

ISSN 2224-1159

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ «ВОЕННАЯ АКАДЕМИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ»

ВЕСТНИК ВОЕННОЙ АКАДЕМИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

№ 3 (52) 20 сентября 2016 г.



ВОЕННЫЙ НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь»

ВЕСТНИК ВОЕННОЙ АКАДЕМИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

№ 3 (52) 20 сентября 2016 г.

Военный научно-
теоретический журнал

Издается с 2003 года

Адрес редакции:

220057, г. Минск-57, учреждение
образования «Военная академия
Республики Беларусь», главный
корпус, комн. № 264 А.
Тел./факс: 287-45-15.

Издатель:

Учреждение образования
«Военная академия Республики
Беларусь».

Свидетельство
о государственной регистрации
издателя, изготовителя,
распространителя печатных
изданий

№ 1/224 от 19.03.2014.

№ 2/81 от 19.03.2014.

Набор и верстка:

Демидова А. К.

Дизайн обложки:

Мацкевич А. Н.

Печать:

ЛП № 02330/76

от 27.03.2014 г.

Подписано в печать 20.09.16 г.

Формат 60×84/8. Бумага писчая.

Гарнитура «Таймс». Печать

ризография. Усл. печ. л. 14,65.

Тираж 100 экз. Зак. 386.

Отпечатано в типографии

учреждения образования

«Военная академия

Республики Беларусь».

220057, Минск-57.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Лапука О. Г., *главный редактор*, доктор технических
наук, профессор;

Малкин В. А., *заместитель главного редактора*,
доктор технических наук, профессор;

Гришкевич М. М., *секретарь*, кандидат военных
наук, доцент;

Белько В. М., кандидат технических наук, доцент;

Вашкевич В. Р., кандидат технических наук, доцент;

Гринюк В. И., кандидат военных наук, профессор;

Калитин С. Б., кандидат технических наук, доцент;

Колодяжный В. В., доктор военных наук, профессор;

Ксенофонтов В. А., кандидат философских наук,
доцент;

Куренёв В. А., доктор технических наук, профессор;

Лебедин А. В., доктор военных наук, профессор;

Осипов Г. А. кандидат военных наук, доцент;

Павлович В. С., доктор физико-математических наук,
профессор;

Седышев С. Ю., кандидат технических наук, доцент;

Чубрик В. Г., кандидат военных наук, доцент.

СОДЕРЖАНИЕ

Основы военной науки и военного строительства

Демичев Е. Е., Бабуль В. А. Комплекс методик обнаружения, распознавания, распределения ресурса и оценки эффективности функционирования системы радиоэлектронного подавления в операции.....	3
Жусупов М. М., Бузин Н. Е. Концептуальные и методологические основы формирования боевой системы сил специальных операций (применительно к Вооруженным Силам Республики Казахстан).....	13
Избаш М. Ю., Филипченко И. В. Создание информационно-управляющих систем военного назначения – инновационный путь развития Вооруженных Сил.....	21
Кругликов В. В., Филипченко И. В. Вариант системы воздушно-космической обороны.....	26
Поверенный Д. М. Математический подход к оценке эффективности миротворческой деятельности государства под эгидой ООН при урегулировании военных конфликтов.....	33
Ходжаев Ш. А. Обоснование выбора показателей эффективности функционирования системы подготовки специалистов для Военно-морских сил.....	39
Шатько В. И., Попов С. В., Панасюк И. В. Трансформация целей и задач специальных действий в войнах и вооруженных конфликтах второй половины XX века.....	42

Системный анализ и информационные технологии в военном деле

Калитин С. Б., Шарамет А. В., Морозов Д. В. Кинематическое определение координат радиоизлучающей воздушной цели по угловым измерениям.....	50
Косачев И. М., Кулешов Ю. Е. Методология высокоточной оптимальной фильтрации случайных процессов, наблюдаемых в стохастических динамических системах со случайно изменяющейся структурой (часть 1).....	57
Макул П. С., Берикбаев В. М., Комаров И. Н. Комплексная математическая имитационная модель разведывательно-ударной системы.....	67

Общетеоретические вопросы разработки и совершенствования вооружения и военной техники

Бабченок А. А. Оценивание параметров кинематического звена с учетом динамики измерительного устройства.....	76
Лапука О. Г., Спесивцев В. В. Анализ основных факторов снижения эффективности боевого применения управляемого ракетного оружия при атаке групповой цели.....	85
Маркевич В. Э. Оптимизация момента инициирования боевой части зенитной управляемой ракеты в радиокомандном режиме.....	94
Ярмалкевич В. И., Берикбаев В. М. Аналитическая модель боевого применения многоканального зенитного ракетного комплекса «Тор-М2».....	103
Чумаков С. А., Малашин А. Н., Суходолов Ю. В. Система коррекции качества питающего напряжения на основе параллельного активного фильтра.....	111

Проблемы военной педагогики, воинского обучения и воспитания

Кизино С. М. Профессиографический подход к дифференциации организации физической подготовки военнообязанных территориальных войск.....	119
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

ОСНОВЫ ВОЕННОЙ НАУКИ И ВОЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

УДК 621.396.1

КОМПЛЕКС МЕТОДИК ОБНАРУЖЕНИЯ, РАСПОЗНАВАНИЯ, РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСА И ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПОДАВЛЕНИЯ В ОПЕРАЦИИ

Е. Е. Демичев, В. А. Бабуль, кандидат военных наук, доцент*

В статье по результатам анализа проблемных вопросов практики и теории радиоэлектронной борьбы предложен подход к повышению эффективности функционирования системы радиоэлектронного подавления в операции, основанный на использовании в органах управления РЭБ комплекса усовершенствованных методик.

In the article as follows from the analysis of problematic issues in the practice and theory of electronic warfare there was suggested an approach to raising of system operation efficiency of electronic countermeasure of strategic unit based on the usage of improved procedures complex in control agency of EW.

В войнах нового поколения, так называемых «гибридных войнах», на первый план выходит информационное превосходство над противником [1–4]. Этот процесс базируется на широкомасштабном внедрении во все сферы ведения военных действий РЭС. Последние вооруженные конфликты показали, что степень реализации боевого потенциала группировки войск возрастает не только за счет применения высокоточных средств поражения, но и благодаря завоеванию превосходства в управлении подчиненными силами и средствами. Получая своевременно точную и полную информацию в ходе операции (боевых действий), принимая адекватные решения и оперативно доводя их до подчиненных, обладающая превосходством в управлении сторона конфликта становится способной разгромить количественно превосходящего ее противника [5–7].

Особое внимание этому процессу уделяет министерство обороны США, подтверждением чему служит новая концепция строительства СВ «Армия нового типа», в соответствии с которой в настоящее время завершён перевод всех соединений экспедиционной направленности (по американской терминологии – «модульного» типа) на бригадную структуру при одновременном их оснащении современными средствами (системами) связи, которые построены на сетевых принципах [8–10].

В сложившихся условиях асимметричным ответом на эти изменения, по мнению ряда ученых [11–14], является повышение эффективности функционирования системы РЭП. В настоящее время ее возможности ограничены в связи с недостаточным количественным и качественным составом (типажом) средств и комплексов РЭП, имеющих на вооружении.

В то же время методики, используемые в службе РЭБ штаба войск ООб, ориентированы на обеспечение массированного применения средств и комплексов РЭП в операции. Очевидно, что переход к избирательному радиоподавлению критически важных для управления группировкой средств (систем) связи противника сопряжен с необходимостью преодоления ряда трудностей методологического характера.

Это обусловлено тем, что, во-первых, в теории РЭБ отсутствует методический аппарат, обеспечивающий обнаружение и распознавание РЭС, подлежащих РЭП (целей радиопомех). Также вопросы формализации, а следовательно, и автоматизации основных процессов распознавания для различных условий радиоэлектронной обстановки (РЭО) не решены. Во-вторых, существующие методики обеспечивают распределение средств РЭП по целям радиопомех в зависимости от объема передаваемой по ним информации и не

учитывают ее важность (решаемые войсками ООБ оперативные задачи). В третьих, методики оценки эффективности дезорганизации функционирования систем управления войсками и оружием (далее – дезорганизации управления) противника основываются на расчете показателя эффективности – «степень дезорганизации управления», который корректен только частично, так как не учитывает степень вскрытия (выявления) РЭО. Кроме того, указанные методики не систематизированы, не объединены в единый комплекс, вследствие чего не всегда согласуются друг с другом по своим входным и выходным параметрам [15].

Исходя из логики рассуждений вполне очевидно, что актуальность исследования вызвана острой потребностью в обеспечении органов управления радиоэлектронной борьбой оперативного объединения (ООБ) методиками, учитывающими произошедшие качественные изменения в характере и способах ведения вооруженной борьбы и позволяющими им эффективно планировать боевое применение сил и средств РЭП в операциях. Следовательно, разработка комплекса методик обнаружения, распознавания, распределения ресурса и оценки эффективности функционирования системы радиоэлектронного подавления в операции является актуальной *научной задачей*, решение которой позволит не допустить снижения эффективности РЭБ и боевого потенциала войск ООБ в операции.

В соответствии с предложенным в [6, 16] подходом, задача повышения эффективности функционирования системы РЭП ООБ в операции в формализованном виде может быть представлена:

$$W_{dy} = F(W_{rp}, W_{op}, W_{or}) \geq W_{zad} = \text{const}, \quad (1)$$

$$t = [t_o + t_{п} + t_{расп} + t_{рп}] \leq t_{зад} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где W_{dy} – вероятность (степень) дезорганизации управления войсками противника; W_{rp} – вероятность (степень) радиоподавления целей радиопомех; W_{op} – вероятность (степень) огневого поражения противника; W_{or} – вероятность (степень) вскрытия (обнаружения и распознавания целей радиопомех) радиоэлектронной обстановки; W_{zad} – требуемая вероятность (степень) дезорганизации управления войсками противника; t – время разведки и целераспределения; t_o – время обнаружения целей радиопомех; $t_{п}$ – время передачи информации от средств разведки на пункт управления силами и средствами РЭБ; $t_{расп}$ – время распознавания целей радиопомех; $t_{рп}$ – время принятия решения; $t_{зад}$ – максимально допустимое время разведки и целераспределения.

При решении указанной задачи в исследовании применялся системный подход в сочетании с математическими методами теории распознавания и принятия решений. В результате разработан комплекс усовершенствованных методик, включающий в себя:

методику обнаружения и распознавания целей радиопомех и оценки эффективности вскрытия РЭО;

методику распределения средств РЭП по целям радиопомех в операции войск ООБ и оценки эффективности дезорганизации управления.

Методика обнаружения и распознавания целей радиопомех и оценки эффективности вскрытия (выявления) РЭО представляет собой совокупность методов (способов) традиционного и предлагаемого научно-методического аппарата. Она основывается на комплексировании структурного, статистического и семантического методов распознавания и их расширений, применяемых в определенной логической последовательности.

Методика *позволяет* обеспечить рациональное применение средств РЭП ООБ в операции при ведении вскрытия (выявления) РЭО в различных условиях (степени использования априорной информации о группировке войск противника).

Суцность методики заключается в том, что используя априорную информацию о местоположении объектов дезорганизации 1–4-го уровня (АК, дивизия, бригада, батальон) и источников разведки, а также сведений о взаимосвязи РЭС вскрываемых сетей в заданных

секторах осуществляется последовательное вскрытие системы управления (связи) противника. По мере вскрытия уровня звена управления противника назначаются опорные районы для дальнейшей доразведки. Ведение поиска от опорных узлов позволяет последовательно перемещаться по структуре системы управления (связи) от одного узла к другому по уровням звеньев управления, тем самым максимально ограничивается поток заявок от РЭС, представляющих фон. В ее основу положены алгоритмы обнаружения и распознавания целей радиопомех.

Общая структура методики обнаружения и распознавания целей радиопомех и оценки эффективности вскрытия РЭО представлена в виде блок-схемы на рисунке 1.

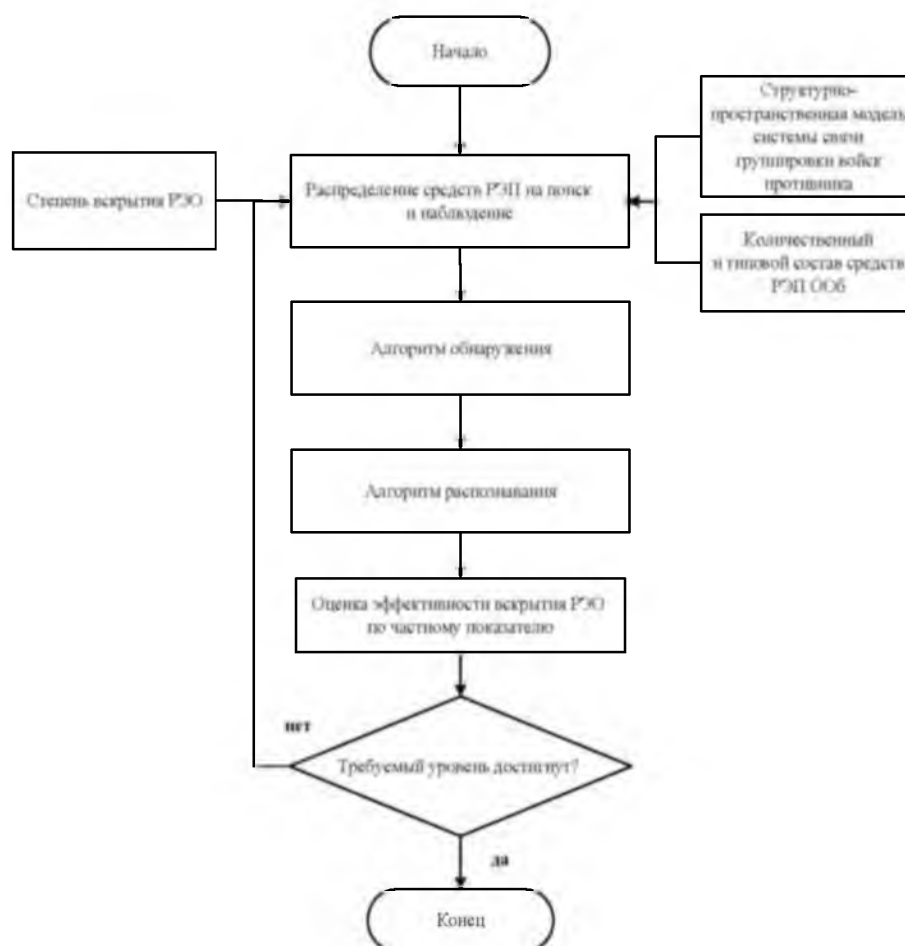


Рисунок 1. – Структура методики обнаружения и распознавания целей радиопомех и оценки эффективности вскрытия РЭО

Методика отличается от известных тем, что в ней предложен подход к обнаружению целей радиопомех, основанный на усовершенствованном адаптивном алгоритме целенаправленного поиска по опорным районам на основе приоритетов. Кроме того, для решения задачи распознавания целей радиопомех предложено использовать комплексирование статистического, семантического и структурного методов, а также в методике учтены выявленные в [6] факторы, влияющие на эффективность функционирования системы РЭП.

Данная методика детально описана в предыдущих статьях авторов, поэтому более подробно остановимся на второй методике.

Методика распределения средств РЭП и оценки эффективности дезорганизации управления противника предназначена для обеспечения рационального распределения средств РЭП ООБ по целям радиопомех в операции и оценки эффективности дезорганизации

управления противника. Она разработана на основе комплексирования методов анализа иерархий и оценки альтернатив, адаптированных к специфике функционирования системы РЭП в операции войск ООБ.

