алгоритмов принятия решений (обнаружения сигналов) в реальном масштабе времени, так как исключены операции запоминания и упорядочения элементов выборок из экспоненциальных распределений (полагается, что импульсы двух простейших пуассоновских потоков достаточно короткие и по времени не совпадают). Как указывалось, в связи с этим алгоритмы названы быстрыми. Найдем их показатели качества при использовании выбранных в [4] двухвыборочных непараметрических тестов Манна – Уитни, Вальда – Вольфовица и модифицированного знакового.

2. Показатели качества правил принятия решения

2.1. Быстрый алгоритм Манна – Уитни

Быстрый алгоритм Манна – Уитни основан на статистике [4]:

$$S = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m h(t_{1j} - t_{2k}) = \sum_{j=1}^m R_j - 0,5 m(m + 1), \quad (3)$$

где $h(t_{1j} - t_{2k}) = \{1, t_{1j} > t_{2k}; 0, t_{1j} < t_{2k}\}$ – индикатор числа инверсий (имеет место одна инверсия, если в общем вариационном ряду, составленном из t_1 и t_2 , элемент t_{1j} появляется позднее t_{2k} , т. е. $t_{1j} > t_{2k}$; R_j – ранг элемента первой выборки в общем вариационном ряду. Основными радиотехническими элементами вычисления рангового вектора в (3) являются счетчик импульсов и ключ (см. рисунки 1 и 2 в [3]).

В общем случае надо рассматривать два варианта: известно точно, для какой из выборок верна гипотеза, или это неизвестно. В первом случае надо применять одностороннее правило принятия решения, во втором – двухстороннее.

Для односторонних правил принятия решения уровни значимости с учетом гауссовой аппроксимации статистики имеют вид

$$F_{\pi л} = \Phi\{(c_{\pi л} - E_0)/\sqrt{V_0}\}, F_{\pi п} = \Phi\{(E_0 - c_{\pi п})/\sqrt{V_0}\}, \quad (4)$$

где F, c – соответственно уровень значимости и порог решения (нижние индексы «л» и «п» обозначают лево- и правосторонний пороги решения); E_0, V_0 – соответственно математическое ожидание и дисперсия статистики (3) при гипотезе; $\Phi(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^x e^{-t^2/2} dt$ – интеграл вероятности. В соответствии с критерием Неймана – Пирсона пороги решения из (4) равны:

$$c_{\pi л} = E_0 \pm \sqrt{V_0} \Phi^{-1}(1 - F) = m^2/2 \pm m\sqrt{m(2m - 1)} \Phi^{-1}(1 - F), \quad (5)$$

где $\Phi^{-1}(x)$ – функция, обратная интегралу вероятности; знаки «+» и «-» соответствуют право- и левостороннему порогам решения. Для лево- и правостороннего правил принятия решения уровни значимости F приняты одинаковыми. Тогда мощности правил принятия решения имеют вид

$$D_{\pi л} = \Phi\{(E_1 - c_{\pi л})/\sqrt{V_1}\}, \quad (6)$$

$$D_{\pi п} = \Phi\{(c_{\pi п} - E_1)/\sqrt{V_1}\}. \quad (7)$$

Подставляя (5) в (6) и (7), получаем

$$D = D_{\pi} = D_{\pi} = \Phi \left\{ \left(\Delta E - \sqrt{V_0} \Phi^{-1}(1 - F) \right) / \sqrt{V_1} \right\}, \quad (8)$$

где

$$\Delta E = |E_1 - E_0|, \quad (9)$$

E_1, V_1 – соответственно математическое ожидание и дисперсия статистики (3) при альтернативе.

Для двухстороннего правила принятия решения

$$D = \Phi \left\{ \left(\Delta E - \sqrt{V_0} \Phi^{-1}(1 - F/2) \right) / \sqrt{V_1} \right\}. \quad (10)$$

Из (8)–(11) в [4] с учетом (1) и (2) получаем выражения для математических ожиданий и дисперсии статистики при альтернативе

$$E_1 = m^2(1 - 0,5/k_{\lambda}) = E_0(2k_{\lambda} - 1)/k_{\lambda}, \quad \lambda_1 \geq \lambda_2, \quad (11)$$

$$E_1 = 0,5m^2/k_{\lambda} = E_0/k_{\lambda}, \quad \lambda_2 \geq \lambda_1, \quad (13)$$

$$V_1 = m^2(2m + 1)(2k_{\lambda} - 1)/(12k_{\lambda}^2), \quad (14)$$

где

$$k_{\lambda} = \{ \lambda_1/\lambda_2, \lambda_1 \geq \lambda_2; \lambda_2/\lambda_1, \lambda_2 \geq \lambda_1 \}. \quad (15)$$

При $m \geq 10$ из (14) имеем

$$V_1 \cong m^3(2k_{\lambda} - 1)/(6k_{\lambda}^2) = V_0(2\sqrt{2k_{\lambda} - 1} - 1)/k_{\lambda}^2. \quad (16)$$

Мощность двухстороннего правила принятия решения (10) с учетом (9), (11)–(15) равна:

$$D = \Phi \left\{ k_{\lambda} / \sqrt{2k_{\lambda} - 1} \left(\sqrt{3}m / \sqrt{2m + 1} (1 - 1/k_{\lambda}) - \Phi^{-1}(1 - F/2) \right) \right\}. \quad (17)$$

При $m \geq 10$ получаем еще более простое выражение

$$D = \Phi \left\{ k_{\lambda} / \sqrt{2k_{\lambda} - 1} \left(\sqrt{1,5}m (1 - 1/k_{\lambda}) - \Phi^{-1}(1 - F/2) \right) \right\}. \quad (18)$$

2.2. Быстрый алгоритм Вальда – Вольфовица

Быстрый алгоритм Вальда – Вольфовица основан на статистике [4]:

$$S = s_1 + s_2. \quad (19)$$

где s_1, s_2 – количество серий элементов первой и второй выборки соответственно в общем вариационном ряду (серией называют последовательность элементов одной выборки в общем вариационном ряду, ограниченную с двух сторон элементами другой выборки). Основными радиотехническими элементами вычисления количества серий в (19) являются РС-триггер, дифференцирующая цепочка и счетчик импульсов (см. рисунок 2 в [3]).

Критерий является односторонним. Его критическое значение, определяемое при гауссовой аппроксимации с учетом (13) и (14) в [4], равно:

$$c = E_0 - \sqrt{V_0} \Phi^{-1}(1 - F) = m + 1 - \sqrt{m(m-1)/(2m-1)} \Phi^{-1}(1 - F). \quad (20)$$

Мощность правила принятия решения имеет вид

$$D = \Phi\{(c - E_1)/\sqrt{V_1}\}. \quad (21)$$

Математическое ожидание и дисперсия статистики при альтернативе на основании (15), (16) в [4] и (1), (2) оказываются равны:

$$E_1 = 2m/(1 + k_\lambda), \quad (22)$$

$$V_1 = 4mk_\lambda(1 + k_\lambda^2)/(1 + k_\lambda)^4. \quad (23)$$

Из (21) с учетом (20), (22) и (23) получаем

$$D = \Phi \left\{ 0,5(1 + k_\lambda)^2 / \sqrt{k_\lambda(1 + k_\lambda^2)} \left(\sqrt{m}(k_\lambda - 1)/(1 + k_\lambda) + 1 - \sqrt{(m-1)/(2m-1)} \Phi^{-1}(1 - F) \right) \right\}. \quad (24)$$

При $m \geq 20$ имеем еще более удобное для расчетов выражение

$$D = \Phi \left\{ 0,5(1 + k_\lambda)^2 / \sqrt{2k_\lambda(1 + k_\lambda^2)} \left(\sqrt{2m}(k_\lambda - 1)/(1 + k_\lambda) - \Phi^{-1}(1 - F) \right) \right\}. \quad (25)$$

2.3. Алгоритм модифицированного знакового теста

Алгоритм модифицированного знакового теста основан на статистике [4]:

$$S = \sum_{i=1}^m z_{i*}, \quad (26)$$

где

$$z_{i*} = \begin{cases} 1, & x_{1,i*} > x_{2,i*}, \\ 0, & x_{1,i*} < x_{2,i*}, \end{cases} \quad (27)$$

$x_{1.1*}, x_{2.1*}; x_{1.2*}, x_{2.2*}; \dots; x_{1.m*}, x_{2.m*}$ — элементы выборок, или пары интервалов, начинающиеся в один и тот же момент времени.

В [4] установлено, что процесс, имеющий меньшую интенсивность потока, можно представить как поток заявок λ_3 , а процесс, обладающий большей интенсивностью, — поток обслуживания $\lambda_{об}$. Поэтому с учетом (15) имеем

$$\alpha = \lambda_3/\lambda_{об} = 1/k_\lambda, \quad k_\lambda \geq 1. \quad (28)$$

Тогда из (36) и (37) в [4] получаем:

вероятность потерь в объеме выборки

$$P_n = 1/(k_\lambda^2 + k_\lambda + 1) \quad (29)$$

и мощность двухстороннего правила принятия решения

$$D \cong \Phi(0,5(\sqrt{m(1-P_n)}(2p-1) - \Phi^{-1}(1-F/2))/\sqrt{p(1-p)}), \quad (30)$$

где

$$p = \int_{-\infty}^{\infty} F_2(x) dF_1(x), \quad (31)$$

$F_1(x), F_2(x)$ – функции распределения выборок.