Методика позволяет на основе исходных данных осуществить распределение средств РЭП по наиболее важным целям радиопомех и оценить эффективность дезорганизации управления противника.

Сущность методики заключается в последовательности расчета коэффициента приоритета (важности), позволяющего рационально распределять средства РЭП по целям радиопомех. Наибольший весовой коэффициент устанавливается в зависимости от оперативных задач, решаемых войсками ООБ, и соответствует наиболее приоритетной для радиоподавления цели радиопомех. Приоритет устанавливается исходя из того, к какой подсистеме управления и к какому роду связи относится цель радиопомех.

Общая структура методики представлена на рисунке 2.

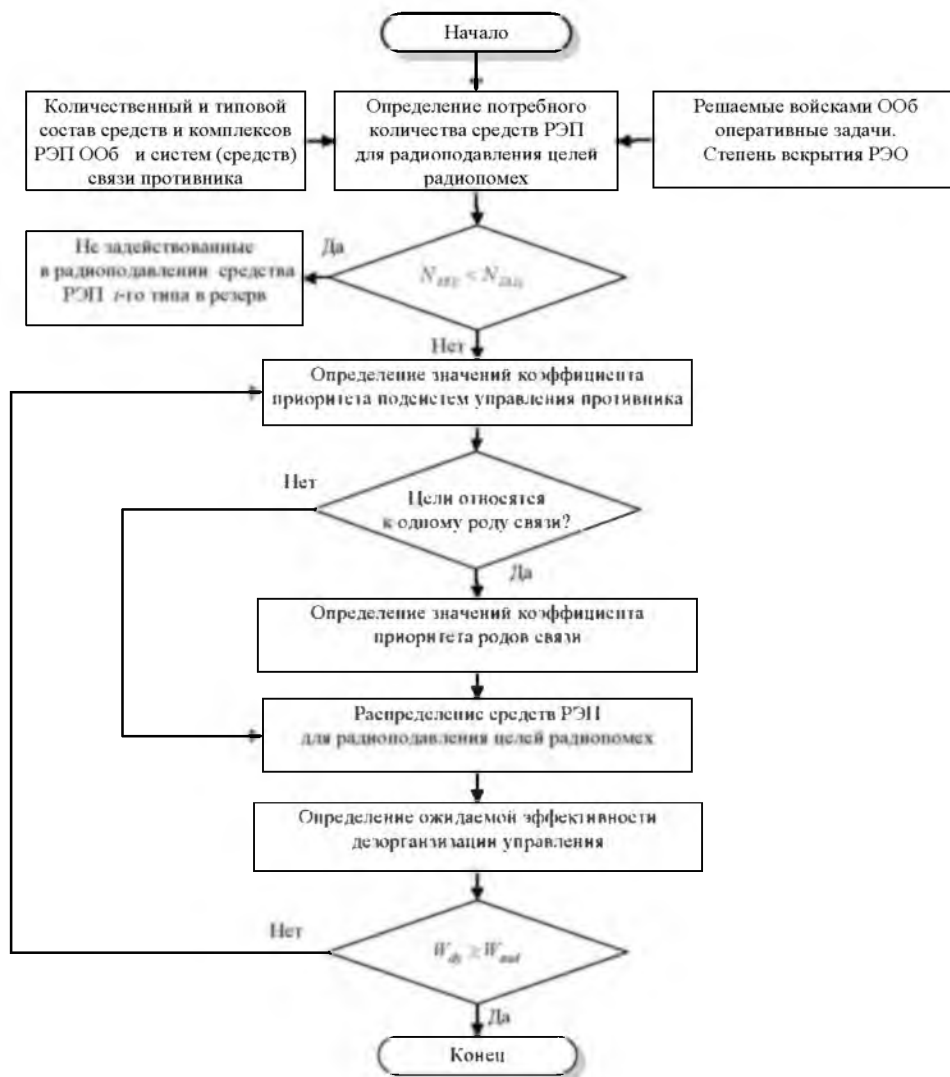


Рисунок 2. – Структура методики распределения средств РЭП и оценки эффективности дезорганизации управления противника

Методика отличается от известных тем, что в ней предложен подход к распределению средств РЭП ООБ по целям радиопомех, в зависимости от выполняемых войсками ООБ оперативных задач, ориентированный на превышение количества целей радиопомех над ресурсом системы РЭП и основывающийся на комплексировании методов анализа иерархий и оценки альтернатив, адаптированных к специфике функционирования системы РЭП в операции. Кроме того, в ней учтены выявленные в [6] факторы, влияющие на эффективность функционирования системы РЭП.

В основу методики положен алгоритм, включающий в себя следующие итерации:

1. Определение необходимого количества помеховых каналов для РЭП целей радиопомех [17]:

$$N_{REP} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K N_{ijk}, \quad (3)$$

где I – количество типовых подсистем управления (общевойсковыми объединениями, соединениями и частями; полевой артиллерии; тактической авиации; противовоздушной обороны; разведки и радиоэлектронной борьбы) в системе управления войсками и оружием противника;

J – количество направлений (то есть участков местности, на которых для радиоподавления радио- и радиорелейной связи противника требуется создавать отдельные группировки сил и средств РЭР и РЭП);

K – количество типов линий связи по роду связи, которому соответствует определенное количество типов средств помех;

N_{ijk} – количество линий связи (определенного рода) типовой подсистемы управления противника на отдельном направлении.

2. Определение возможностей системы РЭП по подавлению средств (систем) связи противника i -го типа:

$$N_{ZAD_i} = N_i m_i, \quad (4)$$

где N_{ZAD_i} – количество помеховых каналов системы РЭП для подавления средств (систем) связи противника i -го типа;

N_i – количество средств РЭП i -го типа;

m_i – количество квазинепрерывно подавляемых линий связи одним средством РЭП i -го типа.

3. Сравнение необходимого количества помеховых каналов и возможностей системы РЭП ООБ:

3.1. Если возможности системы РЭП превышают требуемые ($N_{REP_i} < N_{ZAD_i}$), то не задействованные средства РЭП выводятся в резерв N_{REP_1} :

$$N_{REP_1} = \sum_{i=1}^n (N_{REP_i} < N_{ZAD_i}). \quad (5)$$

3.2. Если возможности системы РЭП не превышают требуемые ($N_{REP_i} \geq N_{ZAD_i}$), то распределение средств РЭП для радиоподавления целей радиопомех осуществляется пропорционально их важности. Для этого рассчитываются значения коэффициентов приоритета (важности).

4. Определение важности подсистем управления в зависимости от решаемой войсками ООБ оперативной задачи:

4.1. Определение количества типовых подсистем управления (общевойсковыми объединениями, соединениями и частями; полевой артиллерии; тактической авиации; противовоздушной обороны; разведки и радиоэлектронной борьбы) в системе управления войсками и оружием противника.

4.2. Определение значения *коэффициента приоритета (важности)* подсистем управления k_i на основе комплексирования **методов оценки альтернатив и анализа иерархий**, для этого:

а) подсистемам управления экспертами присваиваются порядковые номера исходя из решаемой оперативной задачи и определяется их относительная важность (H) (на основе метода оценки альтернатив). Вариант показан ниже:

$$H_3 > H_5 > H_1 > H_2 > H_4 > \dots > H_k;$$

б) подсистемам управления присваиваются значения важности (от 1 до 9), причем первым по важности присваивается более высокое значение (на основе метода анализа иерархий). Вариант распределения порядковых номеров и значений важности представлен в таблице 1.

Таблица 1. – Распределение порядковых обозначений

Подсистемы управления	Порядковые обозначения	Значения важности
<i>i</i> -я оперативная задача		
общевойсковыми объединениями, соединениями и частями	H_1	5
полевой артиллерии	H_2	3
тактической авиации	H_3	9
противовоздушной обороны	H_4	1
разведки и радиоэлектронной борьбы	H_5	7
...
<i>k</i> -я подсистема управления	H_k	<i>k</i>

в) значения важности подсистем сравниваются между собой попарно путем деления значения важности одного элемента на значение важности другого элемента:

$$\beta_{kn} = \frac{H_k}{H_n}. \quad (6)$$

При этом полученные результаты записываются построчно в виде матрицы. Вид такой матрицы представлен в таблице 2.

Таблица 2. – Матрица попарного сравнения подсистем управления

Параметры	H_1	H_2	...	H_n		Коэффициент приоритета
H_1	β_{11}	β_{12}	...	β_{1n}	$\sum_{j=1}^n \beta_{1j}$	k_1
H_2	β_{21}	β_{2n}	$\sum_{j=1}^n \beta_{2j}$	k_2
...
H_k	β_{k1}			β_{kn}	$\sum_{j=1}^n \beta_{kj}$	k_k
					$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n \beta_{ij}$	$\sum_{k=1}^n k_k = 1$

г) важность каждой подсистемы (H_k) определяется при помощи коэффициента приоритета k_k из соотношения

$$k_k = \frac{\sum_{j=1}^n \beta_{kj}}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n \beta_{ij}} \quad \text{при} \quad \sum_{k=1}^n k_k = 1, 0.$$

Процедура повторяется последовательно для всех оперативных задач, решаемых войсками ООБ. Полученные результаты сводятся в таблицу 3.

Таблица 3. – Результаты оценки важности подсистем управления

Подсистемы управления	Коэффициент приоритета
<i>i</i> -я оперативная задача	
общевойсковыми объединениями, соединениями и частями	k_1
полевой артиллерии	k_2
тактической авиации	k_3
противовоздушной обороны	k_4
разведки и радиоэлектронной борьбы	k_5
<i>k</i> -я подсистема управления	k_k

5. Распределение средств РЭП (помеховых каналов) по целям радиопомех в зависимости от оперативной задачи, решаемой войсками ООБ (на основе полученных значений **коэффициента приоритета (важности)**) по формуле:

$$N_{REP2} = N_{ZADi} k. \quad (7)$$

6. Определение коэффициента приоритета родов связи *r* на основе метода оценки альтернатив (при наличии целей радиопомех, относящихся к одной подсистеме управления, но к различным родам связи) [17].

6.1. Результаты оценки родов связи с использованием указанного метода показаны в таблице 4.

Таблица 4. – Результаты оценки альтернативных вариантов родов связи

Рода связи	Показатель важности
<i>i</i> -я оперативная задача	
КВ	первые по важности
УКВ	вторые по важности

6.2. Присвоение значения коэффициентов приоритета, причем первым по важности присваивается более высокое значение.

6.3. Определение **коэффициента приоритета (важности)** путем последовательного суммирования, а затем нормирования значений индексов важности родов связи (результаты процедуры нормирования представлены в таблице 5).

Таблица 5. – Процедура расчета значений коэффициентов приоритета путем нормирования значений индексов важности

Рода связи	Присвоенные значения индексов важности	Нормированные значения индексов	Коэффициент приоритета <i>r</i>
Первая оперативная задача			
КВ	H_1	$H_1/\sum H$	$H_1/\sum H$
УКВ	H_2	$H_2/\sum H$	$H_2/\sum H$
УКВ	H_3	$H_3/\sum H$	$H_3/\sum H$
РРЛ	H_4	$H_4/\sum H$	$H_4/\sum H$
СС	H_5	$H_5/\sum H$	$H_5/\sum H$
	$\sum H$	$\sum = 1.0$	$\sum R = 1.0$
<i>i</i> -я оперативная задача			

7. Перераспределение средств РЭП (помеховых каналов) по целям радиопомех (на основе принадлежности цели радиопомех к роду связи) по формуле

$$N_{REP3} = N_{REP2} r. \quad (8)$$

8. Расчет показателя – степени дезорганизации управления противником по формуле

$$W_{dv} = 1 - (1 - W_{op})(1 - W_{rp}W_{or}). \quad (9)$$

9. Оценка эффективности дезорганизации управления противника по формуле

$$W_{dy} \leq W_{zad}. \quad (10)$$

Процедура завершается по решению должностного лица, принимающего решение при достижении установленной степени дезорганизации управления противника.

Достоверность получаемых результатов при применении комплекса усовершенствованных методик, в соответствии с подходом [19], подтверждается количеством и значимостью учитываемых в нем факторов. Результаты расчетов для существующего и усовершенствованного методического аппарата представлены на рисунке 3 (разработанный комплекс методик представлен под названием «Методика 5», «Методики 1–4» соответственно [18, 20–22]).

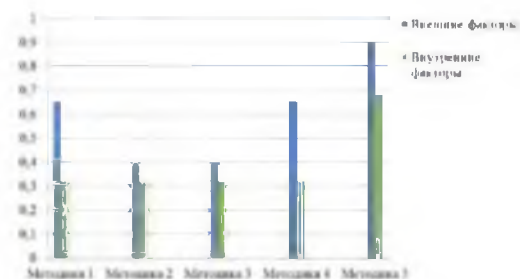


Рисунок 3. – Результаты расчетов показателя достоверности для существующих и предлагаемых методик

Следует отметить, что разработанный комплекс методик по числу и значимости учета внешних факторов превышает аналоги не менее чем на 14 %, а по числу и значимости учета внутренних факторов не менее чем на 36 %, что подтверждает достоверность получаемых с его использованием результатов и его превосходство над аналогами. Также в ходе ряда учений установлено, что применение разработанного комплекса методик должностными лицами органов управления РЭБ, с использованием специального программного обеспечения, позволяет повысить степень дезорганизации управления противника на 12 % и сократить время, затрачиваемое на разведку и целераспределение на 17 % (рисунок 4).

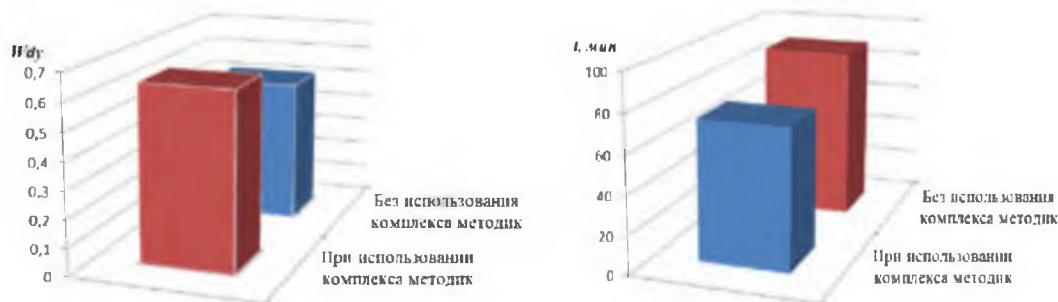


Рисунок 4. – Значения показателей эффективности функционирования системы РЭП ООБ при использовании комплекса методик и без него

Таким образом, в результате исследования сформирован комплекс логически и информационно связанных друг с другом усовершенствованных методик, обеспечивающих последовательное выполнение задач по обнаружению, распознаванию целей радиопомех, оценки эффективности вскрытия РЭО, распределению средств РЭП для их радиоподавления и оценки эффективности дезорганизации управления противника. Разработанный комплекс методик учитывает выявленные ранее факторы через дополнительно введенные исходные данные и расчетные соотношения, а также позволяет обосновать распределение средств РЭП в операции войск ООБ в зависимости от решаемых войсками ООБ оперативных задач.

Обладает согласованностью по входным и выходным параметрам, в частности выходной параметр методики обнаружения и распознавания целей радиопомех является входным параметром в методике распределения средств РЭП для радиоподавления целей радиопомех и оценке эффективности дезорганизации управления.