На основании (37) в [4] и (31), учитывая, что рассматриваются экспоненциальные выборки, из (30) имеем выражение мощности алгоритма модифицированного двухвыборочного знакового теста

$$D \cong \Phi \left\{ 0,5 \left((1+k_\lambda) \sqrt{m(1+k_\lambda)/(1+k_\lambda(1+k_\lambda))} - (1+k_\lambda)/\sqrt{k_\lambda} \Phi^{-1}(1-F/2) \right) \right\}. \quad (32)$$

2.4. Сравнительный анализ эффективности алгоритмов принятия решений

Сравнение выполним с использованием выражений для мощностей:

- 1) быстрых непараметрических алгоритмов принятия решений (18), (25) и (32);
- 2) двухвыборочного квазиоптимального алгоритма [5, 6], настроенного на экспоненциальные распределения:

$$D = \Phi \{ 2\sqrt{m}(\sqrt{k_\lambda} - 1) - \sqrt{k_\lambda} \Phi^{-1}(1-F/2) \}; \quad (33)$$

- 3) алгоритма Манна – Уитни, настроенного на экспоненциальные распределения:

$$D = \Phi \left\{ (k_\lambda + 1) / \sqrt{6k_\lambda (6 + (k_\lambda - 1)(5 + k_\lambda)) / (9 + (k_\lambda - 1)(7 + 2k_\lambda))} \times \right. \\ \left. \times \left(\sqrt{1,5m} (k_\lambda - 1) / (k_\lambda + 1) - \Phi^{-1}(1-F/2) \right) \right\}, \quad (34)$$

О модифицированном знаковом алгоритме. Расчеты по (18), (25) и (32) показывают, что он существенно уступает в эффективности алгоритмам Манна – Уитни и Вальда – Вольфовица. Более того, в практической реализации модифицированный знаковый алгоритм в отличие от известных из литературы примеров сложнее рассмотренных алгоритмов Манна – Уитни и Вальда – Вольфовица. Поэтому для практического внедрения не рекомендуется.

Из расчетов по (18), (25) (33) и (34) при $F = 10^{-4} \dots 10^{-6}$ следует:

- 1) при малом «расстоянии» между гипотезой и альтернативой ($k_\lambda = 1,1$, объем выборки больше 2000 элементов) быстрый непараметрический алгоритм Манна – Уитни, работающий с гипотетическими выборками из равномерных распределений, имеет лучшие рабочие характеристики квазиоптимального алгоритма, настроенного на экспоненциальные распределения. В свою очередь, ему в эффективности уступают алгоритмы Вальда – Вольфовица и Манна – Уитни (работает с выборками из экспоненциальных распределений);

- 2) при увеличении «расстояния» между гипотезой и альтернативой ($k_\lambda = 2$, объем выборки больше 100 элементов) алгоритмы квазиоптимальный и быстрый непараметрический Манна – Уитни одинаково эффективны при достижении $D = 0,9$;

3) быстрые непараметрические алгоритмы наиболее эффективны при малых «расстояниях» между гипотезами ($k_\lambda = 1,1$, объем выборки больше 3000 элементов) и вероятностях ложной тревоги ($F = 10^{-6}$);

4) при $D = 0,9$ и $F = 10^{-4}$ относительная эффективность быстрого непараметрического алгоритма Манна – Уитни для $k_\lambda = 1,1 \dots 4,1$ составляет 1,84...1,05 (относительно Вальда – Вольфовица); 1,43...0,84 (относительно квазиоптимального); 3,75...1,80 (относительно Манна – Уитни, работающего с выборками из экспоненциальных распределений). При $k_\lambda \geq 2,4$ квазиоптимальный алгоритм сравнивается по эффективности с быстрым непараметрическим алгоритмом Манна – Уитни и незначительно превосходит его.

Таким образом, проверка простой гипотезы о параметре экспоненциального распределения сводится к проверке гипотезы о параметре равномерного распределения. В этом случае обеспечивается работа непараметрических алгоритмов принятия решений (обнаружения сигналов) в реальном масштабе времени, так как исключены операции запоминания и упорядочения обрабатываемых данных, имеющих экспоненциальные распределения. Более того, при $F = 10^{-4} \dots 10^{-6}$ и малом «расстоянии» между гипотезой и альтернативой ($k_\lambda = 1,1$) быстрый непараметрический алгоритм Манна – Уитни, работающий с гипотетическими выборками из равномерных распределений, имеет лучшие рабочие характеристики квазиоптимального алгоритма, настроенного на экспоненциальные распределения. Быстрые непараметрические алгоритмы Манна – Уитни и Вальда – Вольфовица наиболее эффективны при малых «расстояниях» между гипотезами ($k_\lambda = 1,1$) и вероятностях ложной тревоги ($F = 10^{-6}$).

Литература

1. Коваленко, И. Н. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для втузов / И. Н. Коваленко, А. А. Филиппова. – М.: Высш. шк., 1973.
2. Никитенок, В. И. Элементы теории ранговых критериев, работающих в реальном времени / В. И. Никитенок // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2009. – № 2 (23). – С. 94–99.
3. Никитенок, В. И. Быстрая процедура формирования ранговой последовательности в двух стационарных пуассоновских потоках импульсов / В. И. Никитенок // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2011. – № 1. – С. 67–73.
4. Никитенок, В. И. Непараметрические тесты обнаружения пуассоновских сигналов / В. И. Никитенок // Сб. науч. ст. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2011. – № 20. – С. 69–76.
5. Левин, Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники / Б. Р. Левин. – 3-е изд. – М.: Радио и связь, 1989.
6. Гуткин, Л. С. Теория оптимальных методов радиоприема при флюктуационных помехах / Л. С. Гуткин. – М.: Сов. радио, 1972.

*Сведения об авторе:

Никитенок Виктор Иванович,
Белорусский государственный университет.
Статья поступила в редакцию 26.06.2011 г.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ СОСТОЯНИЙ СИСТЕМЫ С ВОЗМОЖНЫМИ НАРУШЕНИЯМИ СТРУКТУРЫ

УДК 621.397

В. А. Куренев, Е. В. Нуднов, А. А. Коротышевский*

В статье рассмотрен один из подходов идентификации состояния системы по результатам контроля совокупности сигналов. Идентификация осуществляется на основе наблюдений и априорных сведений об интенсивностях переходов.

The article considers one of the approaches to the system state identification by the results of signal control. The identification is performed on the base of observation and main data about the transition intensiveness.

В сложных системах автоматического управления в процессе работы возможно возникновение внезапных отказов и, следовательно, изменение структуры системы управления. Таким образом, актуальной является задача идентификации состояний системы по результатам контроля совокупности сигналов, наблюдаемых на фоне шумов. Постановка такого рода задач [1] с учетом априорных сведений выглядит следующим образом.

Пусть модель наблюдений случайной совокупности сигналов, максимально возможное количество которых известно и не превышает заданного числа L , имеет вид

$$y(t) = \sum_{l=1}^L \Theta_l \vartheta_l(t) + n(t), \quad (1)$$

где Θ_l – параметр, представляющий собой дискретную случайную величину и характеризующий ситуации наличия ($\Theta_l = 1$) и отсутствия ($\Theta_l = 0$) l -го сигнала;

$\vartheta_l(t)$ – контролируемый сигнал с номером l ;

$n(t)$ – нормальный белый шум наблюдения с нулевым математическим ожиданием и заданной спектральной плотностью N_0 .

Каждой совокупности наблюдаемых сигналов $\vartheta^{(s)}(t) = \sum_{l=1}^s \Theta_l \vartheta_l(t)$ соответствует определенное состояние технической системы, начиная от полностью работоспособного, когда наблюдаются все контролируемые сигналы, и заканчивая состоянием полного отказа, когда наблюдается только шум. Общее количество этих состояний определяется числом возможных сочетаний

$$S = \sum_{l=0}^L C_L^l.$$

Будем полагать, что процесс перехода системы из состояния в состояние ввиду случайного характера нарушений и восстановления работоспособности системы является случайным пуассоновским. Он представляет собой простую марковскую цепь с априорно известными интенсивностями взаимных независимых переходов $v_{sr}(t)$, т. е. средним числом переходов в единицу времени из s -го в r -е состояние. Интенсивности переходов образуют матрицу

$$v(t) = \begin{pmatrix} 0 & v_{0r}(t) & v_{0s}(t) & v_{0S}(t) \\ v_{r0}(t) & 0 & v_{rs}(t) & v_{rS}(t) \\ v_{s0}(t) & v_{sr}(t) & 0 & v_{sS}(t) \\ v_{S0}(t) & v_{Sr}(t) & v_{SS}(t) & 0 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

На основе наблюдений (1) и априорных сведений (2) требуется определить апостериорные вероятности состояний технической системы, т. е. оценить, какой сигнал или какая совокупность сигналов присутствует в данный момент времени в наблюдениях $y(t)$.

Данная задача относится к задачам многоальтернативного обнаружения и решается путем сравнения выбранных статистик (отношений правдоподобия или их логарифмов) для всех возможных состояний с выбранными порогами. Обработка статистик в соответствии с принятыми решающими правилами осуществляется в решающем устройстве, на выходе которого в ключевом режиме формируются сигналы о наличии соответствующих состояний.