Список литературы

1. Антонович, П. И. Сущность операций в кибернетическом пространстве и их роль в достижении информационного превосходства / П. И. Антонович, И. В. Шаравов, В. В. Лойко // Вестн. Акад. воен. наук. – 2012. – № 1 (38). – С. 41–45.
2. Волков, Э. Время «сетевых революций». В США разрабатывается информационное оружие нового поколения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.live-internet.ru/users/2503040/post156623139>. – Дата доступа: 16.05.2016.
3. Горбачев, Ю. Е. Информационное противоборство – задача стратегическая / Ю. Е. Горбачев // Национал. оборона. – 2013. – № 3.
4. Косачев, И. М. Особенности войн XXI века / И. М. Косачев // Сущность и характер войны XXI века: сб. науч. ст. – Минск, 2007. – С. 19–34.
5. Дульнев, П. А. Основные изменения в характере вооруженной борьбы первой трети XXI века / П. А. Дульнев, В. И. Орлянский // Вестн. Акад. воен. наук РФ. – 2015. – № 1.
6. Демичев, Е. Е. Анализ основных факторов, влияющих на эффективность функционирования системы радиоэлектронной борьбы оперативного объединения / Е. Е. Демичев // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2015. – № 3.
7. Кулешов, Ю. Е. Анализ взглядов на теорию информационного противоборства / Ю. Е. Кулешов // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2012. – № 1. – С. 10–20.
8. Кондратьев, Л. Реализация концепции «сетцентрическая война» в военно-воздушных силах США / Л. Кондратьев // Зарубеж. воен. обозрение. – 2009. – № 5. – С. 44–49.
9. Колесов, П. Ведение Соединенными Штатами информационных войн. Концепция «стратегических коммуникаций» / П. Колесов // Зарубеж. воен. обозрение. – 2010. – № 6. – С. 9–14.
10. Паршин, С. А. Концепции сетцентрического боевого управления вооруженными силами США, Великобритании и ОВС НАТО. Общие и различия / С. А. Паршин, Ю. А. Кожанов // Зарубеж. воен. обозрение. – 2010. – № 4. – С. 7–18.
11. Криницкий, Ю. В. Асимметричные средства и способы ведения войны / Ю. В. Криницкий // Воен. мысль. – 2010. – № 11. – С. 25–30.
12. Асимметрия в вооруженном противоборстве: информац.-аналит. обзор / Н. Е. Бузин [и др.]. – Минск: НИИ ВС РБ, 2011. – 104 с.
13. Дульнев, П. Асимметричное противодействие сетцентрической войне / П. Дульнев, В. Ковалев, Л. Ильин // Воен. мысль. – 2011. – № 10. – С. 3–8.
14. РЭБ: Оружие асимметричного ответа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://army-news.ru/2014/05/reb-oruzhie-asimmetrichnogo-otveta>. – Дата доступа: 6.06.2016.
15. Демичев, Е. Е. Анализ методик и методов (способов) обнаружения, распознавания, распределения ресурсов и оценки эффективности в теории радиоэлектронной борьбы и других предметных областях / Е. Е. Демичев // Межвуз. воен.-науч. конф. УО «ВА РБ»: сб. тез. докл., Минск, 12 мая 2016 г. – Минск, 2016.
16. Демичев, Е. Е. Обоснование показателей и критериев эффективности системы радиоэлектронного подавления оперативного объединения / Е. Е. Демичев // 33-я науч.-техн. конф.: сб. тез. докл., Минск, 2–3 мая 2016 г. / ОАО «АГАТ-системы управления» – управляющая компания холдинга «Геоинформационные системы управления». – Минск, 2016. – С. 45–46.

17. Шлычков, С. В. Подход к оценке систем и средств управления войсками и оружием противника как потенциальных объектов радиоэлектронного поражения / С. В. Шлычков, О. В. Воробей // Наука и воен. безопасность. – 2011. – № 1.

18. Шлычков, С. В. Обоснование состава сил и средств радиоэлектронной борьбы для ведения оборонительной операции общевойсковым объединением / С. В. Шлычков // Наука и воен. безопасность. – 2009. – № 3. – С. 36–41.

19. Драгун, В. Р. Методологический подход к принятию решений на ведение боевых действий с использованием средств автоматизации / В. Р. Драгун, В. В. Колодяжный, А. А. Посудевский // Наука и воен. безопасность. 2009. – № 3. – С.17–22.

20. Донсков, Ю. Е. Формализованное описание мобильных радиосетей передачи данных в интересах ведения радиоэлектронной борьбы / Ю. Е. Донсков, Б. В. Илларионов, В. И. Зимарин // Воен. мысль. – 2016. – № 4. – С. 32–37.

21. Воробей, О. В. Методика определения количественно-качественного состава техники радиопомех радиосвязи / О. В. Воробей // Воен.-науч. конф. Науч.-исслед. ин-та ВС Респ. Беларусь: сб. тез. докл. / НИИ ВС РБ. – Минск, 2004.

22. Нагалин, А. В. Иерархия целей и задач, возлагаемых на подразделение РЭБ в общевойсковом бою / А. В. Нагалин, Ю. Е. Донсков, И. В. Анисимов // Воен. мысль. – 2013. – № 12. – С. 21–26.

*Сведения об авторах:

Бабуль Виктор Алексеевич.

Демичев Евгений Евгеньевич.

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 03.06.2016 г.

УДК 355.1

**КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ФОРМИРОВАНИЯ БОЕВОЙ СИСТЕМЫ СИЛ СПЕЦИАЛЬНЫХ
ОПЕРАЦИЙ
(применительно к Вооруженным Силам Республики Казахстан)**

М. М. Жусупов,

Н. Е. Бузин, доктор военных наук, профессор*

Анализ современных войн и вооруженных конфликтов свидетельствует об изменении характера их возникновения и развития. Внешние угрозы, как правило, проявляются через искусственное создание и обострение внутренних проблем с последующей поддержкой деструктивных сил агрессором, что требует уточнения задач, решаемых военной организацией государства, и адаптации облика Вооруженных Сил к современным реалиям.

The analysis of actual wars and conflicts testifies changes in their formation and development. As a rule the external threats appear from simulation and exacerbation of internal problems accompanied by destructive strength of aggressor which requires data qualification, solved by military establishment and adaptation of the Armed Forces to the modern realities.

Введение

Военное строительство представляет собой планомерный и целенаправленный процесс создания и развития военной организации государства, комплекс экономических, социально-политических, правовых, собственно-военных и других мероприятий по поддержанию военной мощи страны, призвано обеспечить военную безопасность [1]. Ее важнейшей составной частью является строительство вооруженных сил (ВС).

Существующие подходы к строительству и развитию вооруженных сил

Информация по вопросам, относящимся к рассматриваемой области, весьма скупа. Однако анализ доступных публикаций [2–4] показывает, что ведущие государства мира, такие как США и Россия, активно внедряют в практику *программно-целевой метод (ПЦМ)* планирования строительства военной организации. Суть его заключается в определении конечной (генеральной) цели процесса. В дальнейшем на основе декомпозиции (разделения) этой цели на подцели (частные задачи, решением которых достигается конечная цель) формируются программы (определяются мероприятия и средства для их реализации).

Этот метод получил признание во многих государствах, среди которых Великобритания, Германия, Франция, Польша, Китай. В каждой стране имеются свои особенности, однако подходы к процессу и основные этапы планирования имеют много общего, присущего именно ПЦМ [2, 5]. Данный метод позволяет учитывать реальные потребности обороны государства, новые подходы к применению вооруженных сил в ходе отражения агрессии, изменения форм и способов ведения военных (боевых) действий в единстве с ресурсно-финансовыми возможностями страны.

Результаты анализа опыта планирования строительства ВС позволили сформулировать совокупность основополагающих принципов ПЦМ [5], среди которых интеграция, детальное согласование потребностей и распределение финансовых средств, выделяемых на ВС из бюджета страны, вариантность, системность, учет внешней среды, иерархия целей, итерация, приоритет долгосрочных целей, скользящее планирование, информационное и методологическое единство. Отдельные исследователи предлагают выделять ряд дополнительных принципов.

Одним из определяющих является принцип *интеграции*, предполагающий формирование облика ВС в органическом единстве с общегосударственной системой стратегического планирования и обеспечения национальной безопасности. В соответствии

с ним управленческие решения должны базироваться на четко обозначенных национальных интересах и являться частью системы государственного планирования.

Не умоляя значения других принципов, более подробно рассмотрим принцип *системности*, который является ключевым, определяющим методологию решения проблемы в целом.

Анализ ВС как объекта исследования показывает, что они представляют собой открытую управляемую динамическую социально-техническую систему, объединенную общей структурой, целью функционирования с основными параметрами, меняющимися с течением времени. Поиск и обоснование рациональных параметров системы и является главной задачей планирования развития, в рамках решения которой применяется принцип *итерации*, заключающийся в формировании дерева целей развития всех компонентов, исходя из стратегических задач ВС, применяемых ими форм и способов вооруженной борьбы, определении рациональных вариантов достижения результата и объема необходимых ресурсов. Затем в обратном порядке, «снизу вверх», последовательно по уровням проводится оценка соответствия предлагаемых вариантов облика ВС военно-экономическим и мобилизационным возможностям государства. В случае выявления их несоответствия корректируются либо цели развития ВС (тогда вся процедура повторяется вновь до достижения требуемого соответствия), либо выделяемые ресурсы, либо временные показатели достижения требуемого облика, либо предлагается уточнить задачи ВС.

При этом облик ВС следует рассматривать как сложную многофункциональную систему, состоящую из управляющей, боевой (реализующей), обеспечивающей и вспомогательной систем. Первая представляет собой систему управления ВС. Вторая включает виды и рода войск, а третья – системы всестороннего обеспечения. В свою очередь четвертая объединяет системы подготовки военных кадров и органов военного управления (войск), комплектования личным составом и подготовки (накопления) мобилизационных ресурсов, научного обоснования решений, принимаемых в области военной безопасности, и другие.

Анализ структуры ВС Республики Казахстан (РК) с использованием подходов ПЦМ позволяет утверждать, что отдельные задачи в области обеспечения национальной безопасности в военной сфере не могут быть решены имеющимися силами и средствами. Выявлено несоответствие между существующими возможностями, определенным функционалом и реальной необходимостью. Особое затруднение вызывают вопросы противодействия деструктивным силам на собственной территории, оперирования в информационной сфере и виртуальном пространстве. Это требует адаптации структуры ВС к реалиям современной обстановки. Исходя из мирового опыта, анализа тенденций вооруженного противоборства, особенностей применения силовых методов принуждения, изменения должны затронуть боевую (реализующую) систему ВС путем формирования боевой подсистемы ССО.

Боевая система сил специальных операций

В науке под системой понимается совокупность, образованная и упорядоченная по определенным правилам из конечного множества элементов (подсистем) [6]. При этом между элементами системы существуют определенные отношения.

Как любая система, боевая система ССО должна иметь свое определенное предназначение, функционирование, структуру, окружение, свойства, состояния. Логично предположить, что основное предназначение рассматриваемой системы заключается в осуществлении внутренних (внешних) связей и воздействий. Соответственно, ее функционирование должно включать внутреннюю и внешнюю составляющие. Первая может заключаться в подготовке структурных элементов системы к выполнению задач по предназначению. В свою очередь, вторая представляет собой обеспечивающие мероприятия, нейтрализующие внешние факторы и боевое воздействие по объектам внешнего мира.

Функционирование боевой системы ССО может осуществляться в виде

последовательности конкретных, целенаправленных, устойчивых во времени и пространстве состояний, основными из которых следует считать: состояние покоя (внутреннее и частично внешнее функционирование), переходное (реакция на воздействие внешних факторов) и боевое (внешнее функционирование). Боевое функционирование системы ССО осуществляется путем применения частей (подразделений) в соответствующих формах с использованием специфических методов и способов, что позволяет реализовать внешние функции, направленные на элементы окружающего мира (противника). Исходя из предназначения, важнейшей формой функционирования системы выступают *действия ССО*, которые применительно к ней являются боевыми, поскольку направлены на решение соответствующих задач.

Одной из основных особенностей применения ССО в ходе боевых действий является их специфическая направленность и специальные способы воздействия. ССО выступают главным инструментом **специальных действий**, под которыми понимается особый вид военных действий, осуществляемый специальными способами в тылу противника в целях подрыва его внутренней способности вести вооруженную борьбу, а также на собственной территории для противодействия специальным операциям (действиям) противоположной стороны. Кроме того, к специальным действиям относится применение военной силы вне рамок вооруженной борьбы [7].

По своей сути применение ССО специальными методами (с применением оружия или без) является элементом функционирования *боевой системы*, направленным на достижение целей межгосударственного противоборства. Сегодня информационное воздействие по результативности сопоставимо с нанесением огневых ударов, а на этапе нарастания военной угрозы именно оно наиболее эффективно при решении широкого перечня задач.

Опыт свидетельствует, что структуру боевой системы ССО целесообразно рассматривать в двух аспектах: техническом и оперативно-тактическом. При таком подходе с технической точки зрения она представляет собой совокупность систем (образцов) ВВТ рода войск, предназначенных для обеспечения мобильности формирований, обнаружения и поражения (воздействия по) объектов (-ам) противника. В оперативном аспекте боевая система ССО включает в себя боевые подсистемы ССО более низкого уровня управления. Рассмотренные элементы составляют «структуру» боевой системы ССО, характеризуют ее внутреннюю организацию, порядок и построение.

Отличительной особенностью боевой системы ССО является необходимость ее адаптации к решению задач как на собственной, так и на сопредельных территориях, самостоятельно или во взаимодействии с другими формированиями военной организации государства. Это предопределяет особенности создания, размещения, подготовки и применения сил и средств. Облик боевой системы ССО находится в прямой зависимости от целей и задач, решаемых ею на этапах вооруженного противоборства.

Силы специальных операций в рамках концептуальной модели современного вооруженного противоборства

Специальные действия по своей сути весьма разнородны, поскольку объектами их воздействия являются военный, морально-психологический, экономический, информационный, научно-технический, экологический и другие потенциалы противостоящей стороны. Совокупность мер по сокращению этих потенциалов относится к области специальных способов ведения войны. Кроме того, современное межгосударственное вооруженное противоборство не ограничивается использованием исключительно внешней военной силы. Опыт войн и вооруженных конфликтов свидетельствует, что угрозы национальной безопасности государству смещаются во внутреннюю область, защиту суверенитета и территориальной целостности. Соответственно, ВС РК следует располагать компонентом, способным их нейтрализовать.

Таким образом, перспективные ССО должны быть предназначены для выполнения боевых задач специальными методами и способами в мирное и военное время. Причем до

начала военных действий их функционал направлен на обеспечение участия в стратегическом сдерживании и защиту государства от насильственного захвата власти или изменения конституционного строя, совершения террористических актов или диверсий, а с их началом – на создание благоприятных условий для проведения операций (боевых действий) объединениями (группировками войск).

Принимая во внимание сложность структуры боевой системы ССО и особенности ее функционирования, оптимальным с точки зрения затраты ресурсов следует считать создание обобщенной модели вооруженного противоборства. По своей сути она комбинированная вербально-математическая. Военная наука и практика свидетельствуют, что сегодня успех может быть достигнут двумя методами: преодолением внешней силы сопротивления противника или лишением его внутренней способности к сопротивлению. Большинство передовых государств мира выбирают в качестве основного вторую стратегию, а ССО используют как один из элементов ее реализации.

Основываясь на аксиоме, что межгосударственное противоборство – это двусторонний процесс (любое действие порождает противодействие), само оно является динамической системой, можем построить обобщенную модель, отражающую сущность функционирования (рисунок 1).

Основные компоненты модели представлены в виде блоков, объединенных структурно-функциональными связями и разнесенных во времени по решаемым задачам на едином стратегическом фоне. Обобщающим элементом выступает инициатор (противник), стратегия которого зависит от многих параметров и может быть описана в рамках различных математических теорий: теории систем, теории нечетких множеств, теории игр. Считаем целесообразным применение подхода из *теории игр*, предполагающего, что у противоборствующих сторон имеется свой вариант действий на каждый шаг стратегии противника.

В самом общем виде задача выбора стратегии агрессора может быть представлена в следующем виде (см. рисунок 1). Имеются четыре основных типа составляющих (воздействий) стратегии противника: E_1 – воздействие политическое, экономическое и/или информационное; E_2 – создание и поддержание на определенном уровне конфликтной ситуации; E_3 – эскалация конфликта и переход его в вооруженную фазу; E_4 – военные действия.

Цель противника – добиться для себя приемлемого результата в приемлемые сроки и с приемлемыми затратами. Сроки осуществления некоторой стратегии считаем удовлетворяющими оперирующую сторону и далее временной фактор не учитываем.

Рассмотрим влияние цены составляющих воздействий на цену всей стратегии. Имеется четыре типа воздействий E_i , где $i = \overline{1, 4}$. Каждый тип содержит некоторое количество воздействий J_i . Количество воздействий в каждом типе может варьироваться в зависимости от того, какие воздействия будут учитываться. Обозначим воздействия e_{ij} , где i – номер типа воздействия, j – номер воздействия в типе, z_{ij} – цена воздействия для агрессора.

Поскольку различные воздействия могут оцениваться в различных единицах, будем использовать безразмерные величины.

Исходя из вышесказанного, пронумеруем все воздействия, которые осуществляет противник, в порядке убывания оценок («затрат») на осуществление каждого воздействия, т. е. имеем последовательность оценок $\{z_n\}$, где $n = \overline{1, N}$.

Противник стремится минимизировать затраты на реализацию агрессии при выполнении всех запланированных воздействий. Однако они не в полной мере отражают значимость каждого воздействия для противника, поэтому введем для каждого воздействия коэффициент его важности для противника и, следовательно, коэффициент важности соответствующих затрат $-\alpha_n$.

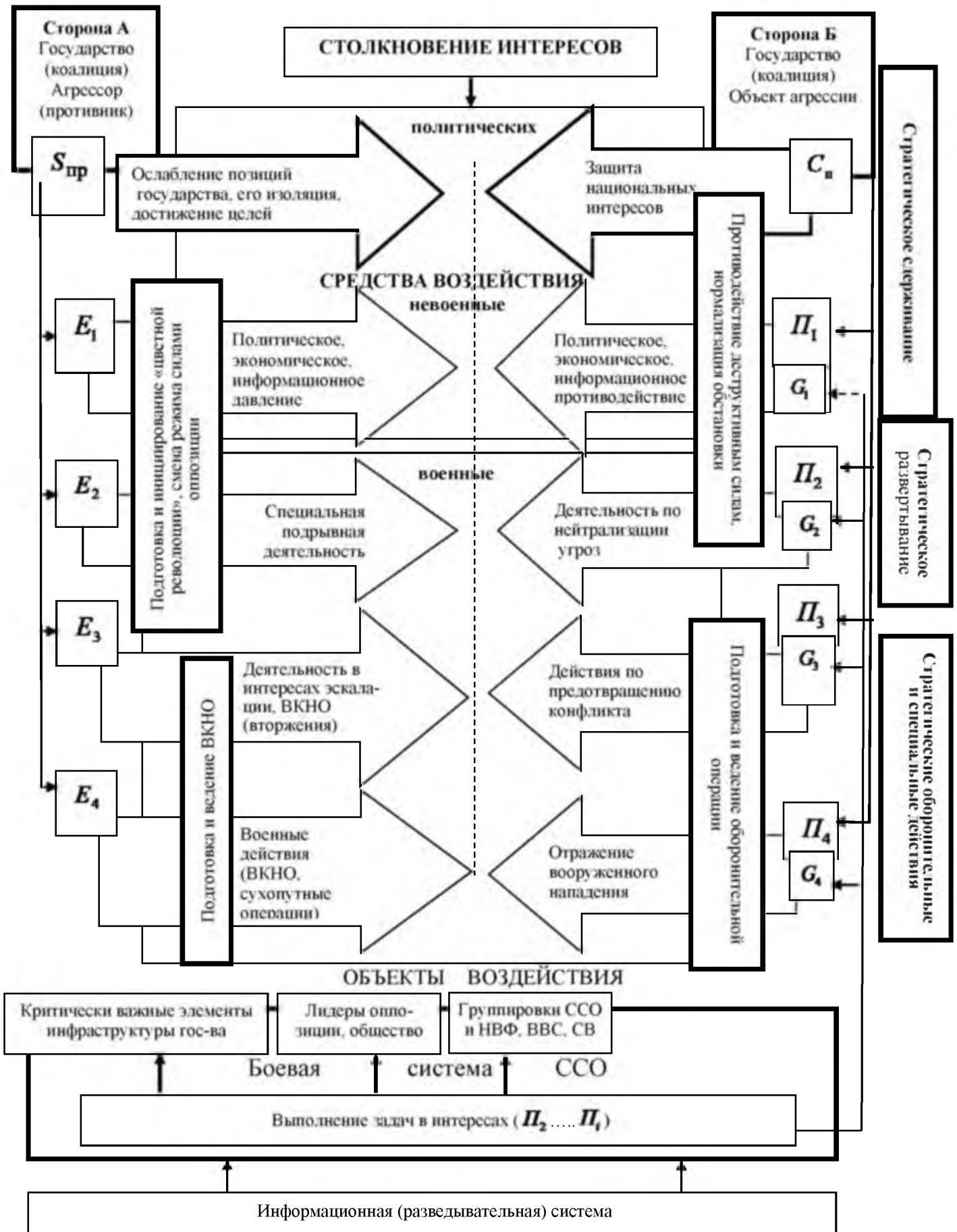


Рисунок 1. – Концептуальная модель межгосударственного противоборства, место в ней боевой системы сил специальных операций

Тогда в формализованном виде стратегия, выбранная противником, имеет вид:

$$S_{\text{пр}} = \begin{cases} P_{\text{пр}} = \max \left(\frac{\sum_{n_1}^{N_1} e_{n_1}}{\sum_{n=1}^N e_n} \right), \\ R_{\text{пр}} = \sum_{n=1}^N \alpha_n z_n, \\ F = \min \frac{\sum_{n=1}^N e_n - \sum_{n_1}^{N_1} e_{n_1}}{\sum_{n=1}^N e_n} \end{cases}$$

где $P_{\text{пр}}$ – доля успешно проведенных воздействий ко всем запланированным;

e_n – запланированное воздействие $n = \overline{1, N}$;

e_{n_1} – успешно проведенное воздействие n_1 ($n_1 \leq n$);

$R_{\text{пр}}$ – общие затраты противника на реализацию всей стратегии;

F – относительное снижение успешно выполненных воздействий за счет противодействия объекта агрессии.

Стратегия противодействия $S_{\text{н}}$, осуществляемая обороняющейся стороной, должна обеспечивать реализацию необходимых мер для нейтрализации возможных угроз и адекватного реагирования на них ($\Pi_2 \dots \Pi_i$). Одним из инструментов воздействия на противника, используемым практически на всех этапах, является боевая система ССО, а ее вклад описывается как $G_1 \dots G_i$. Очевидно, что чем выше будет данный показатель (интенсивнее и эффективнее воздействие), тем больше станет величина противодействия (Π), а следовательно, возрастет «цена победы» и результативность самой стратегии.

Применение боевой системы ССО на этапах межгосударственного противоборства может существенно увеличить затраты противника на выполнение каждой отдельной задачи, а при определенных условиях сорвать их реализацию. Их роль в рамках выполнения мероприятий стратегического сдерживания и дезэскалации внутреннего конфликта практически не поддается математической оценке, поскольку в этот период именно ССО могут решать важнейшие задачи.

Ранее проведенные исследования [8] подтверждают, что активные специальные действия в обороне способны свести на нет преимущество агрессора. За счет функционирования боевой системы ССО и создания активного фронта в тылу наступающей (оперирующей) группировки возможности противника могут быть уменьшены в разы. Однако чем выше военно-техническое превосходство агрессора, тем больший процент боевого потенциала обороняющихся должен быть задействован.

Расчеты показывают, что каждое увеличение боевого потенциала группировки ВС, используемой в интересах ведения специальных действий, на 5–7 % будет вынуждать противника увеличивать в 8–10 раз количество сил и средств, привлекаемых для борьбы с ними [8]. При этом необходимо учесть, что современные агрессоры, как правило, не планируют ведение длительных войн, а коалиционные группировки традиционно чувствительны к потерям. В этих условиях, при активном информационном воздействии, реальная потребность в силах в обороне может составить в пределах половины от названной цифры.

Вместе с тем главной особенностью современного вооруженного противоборства является не разгром ВС противника или овладение его территорией, а принуждение его

к выполнению определенных условий, достижение желаемого послевоенного устройства. Исходя из этого, цель функционирования боевой системы ССО в обороне может быть сформулирована как лишение противника (потенциального, реального) способности к ведению военных (боевых) действий специальными методами, создание условий, когда их начало (продолжение) потребует неприемлемых для оперирующей стороны «затрат».

Основываясь на принципах системности, учета внешней среды и иерархии целей, можно определить задачи, решаемые боевой системой до начала и на этапах военного конфликта.

Так, в ходе *стратегического сдерживания* подобными задачами могут быть:

участие в поддержании режима чрезвычайного положения, оказание помощи другим структурам военной организации государства;

подготовка к проведению адекватных специальных мероприятий, направленных на достижение прекращения конфликта на ранней стадии;

участие в осуществлении информационно-психологических операций и отдельных мероприятий в кибернетической и информационной сферах;

в ходе стратегического развертывания:

участие в поддержании режима военного положения;

усиление охраны государственной границы;

пресечение действий НВФ и ДРГ противника на территории государства, осуществление специальных действий в интересах нормализации обстановки;

подготовка к проведению специальных мероприятий на территории противника в интересах предотвращения (прекращения) военного конфликта;

осуществление отдельных специальных акций (действий) в информационном и киберпространстве;

с началом агрессии – в ходе воздушной операции:

ведение специальной разведки;

пресечение действий НВФ и ДРГ противника на территории государства;

ведение разведывательно-боевых действий по дезорганизации работы систем военного управления, разведки и радиоэлектронной борьбы, объектов ВВС и ПВО, инфраструктуры государства-агрессора;

осуществление специальных операций и действий в информационном и киберпространстве без ограничений в интересах завершения агрессии на выгодных для государства условиях

в ходе оборонительной операции:

ведение специальной разведки;

осуществление разведывательно-боевых действий на территории, контролируемой противником;

нарушение функционирования системы управления войсками и оружием, нанесение поражения войскам противника;

выявление и уничтожение во взаимодействии с войсками объединений, воинскими частями и подразделениями других силовых структур, формированиями национальной гвардии НВФ и ДРГ противника;

ведение разведывательно-боевых действий на территории, контролируемой противником в интересах группировок ВС РК;

реализация всех возможностей и ресурсов для нанесения максимального урона агрессору через киберпространство.

Цели и задачи выступают базисом для формирования облика и структуры боевой системы ССО. Анализ показывает, что все задачи могут быть разделены на две категории: реализуемые на собственной и иностранной территории; а также на три основных группы: боевые традиционные, вспомогательные и специфические.

Заключение

Мировой опыт свидетельствует, что, как правило, ССО являются родом войск в составе ВС, представляют собой единую боевую систему, включающую органы управления, а также специально подготовленные и оснащенные соединения и воинские части. Не вызывает сомнения, что функционирование этой системы должно обеспечивать решение задач в интересах обеспечения национальной безопасности в военной сфере и расширять возможности военного ведомства по нейтрализации существующих и перспективных угроз государству.

Таким образом можно констатировать, что создание ССО в составе ВС РК – веление времени и насущная необходимость, позволяющая адаптировать их структуру к особенностям современного вооруженного противоборства. Оно продиктовано диалектикой развития военной мысли, трансформацией взглядов на достижение целей в межгосударственных конфликтах, смещением акцентов в сферу внутренних опасностей, появлением новых технологий и способов манипулирования коллективным и индивидуальным сознанием.

Список литературы

1. Военно-энциклопедический словарь: в 2 т. Т. 1 / редкол.: А. П. Горкин [и др.]. – М.: БРЭ: Рипол классик, 2001. – 848 с.
2. Основы теории и методологии планирования строительства Вооруженных сил Российской Федерации: воен.-науч. труд. под общ. ред. А. В. Квашнина. – М.: Воентехиздат, 2002. – 232 с.
3. Обоснование основных направлений развития Вооруженных Сил, форм и способов их действий. Шифр «Айчына»: отчет о НИР (заключ.) / ГУ «НИИ ВС РБ»; рук. Н. Е. Бузин. – Минск, 2012. – 212 с.
4. Закиров, О. Р. Опыт применения программно-целевого метода в системе планирования, программирования и разработки бюджета вооруженных сил США: учеб. пособие / О. Р. Закиров, Г. В. Левицкий. – М.: ВА ГШ ВС РФ, 2008. – 123 с.
5. Разработка научно обоснованных предложений по программно-целевому планированию строительства Вооруженных Сил Республики Беларусь. Шифр «Айчына-2»: отчет о НИР (заключ.) / ГУ «НИИ ВС РБ»; рук. В. В. Прозоров. – Минск, 2013. – 92 с.
6. Советский энциклопедический словарь / гл. ред. А. М. Прохоров. – Изд. 4-е, испр. и доп. – М.: Сов. энцикл., 1989. – 1632 с.
7. Бузин, Н. Е. Особые правовые режимы и военная безопасность государства: моногр. / Н. Е. Бузин. – Минск: НИИ ВС РБ, 2014. – 216 с.
8. Бузин, Н. Е. Участие войск оперативного объединения в борьбе с незаконными вооруженными формированиями и силами специальных операций противника в ходе подготовки и ведения первой оборонительной операции: дис. ... канд. воен. наук / Н. Е. Бузин. – Минск: ВА РБ, 2003. – 178 с.

*Сведения об авторах:

Бузин Николай Евгеньевич.

Генеральный штаб Вооруженных Сил.

Жусупов Марат Мускенович.

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 20.07.2016 г.

СОЗДАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ – ИННОВАЦИОННЫЙ ПУТЬ РАЗВИТИЯ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ

М. Ю. Избаш, кандидат военных наук;
И. В. Филиппченко, кандидат технических наук*

В статье рассматривается необходимость создания информационно-управляющих систем военного назначения. Реализация предложенного подхода позволит создать благоприятные условия для работы должностным лицам органов управления и войск и является инновационным направлением развития Вооруженных Сил.

In article necessity of creation of information-operating military-oriented systems is considered. Realisation of the offered approach will allow to create favorable conditions for work official controls and armies and is an innovative direction of development of Armed forces.