Применяя адаптивный байесовский подход [2] и теорию систем со случайной структурой [3], можно получить алгоритм формирования апостериорных вероятностей состояний в дифференциальной форме, обеспечивающей непрерывную текущую оценку безусловных вероятностей наличия сигналов, а следовательно, и динамики изменения состояний технической системы.

Алгоритм формирования апостериорных вероятностей состояний имеет вид

$$\dot{\hat{P}}_s(t) = -\hat{P}_s(t) \sum_{r=0}^S \left(v_{sr}(t) - \hat{P}_r(t) \Delta F^{(sr)}(t, y) \right) + \sum_{r=0}^S \hat{P}_r(t) v_{rs}(t), \quad s = \overline{0, S}, \quad (3)$$

где $\Delta F^{(sr)}(t, y) = -\frac{1}{2N_0} [y(t) - g^{(s)}(t)]^2 + \frac{1}{2N_0} [y(t) - g^{(r)}(t)]^2$ – подынтегральное выражение отношения правдоподобия состояния s к состоянию r , зависящее от отношения мощности сигнала к мощности шума.

Получаемые в результате решения системы дифференциальных уравнений (3) апостериорные вероятности удовлетворяют очевидному условию нормировки

$$\sum_{s=0}^S \hat{P}_s(t) = 1.$$

Вычисление безусловных апостериорных вероятностей наличия сигналов $\hat{\Theta}_l$, $l = \overline{1, L}$ производится суммированием апостериорных вероятностей состояний, благоприятствующих появлению каждого l -го сигнала.

Динамические свойства идентификатора в первом приближении могут оцениваться по математическим ожиданиям апостериорных вероятностей состояний и безусловных апостериорных вероятностей наличия сигналов. Заменяя апостериорные слагаемые в (3) их статистическими эквивалентами, приходим к упрощенным статистически эквивалентным уравнениям идентификатора относительно математических ожиданий апостериорных вероятностей состояний

$$\dot{\bar{P}}_s(t) = -\bar{P}_s(t) \sum_{r=0}^S \left(v_{sr}(t) - \bar{P}_r(t) \Delta F^{(sr)} \right) + \sum_{r=0}^S \bar{P}_r(t) v_{rs}(t), \quad s = \overline{0, S}. \quad (4)$$

При постоянных интенсивностях переходов возможен установившийся режим, в котором апостериорные вероятности не зависят от времени, а полностью определяются отношением мощности сигнала к мощности шума и априорными значениями интенсивностей переходов. В этом случае они находятся из системы алгебраических уравнений

$$\bar{P}_s \sum_{r=0}^S \left(v_{sr} - \bar{P}_r \Delta F^{(sr)} \right) - \sum_{r=0}^S \bar{P}_r v_{rs} = 0, \quad s = \overline{0, S},$$

которые получаются из (4) при $\dot{\bar{P}}_s(t) = 0$, $s = \overline{0, S}$.

Простейшим частным, но практически важным случаем является случай перерывов информации в односигнальной ситуации. Указанная ситуация приводит к идентификатору на два состояния. Состояние 0 отождествляется с отсутствием сигнала, а состояние 1 – с его наличием. В этом случае апостериорные вероятности состояний совпадают с безусловными апостериорными вероятностями наличия и отсутствия сигнала.

Установившееся значение вероятности \bar{P}_1 при наличии сигнала находится из уравнения

$$\Delta F^{(10)} \bar{P}_1^2 - (\Delta F^{(10)} - (v_{01} + v_{10})) \bar{P}_1 - v_{01} = 0 \quad (5)$$

и равно:

$$\bar{P}_1 = \frac{\gamma + \sqrt{\gamma^2 + 4v_{01}\Delta F^{(10)}}}{F^{(10)}},$$

где $\gamma = \Delta F^{(10)} - (v_{01} + v_{10})$.

Установившееся значение \bar{P}_1 при отсутствии сигнала получается из (5) при $F^{(10)} = 0$:

$$\bar{P}_1 = \frac{v_{01}}{v_{01} + v_{10}}.$$

Анализ показывает, что быстродействие идентификатора полностью определяется энергетическими свойствами наблюдаемого сигнала и априорно известными интенсивностями переходов из состояния в состояние. Быстрее идентифицируется тот сигнал, который обладает энергетическим преимуществом перед другими, а точный учет априорно известных интенсивностей переходов обеспечивает уменьшение быстродействия идентификатора при редких перерывах информации и увеличение при частых.

Литература

1. Сосулин, Ю. Г. Теория обнаружения и оценивания стохастических сигналов / Ю. Г. Сосулин – М.: Сов. радио, 1978. – 320 с.
2. Репин, В. Г. Статистический синтез при априорной неопределенности и адаптация информационных систем / В. Г. Репин, Г. П. Тартаковский. – М.: Сов. радио, 1977. – 432 с.
3. Казаков, И. Е. Статистическая динамика систем с переменной структурой / И. Е. Казаков. – М.: Наука, 1977. – 416 с.