Анализ опыта войн и военных конфликтов последнего времени свидетельствует о значительном росте объемов информации, циркулирующих в управленческих сетях противоборствующих сторон. Необходимость обработки огромных информационных массивов в ограниченное время определила одно из важнейших противоречий военного управления – «противоречие между обоснованностью и оперативностью принимаемого решения на применение войск (сил)» [1]. Необходимость преодоления этого противоречия характеризует актуальность и важность решения управленческих задач для обеспечения требуемого уровня развития Вооруженных Сил.

Инновационный путь развития вооруженных сил имеет своей целью повышение эффективности их применения путем внедрения новых технологий (принципов, методов, приемов и т. п.). Повышение эффективности подразумевает, что решаемые задачи выполняются лучше, меньшими силами, быстрее, с меньшим расходом ресурсов. Одним из основных подходов к повышению эффективности является совершенствование информационных технологий сбора, обработки, хранения информации, формирования знаний о складывающейся ситуации, принятия оптимальных управленческих решений, доведения команд и распоряжений до исполнителей и контроля выполнения в реальном масштабе времени.

Опыт показывает, что основным, а может быть и единственным способом реализации указанного подхода, является построение информационно-управляющих систем военного назначения.

В настоящее время существует несколько вариантов понятия информационно-управляющей системы (ИУС). Но наиболее рациональным представляется подход, при котором под ИУС понимается «формальная система обеспечения руководителей информацией, необходимой для принятия решений» [2]. Трансформируя это понятие на управление вооруженным противоборством, можно считать, что ИУС военного назначения (ВН) будет представлять собой *систему обеспечения должностных лиц органов военного управления и войск информацией, необходимой для принятия решений при подготовке и в ходе боевых действий.*

Вполне очевидно, что современная ИУС ВН должна характеризоваться высокой пропускной способностью, информативностью, гибкостью и надежностью [3]. При этом ее основное предназначение будет заключаться в автоматизированном решении управленческих задач на всем пространстве вооруженного противоборства, в любых условиях обстановки, в масштабе времени, близком к реальному.

Достижение обозначенной цели должно опираться на решение ряда задач, к основным из которых можно отнести:

оценку достоверности и актуальности информации, ее доставку потребителям (заявленным и незаявленным), согласование баз данных и знаний;

прогноз последствий выявленных событий;

выработку мер достижения превосходства над противником и предотвращения отрицательного развития ситуации;

приведение в готовность необходимых технических средств всех войсковых структур, реализация мер по выявленным событиям [3].

Практическая реализация ИУС ВН с возможностью выполнения представленных задач однозначно будет связана с преодолением значительных трудностей научно-теоретического, методологического, технического и финансового планов. Преодоление этих трудностей должно опираться на научно обоснованные принципы создания ИУС ВН, к основным из которых можно отнести принципы: последовательности, иерархичности, обеспеченности и интегрированности.

Принцип последовательности предполагает поэтапное движение от простого к сложному, реализуя элементы ИУС ВН на различных уровнях с учетом опыта и возможностей более ранних разработок.

Принцип иерархичности предполагает создание ИУС ВН на различных иерархичных уровнях, начиная от образца вооружения и заканчивая группировками войск на операционных направлениях.

Принцип обеспеченности предполагает необходимость заблаговременного обеспечения процесса реализации в научно-теоретическом, методологическом, кадровом, финансовом и иных аспектах.

Принцип интегрированности предполагает построение ИУС ВН как совокупности элементов более низкого уровня и предназначения в единую систему.

Возможный облик ИУС ВН, реализованный на данных принципах, может иметь вид, представленный на рисунке 1.

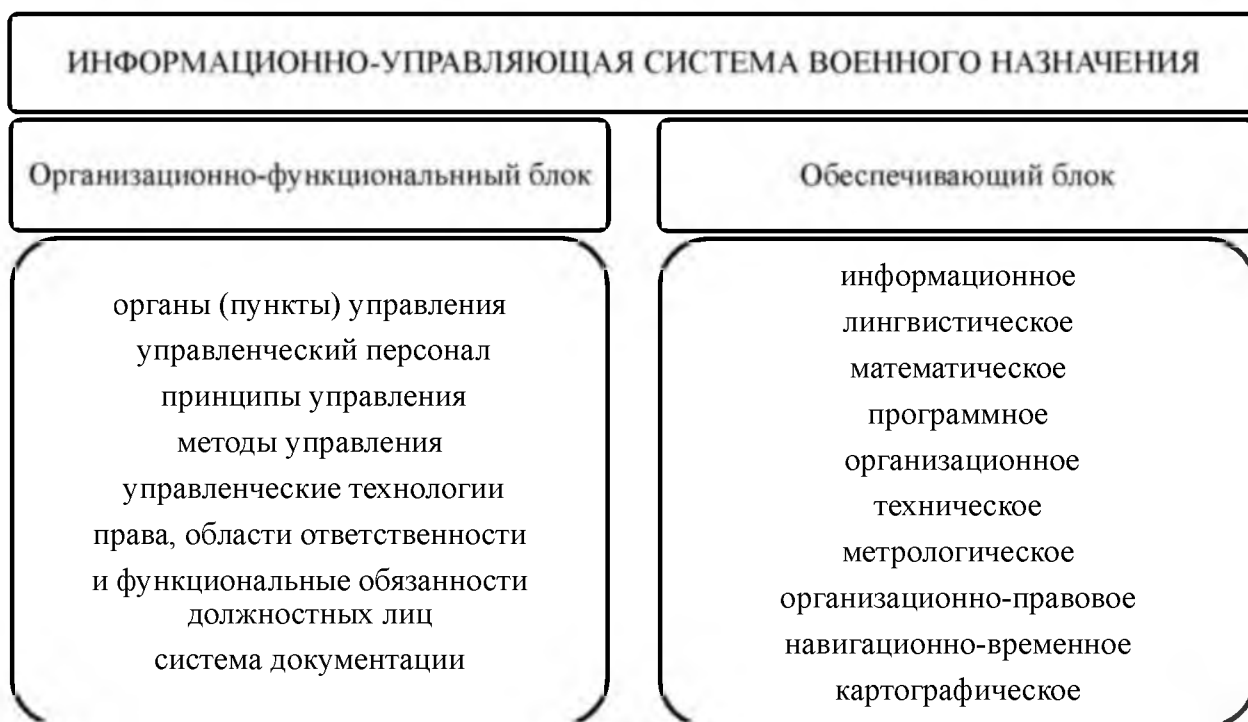


Рисунок 1. – Возможный облик информационно-управляющей системы военного назначения

Для обеспечения возможности реализации задач ИУС ВН целесообразно определить принципы взаимосвязи организационно-функционального блока ИУС, блока обеспечения и программно-аппаратной основы. Во всех вышеперечисленных областях также необходимо

выработать рациональные решения и по возможности стандартизировать их в рамках единой ИУС.

В процессе функционирования ИУС ВН (рисунок 2) для достижения целей операции (боевых действий) на основе информации о складывающейся обстановке (противник, свои силы и средства, соседи, внешняя среда), данных о состоянии обеспечения и объектах инфраструктуры, с учетом имеющихся ограничений и результатов моделирования возможных вариантов развития ситуации должностными лицами принимаются решения, организуется их выполнение, контроль и коррекция действий [4].



Рисунок 2. – Процесс функционирования информационно-управляющей системы военного назначения

Для эффективной деятельности ИУС ВН требуются функциональные подсистемы:

информационная (включая разведывательную) – осуществляет сбор, обработку, хранение и предоставление доступа к информации о противнике, внешней среде, своих и взаимодействующих силах и средствах, объектах инфраструктуры, другой справочной информации, необходимой для выработки решений;

вычислительно-коммуникационная (ВКП) – осуществляет передачу данных, предоставление абонентам интерфейса и сервисов, выполняет системообразующие функции, предоставляя распределенные ресурсы (вычислительные и хранения данных) другим функциональным подсистемам;

моделирующая – выполняет моделирование развития обстановки в целях определения возможных результатов, оценки требуемых ресурсов и пр., необходимое для рассмотрения последствий возможных вариантов решений;

поддержки принятия решения – на основании данных информационной подсистемы с учетом результатов моделирования предоставляет лицам, принимающим решения, возможность оперативного выбора из множества вариантов решения, формирования управляющих воздействий (команд, распоряжений, приказов, сигналов и т. п.), доводимых до управляемых объектов;

контрольно-управляющая – необходима для доведения управляющих воздействий до управляемых объектов, контроля их исполнения и выявления ситуаций, требующих вмешательства вышестоящих органов управления.

На основе принципа интеграции все функциональные подсистемы должны использовать единую программно-аппаратную платформу, архитектура которой могла бы обеспечивать надежность, устойчивость и оперативность системы в целом, удобство применения всеми территориально-распределенными органами управления, осуществление непрерывного развития и наращивания возможностей.

Системно-образующей подсистемой является ВКП, возможный вариант (рисунок 3) которой уже разработан специалистами Военной академии совместно с ОИПИ НАН РБ в ходе выполнения программы «Разработка стратегии и базовых военных технологий, обеспечивающих инновационное развитие Вооруженных Сил РБ» [5].

Предложенный вариант предусматривает использование сервисно-ориентированной архитектуры, позволяющей должностному лицу с имеющимися полномочиями подключаться к системе в любом месте, независимо от типа используемых аппаратных средств, и осуществлять свою деятельность даже в случае разрушения целостности системы.

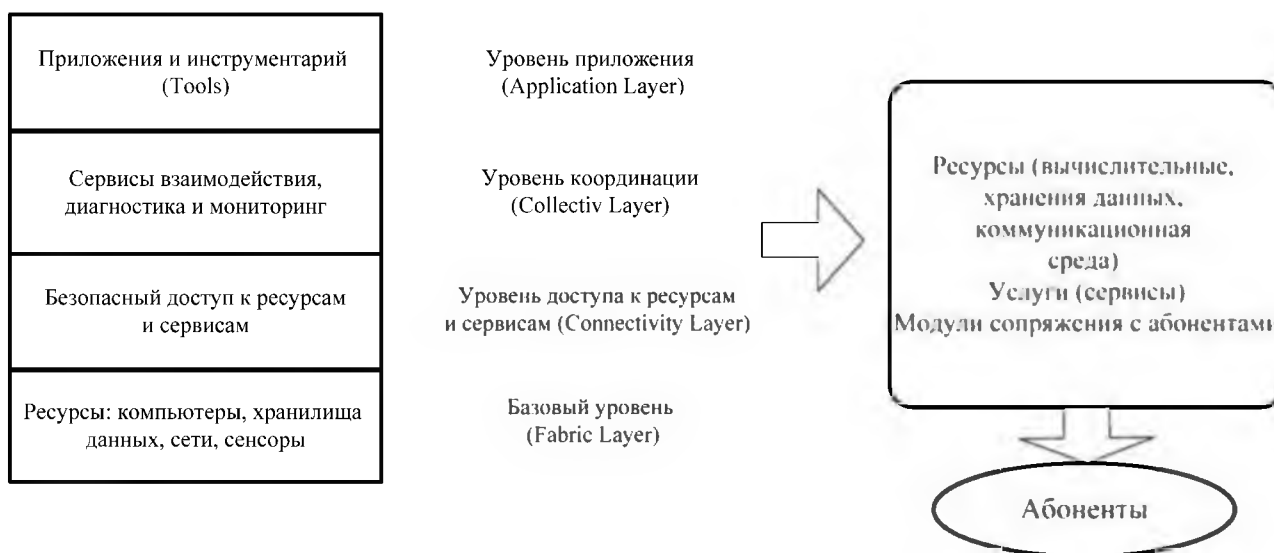


Рисунок 3. – Возможный вариант вычислительно-коммуникационной подсистемы

Архитектура протоколов и сервисов распределенной вычислительной среды, обеспечивающая взаимодействие абонентов с ресурсами и сервисами ВКП, позволяет организовать распределенную работу приложений и использование инструментариев через сервисы взаимодействия, обеспечивая диагностику, мониторинг и безопасность доступа. Ресурсы распределенной сети (компьютеры, хранилища данных и пр.) находятся в общем защищенном доступе, динамически выделяясь для решения текущих задач в соответствии с их приоритетом [6].

Достаточно очевидно, что предложенный подход к возможному облику ИУС ВН нуждается в уточнении и детализации. Решение сложных и многоплановых задач создания невозможно осуществить одномоментным действием. Уже сейчас ясно, что серьезной проработке подлежат вопросы организационно-функциональной части ИУС ВН:

методы оптимизации структуры системы управления к изменениям в складывающейся обстановке;

порядок размещения органов (пунктов) управления на местности и организация распределения функций между ними;

подбор управленческого персонала, организация его деятельности и распределение функций между должностными лицами;

определение принципов и методов управления, соответствующих им управленческих технологий, позволяющих получать наиболее правильные решения за минимальное количество времени с наименьшим расходом ресурсов;

юридически-правовые вопросы, касающиеся прав, области ответственности и функциональных обязанностей должностных лиц;

система документации, включая формы документов, состав содержащейся в них информации и порядок доступа к ней.

Обобщая вышеизложенное, хотелось бы отметить, что рассматриваемая проблема не является краткосрочной или отдаленной. Даже незначительный прогноз развития военного

противоборства в мире показывает актуальность развития информационно-управляющих систем на ближайшие десятилетия. Не видеть этого грозит риском отстать от эвентуальных противников не то что на годы или десятилетия, а навсегда.

Понимание таких рисков есть. Задача заключается в том, что необходимо реализовать накопленный опыт в отдельных направлениях данной области, обобщить и интегрировать имеющиеся многочисленные разработки в этой области. Для их обобщения и интеграции в единое целое необходимо:

сформулировать цели, систему показателей качества и критериев функционирования Вооруженных Сил как надсистемы для ИУС ВН;

осуществить ряд обширных научных исследований по системной интеграции органов военного управления, определению оптимальных принципов и методов управления, соответствующих им управленческих технологий;

провести экспериментальные исследования в области интеграции и комплексирования разнородных сил и средств в рамках единой ИУС;

уточнить положения нормативно-правовой базы в связи с пересмотром подходов к реализации управления войсками (силами) и средствами вооруженной борьбы.

Решение этих задач возможно только на основе проработанных и многосторонних программных подходов.

Список литературы

1. Военное искусство в локальных войнах и военных конфликтах. Вторая половина XX – начало XXI века / под общ. ред. А. С. Рукшина. – М.: Воениздат, 2008. – 764 с.

2. Мескон, М. Основы менеджмента: учеб. пособие / М. Мескон, М. Альберт, Ф. Хедоури; пер. с англ; под ред. Л. И. Евенко. – М.: Дело, 1997. – 704 с.

3. Бородакий, Ю. В. Развитие методологических основ построения информационно-управляющих систем военного назначения / Ю. В. Бородакий // Воен. мысль. – 2009. – № 6. – С. 33–41.

4. Скоков, С. И. Проблемы и направления совершенствования автоматизированного управления подготовкой и ведением военных действий / С. И. Скоков // Воен. мысль. – 2011. – № 9. – С. 61–67.

5. Обоснование облика элементов системы вооружения с учетом особенностей сетцентрических подходов к военным действиям: отчет о НИР «Система» (заключ.) / УО «ВА РБ»; рук. темы С. В. Кругликов. – Минск, 2013. – 108 с. – ДСП. – Инв. № 86454.

6. Копытко, В. К. Проблемы построения единого информационного пространства Вооруженных сил Российской Федерации и возможные пути их решения / В. К. Копытко, В. И. Шептурл // Воен. мысль. – 2011. – № 10. – С. 16–25.

*Сведения об авторах:

Избаш Михаил Юрьевич,

Филипченко Игорь Викторович,

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 10.03.2016 г.

УДК 681.396.96

ВАРИАНТ СИСТЕМЫ ВОЗДУШНО-КОСМИЧЕСКОЙ ОБОРОНЫ

В. В. Кругликов, доктор технических наук, профессор;

И. В. Филипченко, кандидат технических наук*

В статье рассматривается возможный, наиболее эффективный вариант построения системы воздушно-космической обороны. Физически обосновывается возможность решения ранее неразрешимой проблемы ликвидации многозарядных атакующих межконтинентальных баллистических ракет с эффективностью, близкой к единице. Показано также, что комплексирование принципов адаптации с одновременным объединением методов телеуправления зенитной ракеты с ее самонаведением лежит в основе построения зенитной ракетной системы, способной уничтожать с эффективностью, близкой к единице, весь класс существующих баллистических ракет, а также все типы аэродинамических СВН, как пилотируемых, так и беспилотных. Особое внимание уделяется использованию подвижных боевых расчетов в системе ВКО для эффективного уничтожения всех без исключения СВН, действующих в составе МРАУ на предельно низких и низких высотах.

*The article discusses the proposed version of the system of aerospace defense, which has no *Y* analogues in the world. Physically justified by the possibility of solving previously unsolvable problems multiply liquidation attacking ballistic missiles with an efficiency equal to unity. It is also shown that the aggregation principles of adaptation, while the union methods of remote control of anti-aircraft missiles from its homing underlies the construction of air defense missile system capable of destroying with efficiency equal to one entire class of existing ballistic missiles, as well as all types of aerodynamic means of air attack as the manned and unmanned. Particular attention is paid to the use of mobile crews in the air and space defense to effectively destroy any and all means of air attack, operating as part of the massive missile and air strikes in the very low and low altitudes.*

Анализ исторических событий послевоенного периода свидетельствует о непрекращающемся противостоянии СССР (затем России) и блока НАТО, возглавляемого США. Важнейшим направлением такого противостояния является система противоракетной обороны государства. Создание противоракетной обороны СССР, начатое в послевоенный период, явилось важнейшим элементом сдерживания агрессивных устремлений НАТО.

Хронология величайшего научного и трудового героизма такова [1]:

9.08.1950 г. – принятие постановления о разработке зенитно-ракетной системы С-25;

25.07.1951 г. – пробный пуск ракеты на полигоне «Капустин Яр»;

1951–1954 гг. – доработка системы, ее отладка – испытания по реальным целям;

1954 г. – поставка боевых элементов системы С-25 в войска, начало государственных испытаний (с 1 октября);

1955 г. – завершение приемо-сдаточных испытаний всех подмосковных комплексов.

Вокруг Москвы были развернуты в два кольца 56 зенитных ракетных комплексов (зенитных ракетных полков). Одно кольцо (223РК) находилось на расстоянии 45–50 км от центра Москвы, а другое (343РК) на расстоянии 85–90 км. Каждый ЗРК мог одновременно уничтожить 20 целей («летающих крепостей») на дальности 35 км и на высотах до 25 км. Таким образом, система С-25 могла одновременно отразить удар 1 000 любых самолетов. 56 зенитных ракетных полков представляли 1-ю армию ПВО особого назначения, которая в июне 1956 г. была поставлена на постоянное боевое дежурство. Именно в эту 1-ю армию и пошли служить и нести боевое дежурство выпускники первого выпуска МВИРТУ, который состоялся в июне 1956 г.

Однако мечта о мировой гегемонии и по сей день волнует политическое и военное руководство США и НАТО, ведущее непрерывное совершенствование ядерного оружия и средств его доставки, а также пытающееся найти способы защиты от атакующих межконтинентальных баллистических ракет (МБР).

Так как дуэльный вариант борьбы с МБР не имеет перспектив, а способ взаимного уничтожения ни в каком варианте не входит в область национальных интересов, было обращено внимание на переход от космических высот к предельно малым (25–50 м) и малым (150–600 м) высотам. На них и ведется борьба за превосходство в воздухе. В качестве основной ударной силы на этих высотах используются крылатые ракеты, усиленные при массированном применении средствами фронтовой авиации и самолетами-невидимками, оборудованными навигационной аппаратурой для полетов с огибанием рельефа местности и в ночное время.

Массированный ракетный авиационный удар (МРАУ), даже средней интенсивности, на данный момент отразить практически невозможно. Причина такого положения вещей весьма тривиальна и связана с невозможностью управлять силами и средствами противовоздушной обороны непосредственно в ходе отражения удара. Другими словами, складывающаяся ситуация в сфере борьбы за превосходство в воздухе в определенной степени напоминает космический вариант. Но только в определенной, так как особенностью использования предельно малых и малых высот является скрытность применения средств воздушного нападения, обеспечивающая внезапность, непредсказуемость, скоротечность массированного удара. В целях снижения эффективности возможного управления силами и средствами системы противовоздушной обороны агрессор разработал принципы и способы, позволяющие осуществлять требуемое перенацеливание ударных средств непосредственно в ходе нанесения удара.

Решение проблемы отражения массированного удара основано на комплексном использовании необходимых, достаточных, обязательных и когнитивных условий, предложенных авторами и достаточно подробно рассмотренных в монографии [2]. Защитные свойства атмосферы, спасающие планету от высокоскоростных космических тел, сгорающих в атмосфере, могут сыграть основополагающую роль в спасении человечества от ударов межконтинентальных баллистических ракет. С этой целью необходимо будет нарушить абляционное покрытие ядерных головок, составляющих ударную силу ракеты. Решить эту задачу можно, если на пути атакующего облака, состоящего из реальных боевых головных частей, их физических муляжей и имитирующих надувных шаров, расположить облако осколков боевой части и рассыпавшегося корпуса зенитной управляемой ракеты. Встречу составляющих элементов указанных облаков желательно осуществлять в стратосфере или верхних слоях атмосферы. В такой ситуации прямое столкновение головной ядерной части или муляжа с осколком или любой металлической частью корпуса зенитной ракеты вызовет разрушение атакующих элементов, а при касательном столкновении произойдет нарушение абляционного покрытия. И в том и в другом случае указанные нарушения приведут к сгоранию атакующих элементов и их осколков в атмосфере Земли.

Такого типа система противоракетной обороны, не требующая создания специализированных антиракет и обладающая боевой эффективностью, близкой к единице, легко реализуема. Как ни странно, но и в этом случае боевая эффективность противоракетной обороны целиком определяется управленческими аспектами.

Автоматизированная система управления, используя информацию с радиолокаторов дальнего обнаружения, в состоянии определить скорость полета атакующего облака, его направление и время прибытия этого облака в точку встречи с противостоящим облаком, создаваемым противоракетной обороной. Найденное время будет также определять и момент старта зенитных ракет.

Таким образом, предложенный способ перехвата МБР «обычными» малоскоростными, по сравнению с антиракетами, зенитными ракетами, обладая необычайной простотой, обеспечивает небывалую эффективность процесса перехвата. Ну

как тут не восхищаться гением русского хирурга Н. И. Пирогова, повторяя за ним: «Где господствует дух науки, там творится Великое малыми средствами».

После безупречной работы системы воздушно-космической обороны, осуществляющей перехват любого массированного количества ударных космических средств, она также в состоянии идеально осуществлять перехват средств воздушного нападения на малых высотах при массированном их применении. Для этой цели в группировку зенитных ракетных войск смешанного состава вводится группа предложенных боевых расчетов [3], играющих роль мобильных зенитных ракетных комплексов малой дальности. Практическая ценность предложенного варианта мобильного комплекса заключается в простоте его реализации на основе уже имеющегося в Российской Федерации вооружения [4] и военной техники, включающих средства разведки на малых высотах [1].

Применение в составе подвижных боевых расчетов (ПБР) высокоточного оружия, как высокоэффективного средства борьбы на низких высотах, позволяет считать эти расчеты грозным высокоточным, мобильным оружием.

Следует отметить, что необходимые, достаточные и обязательные условия определяют перечень элементов, требующихся для обеспечения работоспособности системы воздушно-космической обороны и выполняющих задачи функционально необходимых элементов. Наличие лишь функционально необходимых элементов не в состоянии обеспечить требуемое качество работы системы, т. е. требуемую боевую эффективность системы воздушно-космической обороны.

В рассматриваемом случае в качестве корректирующих условий желательно, а точнее, просто необходимо использовать когнитивные условия. Когнитивная рационально ментальная сфера знаменита тем, что она складывается в умах участников конфликта. Сфера характеризуется, с одной стороны, такими понятиями, как представление, осознание, понимание, убеждения, ценности, а с другой – процессом принятия решения. Эта сфера, в отличие от физической, практически не поддается количественным оценкам. Успех деятельности здесь во многом зависит от индивидуальных качеств и характеристик личности – генерала, офицера, солдата. Однако именно в этой сфере выигрываются битвы и проигрываются сражения.

В настоящее время военная организация государства, сталкиваясь с множеством вызовов и угроз в сложной динамичной обстановке XXI века, вынуждена адаптироваться, инициируя процесс трансформации военной сферы, частью которой становятся революционные изменения в военном мышлении, организации, доктрине, стратегии и тактике, отражаемые, в частности, в рамках теории сетецентрических войн. Эта теория, признавая, что война по своей природе остается неизменной, дает свое видение войны, объясняет, как формируется и каким образом применяется военная сила в информационную эпоху, оказывая тем самым глубокое влияние на формы организации и проведения войны в XXI веке [5]. При этом следует предупредить, что инерционность человеческого мышления и военных организаций может привести к отказу от военной революции и выбору стратегии модернизации старых систем и подходов. Выбирая путь модернизации, а не назревшей и объективной военной революции, общество всегда стоит перед опасностью оказаться в ситуации, когда оно оценивает возможности своих вооруженных сил относительно предыдущей войны, а не будущей. Только когнитивные условия, воплощающие творчество, талант и способности руководителя-командира, являющегося лидером в процессе управления, будут представлять реальные условия разгрома современного агрессора.

Особенностью современных условий можно считать стремление агрессора обеспечить массированность применения СВКН совместно с разнотипностью и предельно возможной скрытностью. Именно по причине отмеченной особенности ни в одной, даже наиболее развитой стране не создана требуемая ВКО. На данный момент во многих странах имеются системы ПВО, достаточно эффективно действующие против аэродинамических

целей и некоторого класса оперативно-тактических и тактических ракет. Но эти же системы абсолютно бессильны в борьбе с МРАУ современного агрессора и не в состоянии противостоять ударам МБР.

С точки зрения даже теоретического рассмотрения возможности создания системы ПРО дуэльного варианта лишены здравого смысла по двум причинам. Одна причина заключается в невозможности распознавания ядерных боеголовок в космосе, другая – в невозможности отражения удара многозарядной МБР в силу массивности входящих в атмосферу головных частей МБР и их больших скоростей порядка 7,5 км/с. Обе эти причины требуют создания большого количества быстродействующих высокоточных сложных систем управления противоракетами для обеспечения одновременного уничтожения всех СВКН, вошедших в атмосферу Земли.

В глубинах космоса эта невозможность объясняется массивным применением одновременно атакующих ударных ядерных средств под прикрытием абсолютно идентичных ложных, не поддающихся распознаванию. Бесполезность системы ПРО в атмосфере определяется скоротечностью и непредсказуемостью массивного удара из космоса.

МРАУ, предназначенный для выполнения роли первого, а точнее, единственного, глобального обезоруживающего, обеспечивающего превосходство в воздухе, может быть нанесен по ряду государств, представляющих угрозу национальным интересам США. Опасность развития такого рода событий подтверждается успехами агрессивных действий США в Югославии, Ираке, Ливии, а также в ряде других государств.

При этом США и НАТО могут быть уверены в своей безнаказанности, зная о невозможности реального отражения наносимых ими МРАУ. Такая уверенность лежит в основе возможности адекватной замены ударов МБР, контролируемых системой предупреждения ракетного нападения, нанесением МРАУ на предельно малых и малых высотах.

Справедливость указанных предположений США и НАТО проверили при нанесении МРАУ в операции «Одиссея. Рассвет». Невзирая на то, что системой ПВО Ливии управляла АСУ «Сенеж», ПВО Ливии была уничтожена ударами 104 крылатых ракет, что и предопределило судьбу Ливии.

В силу этого США и делают основную ставку в борьбе за мировое господство на первый глобальный обезоруживающий удар. Цель удара – завоевание превосходства в воздухе, без которого немыслимы бесконтактные ВНО, ведущие к планетарному превосходству.

Таким образом, эффективно замыкая контур ВКО на предельно низких и низких высотах, путем ликвидации всех СВН, участвующих в МРАУ агрессора, можно решить проблему, связанную с отражением ударов вероятного агрессора.

Следующим шагом необходимо рассматривать создание перспективной АСУ группировки ЗРВ нового поколения. В современных условиях, особенно при отражении воздушных операций, необходимы АСУ боевыми действиями группировки ЗРВ, играющие роль интеллектуальной поддержки ЛПР (лица, принимающего решение) непосредственно в процессе отражения операции. Разработка такого рода перспективных АСУ должна опираться на глубоко научный подход, всесторонне решающий проблему практической реализации эффективной ВКО. Перспективная АСУ должна позволять ЛПР осуществлять оперативное управление огневыми средствами группировки ЗРВ в целях ликвидации всех атакующих средств из глубин космоса и в воздушном пространстве.

Тонкость разработки перспективной АСУ связана с развитием новейших информационных технологий, позволяющих ЛПР одновременно и оперативно оценивать воздушную и космическую обстановку, осуществлять ее прогнозирование и принимать решения на боевые действия, парируя оперативно-тактические удары агрессора.

Для этого в основу работы АСУ должны быть положены требования представления релевантной информации в удобном для использования виде. Это можно обеспечить

произведя графическим способом объединение информации о воздушно-космической обстановке с данными целераспределения. Тогда ЛПР, взглянув на планшет коллективного пользования, практически мгновенно не только оценивает воздушную обстановку, но и определяет, какие еще усилия необходимо приложить для достижения победы.

Процесс объединения указанных двух видов информации на одном мониторе ЛПР и обеспечивает максимально возможную оперативность управления, что способствует успеху, парировав возможную непредсказуемость агрессора.

Таким образом, информация о старте МБР агрессора, о направлении ее движения в космическом пространстве и всех ее дальнейших действиях поступает на управляющую часть перспективной АСУ. Перспективная АСУ в соответствии с разработанными классическими алгоритмами определяет скорость движения атакующего облака, время его входа в зону ответственности соответствующей группировки ЗРВ, а также время старта зенитных ракет, предназначенных для перехвата атакующего облака в зоне встречи с облаком защиты.

Весь отмеченный процесс теперь уже находится под контролем ЛПР, руководящего ходом боевых действий всей группировки ЗРВ. Именно перспективная АСУ, играющая роль инструмента интеллектуальной поддержки ЛПР, предлагая ему возможный вариант боевого решения, способствует оперативности, творчеству и эффективности управления боевыми действиями группировки ЗРВ в процессе отражения МРАУ.

Новейшие информационные технологии дают возможность представлять релевантную информацию в виде, удобном для боевого использования, обеспечивая практически идеальную эффективность предлагаемой перспективной АСУ при отражении как воздушных и космических массированных ударов, так и группировок наземных сил агрессора.

Решив самую сложную и в то же время кардинальную проблему, связанную с реальной возможностью управления силами и средствами в процессе отражения МРАУ, необходимо решить и вторую проблему, позволяющую обеспечить ликвидацию всех ударных средств современного агрессора.