*Сведения об авторах:

Куренев Вячеслав Александрович,

Нуднов Евгений Владимирович,

Коротышевский Александр Анатольевич,

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 08.11.2011 г.

3. ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

НЕКОТОРЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ ОФИЦЕРОВ ВЫСШЕЙ КВАЛИФИКАЦИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

УДК 378.126

А. Н. Курмашов, Р. Ф. Жаксылыков*

В данной статье исследованы факторы, составляющие основу теоретической подготовки в Военном институте Внутренних войск Республики Казахстан по специальности, выявлены показатели, находящиеся в определенной взаимосвязи и являющиеся исходными понятиями при определении характеристик модели подготовки военного специалиста.

The article some factors which are the basis of theoretical training in the Military institute of Internal troops of Republic Kazakhstan on specialty are investigated, the indices characterizing the contents of activities of the officers in the sphere of action in certain cooperation and being initial notions in definitions of characteristics of the model of training of a specialist.

Подготовка специалистов в области управления, обеспечения национальной безопасности и обороны страны, а также в сфере педагогики высшей школы – профессионалов высшей категории, способных принимать решения в любых условиях обстановки и уверенно выполнять свои служебные обязанности в зависимости от профессиональной направленности обучения, обеспечивается рядом факторов. В их числе по эффективности воздействия приоритетная роль принадлежит офицерам внутренних войск военных вузов, поскольку офицер – главная фигура в образовательном процессе высших военных учебных заведений.

Военная наука и военное образование непрерывно развиваются, изменяются, соответственно растут предъявляемые требования к содержанию обучения курсантов, слушателей, что обуславливает актуальность задачи по повышению качества профессиональной подготовки офицеров внутренних войск.

В целях совершенствования военно-профессиональных и педагогических знаний, умений, навыков и достижения высокого методического мастерства офицеров внутренних войск профессиональная подготовка представляется целостной системой необходимых мероприятий.

В первую очередь качество образовательного процесса определяют военно-профессиональная и педагогическая компетентность офицера, его методическое мастерство, следовательно, основными направлениями профессиональной подготовки офицеров внутренних войск должны стать: военно-профессиональное и педагогическое совершенствование; повышение научной квалификации и уровня информационной подготовки; формирование духовно-патриотических ценностей.

Если педагогическая грамотность и методическое мастерство дадут возможность преподавателю наиболее эффективно формировать знания слушателей, учить их мыслить и правильно решать управленческие задачи, то научная квалификация обеспечит достижение фундаментальности знаний обучающихся [1].

Повышение уровня информационной подготовки офицеров внутренних войск будет способствовать интеграции учебной, научной работы с войсковой практикой и одновременно обеспечит совершенствование педагогического мастерства, позволит эффективнее использовать имеющиеся средства информатизации, внедрять новые информационные технологии, тем самым обеспечивая непрерывный цикл развития офицера-преподавателя.

Военно-профессиональное совершенствование с использованием различных форм подготовки позволит офицерам не только углубить знания, расширить и закрепить практические навыки, но и исследовать проблемные вопросы военного искусства, расширить методы научного поиска.

Формирование у офицеров положительных духовно-патриотических ценностей должно укрепить их психолого-педагогические и правовые знания.

В интересах достижения поставленных целей по развитию профессиональной подготовки офицеров внутренних войск можно определить ее задачи:

совершенствование знаний: основ военной науки и в первую очередь в области теории и практики военного искусства; основ государственного управления и формирования военной политики государственной власти; правовых положений, связанных с основными концептуальными и доктринальными взглядами по вопросам обороны страны и обеспечения ее национальной безопасности, функционированием системы высшего профессионального военного образования в целом;

формирование умений: создавать творческую атмосферу образовательного процесса; использовать при изложении предметного материала взаимосвязь смежных дисциплин, представленных в учебном плане, а также научно-исследовательского и учебного процессов в ВУЗе; применять знания культурного наследия прошлого и настоящего, современных достижений науки и культуры в качестве средств воспитания курсантов и слушателей;

овладение: методами научных исследований в сфере основной профессиональной подготовки; основами научно-методической работы; навыками самостоятельной методической проработки профессионально-ориентированного материала (структурирование и преобразование научного знания в учебный материал); основами учебно-методической работы высшего профессионального образования, методами и приемами разработки задач, упражнений, тестов по различным темам; способами создания требовательно-доброжелательной обстановки в учебном процессе; методами формирования навыков организации самостоятельной работы, профессионально-аналитического мышления и развития творческих способностей обучаемых; культурой жизненного самоопределения, методами эмоциональной саморегуляции; основами применения компьютерной техники и информационных технологий в учебном и научном процессах.