Возложив всю тяжесть борьбы с атакующими МБР на атмосферу, следует решить техническую задачу по созданию на пути атакующего облака своего защитного облака в верхних слоях атмосферы. Данная задача решается даже на основе стоящих на вооружении современных зенитных ракетных систем. Однако ее предпочтительнее решать применяя принцип структурной адаптации. Он позволяет создавать зенитную ракетную систему или комплекс, имеющие в своем составе различные типы телеуправляемых зенитных ракет для борьбы со всем многообразием СВН, как пилотируемых, так и беспилотных. Комплексируя принцип структурной адаптации [7] с сигнальной, параметрической и кинематической адаптацией [8], а также заканчивая телеуправление, в случае необходимости самонаведением удастся создать систему ВКО предельно высокоточной, помехоустойчивой, непреодолимой для современного агрессора, лишённого фактора внезапности.

Различного типа высокоскоростные телеуправляемые ракеты с мощной боевой частью направленного действия, снабженные головкой самонаведения, в состоянии поражать баллистические ракеты любого класса в воздушной среде на любой высоте и дальности. В свою очередь, тяжелая ракета, даже малоскоростная, но способная по команде, выдаваемой перспективной АСУ, т. е. по команде с Земли, рассыпать в результате подрыва свою объемную боевую часть и специальный рифленый корпус на многочисленные осколки, создавая на пути атакующего облака свое облако из металла в точке встречи с ним, решает проблему уничтожения МБР агрессора. Точка встречи облака защиты с атакующим также контролируется перспективной АСУ путем целенаправленного телеуправления и в случае необходимости включения кинематической адаптации, или головки самонаведения.

Мировая история знакома с примером реально непреодолимой системы ПВО, которая была организована в виде двух колец вокруг Москвы, образованных зенитными ракетными системами С-25 «Беркут». Каждая С-25 представляла собой зенитную систему, способную

одновременно уничтожить двадцать воздушных целей, являясь надежно защищенной в противоатомном отношении. «Беркут» до сих пор не имеет аналогов в мировой практике, а попытки США создать копию такой системы, как «Беркут», не имели успеха. Надо отметить, что ЗУР, входившая в состав «Беркута», могла бы выполнять роль тяжелой ракеты в перспективной ЗРС при соответствующей доработке, так как при вертикальном специально организованном полете она достигала высоты более 110 км.

Непроизвольно напрашивается мысль, что на базе телеуправляемой С-25 можно создать перспективную зенитную ракетную систему на основе бесструктурной адаптации, вводя дополнительно к существующему ракетному каналу еще несколько дополнительных каналов с разнотипными ЗУР, управляемыми перспективной АСУ. В этом случае один полк С-25 превращается в целую дополнительную группировку ЗРВ смешанного состава, способную вести успешные боевые действия против космических и воздушных ударных средств агрессора.

Эффективную борьбу с пилотируемыми и беспилотными аэродинамическими средствами, работающими на предельно малых и малых высотах, с огибанием рельефа местности и в ночное время целесообразно вести смешанными группировками ЗРВ и ПБР. Несомненная польза ПБР заключается в том, что они активно защищают существующие ЗРС и ЗРК, а также командные пункты любого уровня иерархии от крылатых ракет, беспилотников агрессора.

Справедливость сказанного подтверждается подбором боевой техники, входящей в состав ПБР, и требованием взаимозаменяемости операторов личного состава ПБР.

Состав и вооружение ПБР:

- стрелок-оператор переносного зенитного ракетного комплекса (ПЗРК) «Игла-С», «Верба»;
- стрелок-оператор зенитной пулеметной установки (ЗПУ) или ЭУ-23М;
- стрелок-оператор-гранатометчик (-огнеметчик) СПГ-9М, АГС-30, РПГ-29, огнемет «Шмель», пулемет «Корд».

Для вооружения и личного состава используется автотранспорт. Для БПР в целях повышения боевой эффективности желательно использовать под единым управлением 2–3 единицы автотранспорта.

Таким образом, предложенный вариант системы воздушно-космической обороны Союзного Государства Российской Федерации и Республики Беларусь имеет физическое обоснование, математическое подтверждение, а ее основополагающие особенности, связанные с опорой на ЗРВ и обеспечивающие эффективность ВКО, близкую к единице, подтверждены пусками ЗУР на полигоне «Капустин Яр» по реальным целям [5].

Серьезной особенностью рассматриваемой ВКО является также и то, что ее базовой основой служат вооружение и военная техника, имеющиеся в Вооруженных силах Российской Федерации и Республики Беларусь.

В свою очередь, сам процесс массового производства оружия позволяет не только модернизировать, но и создавать новые образцы вооружения, необходимые для ВКО.

Не лишним будет подчеркнуть момент, касающийся важности ПБР, связанной с реальной защитой практически всех основополагающих частей системы ВКО от удара атакующих элементов высокоточного оружия.

Решение проблемы создания перспективной АСУ, играющей роль средства интеллектуальной поддержки ЛПР на боевые действия в процессе отражения МРАУ, невозможно переоценить. Только она позволяет и дает возможность обеспечить успех в бою, операции, сражении, способствуя развитию творческого потенциала как командира, так и боевых расчетов различного уровня иерархии.

Именно принципы адаптации, положенные в основу создания перспективной ЗРС, ставят ее в разряд систем, не имеющих аналогов в мировой практике. Они же свидетельствуют и о том, что вряд ли зарубежные ученые смогут в ближайшее время предложить что-либо похожее в семействе ЗРС. И действительно, предлагаемый авторами

к реализации вариант ВКО будет представлять единственно возможное средство устранения проблемы апокалипсиса, создаваемой правительством США, пытающимся использовать вооруженные силы для мирового господства.

Список литературы

1. Диалектика технологий воздушно-космической обороны / под ред. д-ра техн. наук, проф. В. Н. Минаева. – М.: Столич. энцикл., 2011. – 364 с.
2. Кругликов, С. В. Адаптивные информационно-управляющие системы специального назначения: теория и практика синтеза: моногр. / С. В. Кругликов. – Минск: ВА РБ, 2014. – 232 с.
3. Кругликов, С. В. Способы борьбы с маловысотной составляющей ракетно-авиационного удара: моногр. / С. В. Кругликов, В. В. Кругликов, А. С. Масилевич. – Минск: ВА РБ, 2009. – 152 с.
4. Кругликов, С. В. Защита объектов различного назначения с использованием подвижных боевых расчетов / С. В. Кругликов, В. В. Кругликов // Материалы 9-й воен.-науч. конф. Воен. акад. Респ. Беларусь, Минск, 29–30^омарта 2007 г. / УО «ВА РБ»; отв. за вып. Т. Я. Талейкина. – Минск, 2007. – С. 39.
5. Кругликов, С. В. Адаптивное управление зенитным ракетным оружием / С. В. Кругликов. – Минск: ВА РБ, 2013. – 381 с.
6. Кругликов, В. В. О некоторых аспектах противоракетной обороны / В. В. Кругликов // БелаПАН. Воен. обозрение. – 2000. – № 9 (114), 10(115).
7. Кругликов, С. В. Направления совершенствования воздушно-космической обороны / С. В. Кругликов, В. В. Кругликов // Вестн. Акад. воен. наук. – 2003. – № 4(5). – С. 100–105.
8. Кругликов, В. В. Самонастраивающиеся системы управления с эталонными моделями / В. В. Кругликов, Е. А. Санковский. – Минск: Наука и техника, 1970.

*Сведения об авторах:

Кругликов Владимир Владимирович.

Филипченко Игорь Викторович.

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 22.06.2016 г.

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МИРОТВОРЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГОСУДАРСТВА ПОД ЭГИДОЙ ООН ПРИ УРЕГУЛИРОВАНИИ ВОЕННЫХ КОНФЛИКТОВ

Д. М. Поверенный, кандидат военных наук*

Статья в теоретическом аспекте освещает подход к решению задачи оценки эффективности миротворческой деятельности под эгидой ООН при урегулировании военных конфликтов. На основе метода математического моделирования данный подход позволяет повысить объективность принятия решения при выборе оптимальной стратегии миротворчества, а следовательно, максимально реализовать меры по урегулированию военных конфликтов.

Article highlights the theoretical aspect approach to the problem of assessing the effectiveness of peacekeeping operations under the auspices of the UN in the settlement of armed conflicts. Based on the method of mathematical modeling, the approach allows to increase the objectivity of decision-making when selecting the optimal strategy of peacekeeping, and consequently, make the most of the measures for the settlement of the military conflict.

Военные конфликты, происшедшие в конце XX – начале XXI в., заставляют пересмотреть и дополнить многие военно-теоретические концепции применения силовых структур и других институтов государства в кризисных ситуациях, включая реагирование на военно-политические кризисы и урегулирование военных конфликтов. Свидетельством этого является все более широкое использование в подобных ситуациях политических механизмов и международных, региональных и национальных воинских контингентов по поддержанию мира, или миротворческих сил. В настоящее время многолетний опыт проведения традиционных операций по поддержанию мира под эгидой ООН пополнился опытом организации и проведения комплексных миротворческих операций, включая операции с элементами военного принуждения и операции по принуждению к миру силами региональных организаций (ОБСЕ, ЕС, НАТО, СНГ и др.) или коалиций государств.

Для государств из состава бывших советских республик проблема миротворчества в ее теоретическом и практическом аспектах чрезвычайно актуальна в связи с тем, что после распада СССР и образования новых независимых государств они неоднократно становились участниками процессов по урегулированию военно-политических кризисов и вооруженных конфликтов на постсоветском пространстве. Кроме того, начиная с 90-х гг. прошлого века миротворческие контингенты из стран СНГ неоднократно входили в состав многонациональных международных сил по восстановлению и поддержанию мира в различных уголках земного шара.

События последних лет наглядно показали, что конфликты на просторах СНГ вспыхивают в неожиданных местах и с новой силой, к тому же, обеспечить безопасность от современных угроз в одиночку не в состоянии ни одна страна в мире. Региональные организации и государства все больше вовлекаются в миротворческую деятельность, и существуют основания полагать, что эта практика будет расширяться. Важно отметить, что миротворчество, помимо достижения главной своей цели – разрешение конфликта, позволяет государству, участвующему в данном процессе, решить ряд задач во внешней политике, существенно повысить престиж страны на мировой арене и, кроме того, содействует обеспечению военной безопасности.

Рассмотрение условий формирования и самого содержания внешней политики государства в области миротворчества, а также изучение принципов деятельности, находящихся в распоряжении политического и военного руководства инструментов и опыта обуславливаются в первую очередь дальнейшим развитием подходов Республики Беларусь к участию в деятельности по поддержанию международного мира и безопасности. Осмысление предыдущего опыта миротворческой деятельности Республики Беларусь и ряда стран позволит в будущем на стратегическом уровне разработать национальную концепцию

миротворчества, дополнив ее на оперативно-тактическом уровне соответствующим анализом взглядов на организационную структуру сил и средств, а также положениями уставов и других нормативных документов.

Задача оценки эффективности миротворческой деятельности является одной из важнейших в разрешении проблемы урегулирования современного военного конфликта. Зарубежными и отечественными учеными уделяется достаточно внимания ее решению, в том числе с использованием математических подходов, применяющих комплексные показатели эффективности. Эти показатели, как правило, прямо или опосредованно учитывают: достижение целей и продолжительность миротворческих действий, людские потери миротворческих контингентов и местного населения, расход материальных ресурсов миротворческих сил и т. п. В то же время миротворческая деятельность, как сложный социальный процесс, и ожидаемый от нее результат подчиняются стохастическим законам, описывающим вероятностные процессы, происходящие в системе международных отношений.

Задача оценки эффективности миротворческой деятельности связана не только с детальной оценкой качественных и количественных показателей, характеризующих прогнозируемый результат, но и с выбором и применением той или иной стратегии миротворчества. В данном случае под *стратегией миротворчества* понимается общий план деятельности государства и его институтов по участию в миротворческой деятельности при урегулировании того или иного военного конфликта.

Получение оптимального плана предполагает, прежде всего, исследование и оценку результатов тех или иных его вариантов, разработанных применительно к условиям урегулирования военного конфликта. Одним из перспективных подходов к проведению таких исследований является математическое моделирование [1, 2]. В основу оценки эффективности миротворческой деятельности предлагается положить вероятностную модель, имитирующую процесс изменения состояния урегулирования военного конфликта от применения избранной стратегии миротворчества.

В соответствии с целевым предназначением на модель возлагается: предсказательная функция, которая в первую очередь должна обеспечить достаточно точный прогноз достижения цели миротворческой деятельности, а также функция планирования и управления [3].

Результат миротворческой деятельности представляет собой одно из трех прогнозируемых или реально достигнутых состояний конфликта: предотвращение его эскалации, заморозку или разрешение.

Вместе с тем наибольшей эффективности миротворческая деятельность достигнет, если будет осуществляться в различных видах с максимальным комплексом присущих ей мер. В таком случае, чтобы объективно оценить эффективность миротворческой деятельности в конкретных условиях, необходимо связать количественную величину принимаемых мер с изменением качественного состояния урегулирования конфликта. Такое состояние после осуществления данных мер можно охарактеризовать двумя параметрами: состоянием урегулирования конфликта и временем нахождения его в данном состоянии. Очевидно, что более точной характеристикой результата миротворческой деятельности, непосредственно отражающей его физическую сущность, является состояние урегулирования военного конфликта.

Изменение состояния урегулирования военного конфликта целесообразно рассматривать как целенаправленный процесс, протекающий в системе F , которая является подсистемой сложной динамической системы международных отношений. В структуре системы F при этом выделяются: миротворческая деятельность ООН (система $S \subset F$); военный конфликт (система $Q \subset F$); совокупность видов миротворческой деятельности ООН (система $\Omega \subset F$). Система Ω также является частью системы S ($\Omega \subset S$). В состав систем S и Q , в свою очередь, входят различные функциональные подсистемы. Концепция модели предполагает, что состав этих подсистем может быть различным и определяется спецификой

исследуемого процесса. Конкретизироваться они будут по мере необходимости описания отдельных блоков модели. Исследуемая в процессе моделирования структура системы международных отношений, складывающихся при урегулировании военного конфликта, показана на рисунке 1.

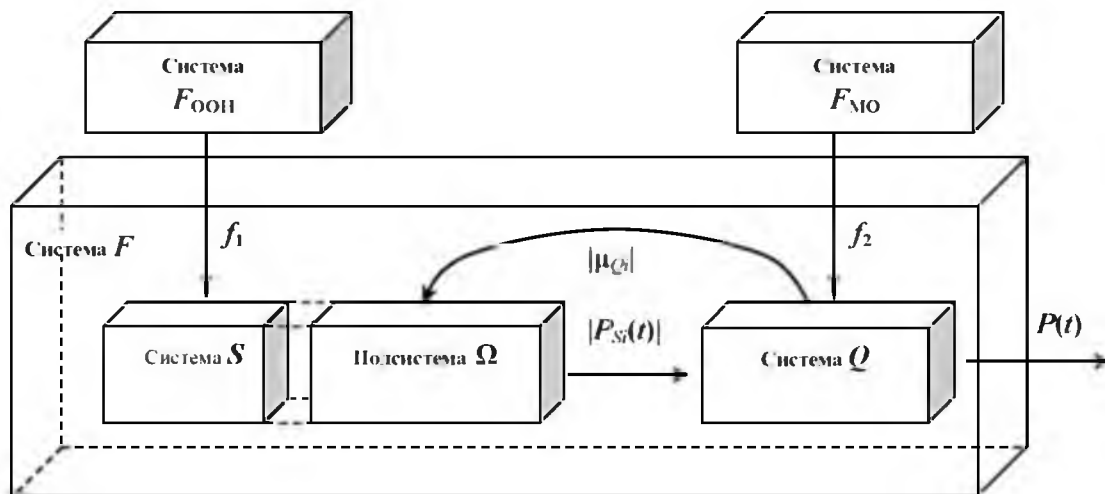


Рисунок 1. – Схема моделирования процесса урегулирования военного конфликта

С учетом приведенной структуры исследуемый процесс изменения состояния урегулирования военного конфликта может быть представлен как последовательность смены состояний системы Q , обусловленная, с одной стороны, ее внутренней логикой поведения, а с другой – внешними воздействиями со стороны системы S и внешних условий $F_{МО}$. При этом для достижения целей исследования взаимные воздействия систем целесообразно рассматривать с точки зрения управления функционированием системы $S \subset F$ в целях максимизации эффекта ее воздействия на систему $Q \subset F$. Основным каналом такого управления является: изменение количественно-качественного элементарного состава системы S путем количественного изменения подсистемы Ω .