Успешное решение задач профессиональной подготовки офицеров внутренних войск станет возможным при всесторонне продуманной организации и личной высокой ответственности преподавателей за свою подготовку; качественной подготовке мероприятий и реализации их на высоком методическом уровне; постоянном контроле и своевременном оказании необходимой помощи преподавателям.

Исследуя проблемы подготовки кадров для внутренних войск, выделим еще одну актуальную для ведомственного образования внутренних войск проблему подготовки педагогических и научных кадров, преподавателей для Военного института Внутренних войск Республики Казахстан. Преподаватель был и остается ключевой фигурой процесса обучения и воспитания [2, с. 10]. При этом основными формами совершенствования профессиональной подготовки офицеров внутренних войск являются:

подготовка научно-педагогических кадров;
курсы повышения квалификации; самостоятельная работа;
профессиональная подготовка; методическая подготовка;
стажировка в войсках (силах) и участие в мероприятиях по оперативной подготовке Вооруженных Сил, других войск и воинских формирований.

Учитывая, что именно магистратура предусматривает научно-педагогическую подготовку магистров, их профессиональную педагогическую и научно-исследовательскую деятельность в высших военных учебных заведениях, научно-исследовательских организациях в качестве преподавателей, весьма важно строго соблюдать требования к научно-исследовательской работе и, в частности, к магистерским диссертациям.

Научно-исследовательская работа, как неотъемлемая часть программы магистратуры, должна соответствовать основной проблематике специальности. Практика показывает, что магистранты, имеющие склонность к научно-педагогической деятельности, успешно преподают на должностях преподавателей и старших преподавателей в Военном институте Внутренних войск, возглавляют кафедры и учебные батальоны.

Преподаватели военных кафедр имеют опыт служебной деятельности, назначаются на должности из войск, зачастую сразу на высокие – от старшего преподавателя до начальника кафедры (цикла), однако при этом не имеют педагогического опыта и образования. Не осуществляют подготовку военных педагогов по специальностям и в Национальном университете обороны. Вопрос о военно-педагогическом факультете давно назрел и не раз затрагивался в ходе научно-теоретических и научно-практических конференций, имел место в предложениях по развитию Вооруженных Сил, других войск и воинских формирований. До настоящего времени он не решен, и каждое министерство и ведомство самостоятельно решают свои проблемы.

Если касаться третьего уровня образования – докторантуры, то здесь спектр проблем обусловлен собственно переходным периодом в соответствии с новым законодательством в сфере образования, который вызвал на сегодня вопросов больше, чем решил. Но это присуще таким этапам. До этого мы имели ясность в подготовке офицеров научной квалификации кандидата и доктора наук в адъюнктурах и через институт соискательства, и осуществляли подготовку военных ученых в учебных заведениях, где функционировали Диссертационные советы: Национальный университет обороны МО и Военный институт КНБ Республики Казахстан, другие ведущие гражданские вузы страны.

С выходом нового Закона «О науке» в докторантурах будет осуществляться подготовка и защита диссертаций на соискание ученой степени докторов философии, докторов по профилю, лиц, освоивших профессиональные образовательные программы докторантуры по соответствующим специальностям и защитившим диссертацию [3].

Таковы основные взгляды на систему военного образования во внутренних войсках и основы подготовки офицерских кадров Казахстана. Система подготовки офицерских кадров во внутренних войсках, включающая уровни военного образования «тактический – оперативно-тактический – оперативно-стратегический», органично и логично вписывается и успешно адаптируется и не противоречит требованиям Болонской системы, выраженной в триаде «бакалавриат – магистратура – докторантура». Она, как и в целом военное образование Казахстана, проходит период глубоких преобразований и вступает в период, когда видятся звенья законченной цепи образования офицеров, отвечающей мировой тенденции ее непрерывности – образование через всю жизнь.

Одним из дополнительных образовательных программ профессиональной подготовки является комплексная психолого-педагогическая, научно-методическая, научно-исследовательская, информационно-технологическая и нормативно-правовая подготовка к педагогической деятельности в высшем военном учебном заведении. Основное внимание в этой программе уделяется дисциплинам психолого-педагогического цикла [4, с. 27].

Весьма важно офицерам, завершившим обучение по программам профессиональной переподготовки и успешно сдавшим экзамены, удостоверить право на ведение профессиональной деятельности в сфере педагогики высшей школы, присваивая по завершении обучения дополнительную квалификацию «Преподаватель высшей школы» и выдавать диплом государственного образца о дополнительном (к высшему) образовании [5, с. 45].

Послевузовское и дополнительное образование дает возможность решать психолого-педагогические проблемы на начальном этапе становления офицера. Новые научные достижения, смена технологий обучения не позволяют офицеру внутренних войск оставаться на достигнутом уровне и требуют непрерывного обновления имеющихся знаний и развития профессионально-личностных качеств.

Решающую роль в этом процессе играет самообразование, которое осуществляется в рамках *самостоятельной работы*.

Самостоятельная работа наряду с другими формами профессиональной подготовки планируется и проводится с целью обеспечить высокий уровень обучения и воспитания слушателей при проведении всех видов занятий, квалифицированное руководство процессом обучения в ходе преподавания своей дисциплины. Она является важнейшей повседневной

обязанностью преподавательского состава, определяющим условием повышения качества обучения и воспитания слушателей. Ее основные задачи заключаются в приобретении новых знаний, совершенствовании навыков самостоятельного научного исследования актуальных вопросов военного искусства и тактики, повышении педагогического мастерства [5, с. 84].

Содержание самостоятельной работы определяется для каждого офицера внутренних войск в зависимости от опыта его педагогической деятельности и должностных обязанностей. Она весьма разнообразна и может охватывать вопросы военного искусства и тактики, военного строительства, военной педагогики и психологии, истории войн и военного искусства, проблемы военно-гуманитарных наук, изучаемых в вузе, и др.

Значительное место в самостоятельной работе должны занимать: изучение материалов по психологии и педагогике, теории и практике обучения, опыта обучения и воспитания, а также передовых достижений в этой области зарубежной военной школы.

Самостоятельная работа является основной формой информационной подготовки, так как сложность вопросов, связанных с разработкой и внедрением информационных технологий, требует высокого интеллектуального напряжения и решения целого комплекса проблем, включающих технологические и экономические аспекты, тесно связанные между собой.

В плане информационной подготовки самостоятельная работа должна включать: изучение информационной инфраструктуры учебного заведения, ее возможностей в качестве средства обучения и инструмента для решения педагогических задач; освоение моделей операций и боевых действий, методик оперативных расчетов на применение сил и средств в операциях; разработку проектов новых информационных технологий (обучающих систем).

Особое место в самостоятельной работе преподавателя должны занимать:

инициативное проведение исследований отдельных вопросов военного искусства и тактики, в первую очередь по профилю кафедры;

изучение материалов учений в войсках, особенно их опытных и исследовательских целей;

разработка и защита кандидатских и докторских диссертаций в порядке соискательства, в том числе по проблемам военного образования, теории и практики профессиональной педагогики.

Добиться ощутимых результатов самостоятельной работы можно при условии широкого использования дидактической и научной литературы (монографий, диссертаций, отчетов о НИР, научных статей, руководящих и нормативных правовых документов), других внутренних и внешних источников информации.

Важнейшими условиями успеха являются настойчивость и инициатива преподавателей, их повседневное стремление к самосовершенствованию. Успех самостоятельной работы определяется способностью офицеров внутренних войск постоянно учиться.

Профессиональная подготовка офицеров постоянного состава военного учебного заведения должна проводиться в целях дальнейшего повышения уровня теоретических знаний офицера, военно-технических и специальных знаний, педагогических и методических навыков, усиления влияния личной подготовки на эффективность и качество учебного процесса.

Таким образом, системность и качество профессиональной подготовки офицеров внутренних войск является одним из решающих факторов в достижении успешности образовательной деятельности военных учебных заведений, в подготовке компетентных, конкурентоспособных и высококвалифицированных офицеров для Вооруженных Сил, других войск и воинских формирований Республики Казахстан.

Литература

1. Об образовании: Закон Респ. Казахстан от 27 июля 2007 г. № 319-III ЗРК.
2. Жаксылыков, Р. Ф. Научно-педагогические основы подготовки офицеров высшей квалификации для Внутренних войск МВД Респ. Казахстан: автореф. ... канд. пед. наук: 13.00.08 / Р. Ф. Жаксылыков. – Астана, 2010. – 29 с.
3. О науке: Закон Респ. Казахстан от 18 февр. 2011 г. № 408-IV ЗРК.
4. Ахметов, Ж. Х. Организация и ведение образовательного процесса в высших военных учебных заведениях (на примере ВВУ ВВ МВД РК): учеб. пособие / Ж. Х. Ахметов, А. Н. Юдин. – Петропавловск, 2007. – 256 с.
5. Шойнбаев, А. Руководство по организации и ведению образовательного процесса в Национальном университете обороны / А. Шойнбаев. – Щучинск, 2007. – 120 с.

*Сведения об авторах:

Курмашов Александр Николаевич,
УО «Военная академия Республики Беларусь»;
Жаксылыков Руслан Фатихович,
Командование Внутренних войск МВД Республики Казахстан.
Статья поступила в редакцию 24.10.2011 г.