Интерпретация процессов, протекающих в системе F (см. рисунок 1), следующая. Процесс, протекающий в системе Q (военный конфликт), включает $|\mu_{Qi}|$ – проявления свойств конфликта. На систему Q , в свою очередь, оказывает влияние:

система S , воздействующая предпринятыми мерами различных видов миротворческой деятельности (подсистема Ω) на состояние урегулирования военного конфликта $|\mu_{Si}(t)|$;

система $F_{МО}$ – международных (межгосударственных) отношений, создающая условия f_2 – геополитическое и геостратегическое положение государств; экономический, социальный и политический уровень развития конфликтующих сторон; причина зарождения конфликта и этапы его прохождения на момент его урегулирования международными организациями; адекватность и своевременность действий международных организаций по урегулированию конфликта; статус конфликтующих сторон в соответствии с международными законами и т. д.

Влияние системы $F_{ООН}$ – Организации Объединенных Наций – на систему S учитывается в процессе f_1 – применение всего миротворческого потенциала ООН от нормативно-правовой базы до имеющегося персонала.

Представление процесса моделирования в виде описанной блок-схемы в сочетании с предложенной трактовкой связей отражает основное содержание и диалектическую взаимосвязь процессов, происходящих в системах Q , S и в системе F в целом. Это позволяет корректно учесть принятые при переходе от реальных систем и процессов к их моделям допущения и является основой для формирования вероятностной модели. Так, на основе схематизации изменения состояния урегулирования военного конфликта, как динамического процесса взаимодействия в определенных аспектах выделенных систем и подсистем, целесообразно вероятностную модель строить в виде совокупности соответствующих этим

системам и подсистемам взаимосвязанных субмоделей. В формальном описании таких подсистем следует исходить из концепции «вход – состояние – выход», лежащей в основе теории сложных динамических систем [4].

При описании структуры подсистем модели учитывалось, что процессы, влияющие на изменение состояния урегулирования военного конфликта, проявляются через множество неопределенностей. Подобные неопределенности порождаются как действием случайных факторов (социальных процессов и т. п.), так и внутренним управлением процессами функционирования подсистем. При этом неопределенность, обусловленная процессами управления системой миротворческой деятельности S , снималась путем допущения, что система $F_{\text{ООН}}$ функционирует оптимальным образом.

Стохастическая неопределенность обусловила необходимость и целесообразность использования вероятностной меры оценки состояния системы Q на множестве возможных значений состояний системы S и ее подсистем. В целом математическая модель системы F – урегулирования военного конфликта – представляет собой математический аппарат, описывающий взаимные воздействия систем в интересах определения вероятностной меры эффективности миротворческой деятельности.

В настоящее время миротворческая деятельность ООН рассматривается не просто как набор установленных видов деятельности, направленных на *предотвращение конфликта, установление мира, поддержание мира, принуждение к миру и миростроительство*. Как показала практика, данные виды нечасто реализуются последовательно, в строгой очередности, но они носят взаимоусиливающий характер. Границы между этими видами и составляющими их мерами становятся все более размытыми. Осуществление отдельных мер независимо друг от друга не позволяет применить комплексный подход, необходимый для выявления первопричин конфликта и снижения риска повторного возникновения конфликтной ситуации. В современных условиях миротворческие операции, как правило, выходят за рамки одного вида деятельности и, хотя основной задачей операций ООН по поддержанию мира является обеспечение прекращения огня или заключение мирного соглашения, миротворцы нередко привлекаются к деятельности по установлению мира и решению задач в области миростроительства на начальном этапе.

Таким образом, осуществление *многопрофильных* миротворческих операций содействует политическому процессу, обеспечивает защиту гражданских лиц, ускоряет процесс разоружения, демобилизации и реинтеграции в гражданское общество бывших комбатантов, оказывает помощь в проведении выборов новой власти, обеспечивает защиту и поощрение прав человека и оказывает помощь в восстановлении законности на постконфликтной территории [5].

На основе данного принципа при исследовании предлагается рассматривать миротворческую деятельность как многопрофильную миротворческую операцию, т. е. как систему, состоящую из функционально взаимосвязанных подсистем, соответствующих пяти основным видам миротворческой деятельности. Каждая подсистема, в свою очередь, рассматривается как совокупность однотипных и, при определенных условиях, статически однородных элементов – мер в рамках одного вида деятельности. Однотипность означает, что элементы подсистем имеют одинаковые состав, структуру и являются для исполнителей мерами одного типа. Статическая однородность означает, что элементы одной подсистемы имеют одинаковые множества возможных состояний, одинаковые начальные состояния и одинаковые вероятности и интенсивности переходов из одного состояния в другое. Допущение о статической однородности элементов применяется в условиях отсутствия данных, необходимых для определения характеристик состояния урегулирования военного конфликта, с учетом каждой конкретной меры того или иного вида деятельности.

Общий подход к оценке эффективности миротворческой деятельности предполагает, что в определенных условиях некоторое количество мер является критичным для соответствующего вида миротворческой деятельности, которую они составляют, т. е. с их выполнением данный вид деятельности достигает своей цели. В свою очередь,

достижение цели одним или несколькими видами деятельности является критичным для миротворческой деятельности в целом.

Изменение состояния каждого элемента, подсистем и системы зависит от ряда условий и факторов, имеющих случайный характер. Изменение также носит случайный характер и может быть представлено в виде случайного процесса с дискретным множеством состояний [6]. В модели состояние системы S описывается посредством величин, характеризующих состояния входящих в нее подсистем, состояния подсистем – через величины, характеризующие количество и состояния их элементов. Все упомянутые состояния оцениваются с точки зрения мер исполнения и достижения поставленной цели, видов и деятельности как системы.

Для описания процесса изменения состояний урегулирования военного конфликта предлагается использовать математический аппарат, разработанный в теории вероятностей для марковских случайных процессов [7]. Суть подхода заключается в том, что переход подсистем и системы из одного состояния в другое представляется в виде случайного процесса с дискретными состояниями и дискретным временем. Для системы в соответствии с общим подходом к оценке эффективности миротворческой деятельности определяется множество возможных состояний. Для каждого интервала времени моделирования, соответствующего шагу перехода, определяется вектор вероятностей начальных состояний и матрица переходных вероятностей за интервал времени моделирования. Поскольку вероятности перехода меняются от шага к шагу, то для определения вероятностей состояний после k -го шага используется формула для неоднородной марковской цепи [7]:

$$P_i^{(k)} = \sum_{j=1}^n P_j^{(k-1)} P_{ij}^{(k)}, \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (1)$$

где $P_{ij}^{(k)} = P(S_i^{(k)} / S_j^{(k-1)})$ – условная вероятность перехода системы из состояния S_j в состояние S_i на k -м шаге; $p_j^{(k-1)}$ – вероятность состояния после $(k-1)$ -го шага.

Для упрощения вычислений в модели используется свойство

$$\sum_i P_i^{(k)} = 1, \quad (2)$$

которое означает, что в любой момент времени рассматриваемая система (подсистема, элемент) может находиться только в одном из возможных состояний.

Таким образом, в соответствии с выражением (2), на первом этапе миротворческая деятельность представляется как система S , достижение цели которой в любой момент времени t может пребывать в одном из двух состояний: достигнута либо не достигнута.

После декомпозиции системы S дальнейшие действия основываются на следующих рассуждениях: достижение цели миротворческой деятельности зависит от достижения целей ее видами. Виды деятельности, в свою очередь, также могут находиться в одном из двух состояний – цель вида деятельности достигнута или не достигнута, которые определяются относительным количеством выполненных присущих им мер. Введем обозначения для состояний подсистем: 0 – цель не достигнута и 1 – цель достигнута. Тогда можно утверждать, что состояние системы S полностью описывается множеством возможных комбинаций состояний подсистем (рисунок 2).

« Z^n » – количество возможных
состояний системы

$$S = \left\{ S_{0...00}, S_{0...01}, S_{0...10}, \dots, S_{1...11} \right\}$$

« n » – количество
подсистем

Рисунок 2. – Множество возможных состояний системы S

Следовательно, с начала миротворческой деятельности она в любой момент времени может находиться в одном из вышеуказанных состояний, определяемых соответствующей комбинацией состояний подсистем, а выражение (1) позволяет получить численное значение вероятности пребывания системы в этих состояниях.

На следующем этапе определяется возможность урегулирования военного конфликта в зависимости от выбранной стратегии миротворчества и установленной цели миротворческой деятельности. Предварительные исследования показывают следующее соответствие значений показателя эффективности ожидаемым результатам: до 0,3 – предотвращение эскалации военного конфликта; 0,3...0,7 – конфликт заморожен; более 0,7 – конфликт разрешен.

Общей целью миротворческой деятельности является разрешение военного конфликта. Данная цель реализуется через достижение частных целей и решение задач видов миротворческой деятельности, которые достигаются выполнением ряда мер, составляющих указанные виды. На основе взаимосвязи целей и задач миротворческой деятельности представляется возможным сделать заключение, что достижению частных целей на рассматриваемый момент времени будут соответствовать определенные возможные состояния урегулирования военного конфликта. Оценка вероятности перехода в данные состояния в результате выполнения комплекса мер позволяет сделать вывод об эффективности миротворческой деятельности, стратегии миротворчества и возможности полного урегулирования военного конфликта.

Таким образом, предлагаемый подход позволяет связать в единую логическую цепочку общую цель миротворческой деятельности, частные цели и меры видов миротворческой деятельности, а также состояние урегулирования военного конфликта. Все это в итоге может обеспечить повышение объективности принятия решения при выборе оптимальной стратегии миротворчества, а следовательно, увеличит эффективность миротворческой деятельности.

Список литературы

1. Ануреев, И. И. Применение математических методов в военном деле / И. И. Ануреев, А. Е. Татарченко. – М.: Воениздат, 1967. – 243 с.
2. Чуев, Ю. В. Исследование операций в военном деле / Ю. В. Чуев. – М.: Воениздат, 1970. – 280 с.
3. Поленин, В. И. Применение вероятностных моделей при планировании операций / В. И. Поленин // Воен. мысль. – 2004. – № 3. – С. 33–37.
4. Месарович, М. Общая теория систем: математические основы / М. Месарович, Я. Такаха. – М.: Мир, 1978. – 311 с.
5. Официальный сайт ООН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.un.org/ru/peacekeeping/operations/pkmandates.shtml>. – Дата доступа: 27.04.2016.
6. Абчук, В. А. Справочник по исследованию операций / В. А. Абчук, Ф. А. Матвейчук, Л. П. Томашевский; под общ. ред. Ф. А. Матвейчука. – М.: Воениздат, 1979. – 368 с.
7. Справочник по вероятностным расчетам / Г. Г. Абезгауз [и др.]; под общ. ред. Г. Г. Абезгауза. – 2-е изд. – М.: Воениздат, 1970. – 536 с.

*Сведения об авторе:

Поверенный Дмитрий Михайлович.

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 23.05.20016 г.

УДК. 355.23

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ВОЕННО-МОРСКИХ СИЛ

Ш. А. Ходжаев*

В статье обосновывается необходимость создания в Туркменистане рациональной системы подготовки специалистов для Военно-морских сил. Приводится совокупность аналитических показателей, характеризующих эффективность функционирования такой системы в течение некоторого периода времени.

In article the analytical substantiation of necessity of creation in Turkmenistan rational system of ensuring by experts for the Naval Forces is resulted. Set of the indicators characterizing efficiency of functioning of such system in a current of some interval of time is resulted.

Происходящие в настоящее время в Туркменистане социально-экономические, политические и нормативно-правовые изменения обусловили необходимость реформирования всех сфер деятельности государства, в том числе и в области строительства Вооруженных сил и Военно-морских сил (ВМС).

Военно-морские силы – особый «организм». Как вид Вооруженных сил, они являются наиболее наукоемкими. Их развитие требует продуманной кораблестроительной программы, совершенствования образовательного процесса и непрерывной работы научного комплекса. В связи с этим цели строительства и развития ВМС не могут быть достигнуты без совершенствования системы обеспечения специалистами для ВМС, строительства и развития соответствующей учебно-материальной базы.

С учетом вышеизложенного актуальной научной и практической задачей для Туркменистана является разработка рациональной системы подготовки специалистов (СПС) для ВМС. Такая система должна обеспечить постоянное динамическое укомплектование учебных заведений ВМС потребным численным составом с необходимым качеством подготовки учащихся, набором специальностей и с учетом ресурсных ограничений.

Как известно, анализ поведения и оценка эффективности функционирования подобных сложных организационных систем осуществляются в рамках теории системного анализа [1]. Для того чтобы можно было своевременно принимать решения по управлению и корректировке поведения СПС и повышению эффективности системы в условиях неблагоприятного воздействия внешних факторов, необходимо уметь прогнозировать ее будущее состояние. Целью прогнозирования поведения СПС ВМС является своевременное предупреждение о нежелательных ее состояниях и о необходимости применения таких «рабочих режимов ее функционирования», которые наилучшим образом отвечают задаче обеспечения заданной эффективности.

Рассмотрим процесс функционирования СПС на некотором интервале T , лет. Основной целью такой СПС является укомплектование ВМС потребным численным составом специалистов с необходимым качеством подготовки по требуемым специальностям.

Для создания и развития высокоэффективной СПС следует выбрать систему показателей, обеспечивающую выполнение необходимого комплекса работ, как это сделано в [2].

Система подготовки специалистов должна достаточно устойчиво функционировать на протяжении T , лет, т. е. обеспечивать отсутствие *резких изменений* в потребности специалистов.

Обозначим списочный численный состав специалистов в t -м году ($t = 1, \dots, T$) по i -й специальности ($i = 1, \dots, I$) через C_i^t . Соответственно, штатную численность специалистов по i -й специальности в t -м году обозначим через $C_{шт}^t$.

Тогда за показатель *укомплектованности* специалистами по i -й специальности в текущем t -м году может быть принято отношение

$$w_i^t = \frac{C_i^t}{C \sum w_i^t}, \quad i = 1, \dots, I. \quad (1)$$

Вектор $W^t(w_1^t, \dots, w_I^t)$ характеризует степень укомплектованности специалистами по всем специальностям в t -м году.

Из выражения (1) следует, что чем ближе величины w_i^t , $i = 1, \dots, I$ к единице, тем лучше укомплектованность специалистами по соответствующей i -й специальности.

Как показывает опыт практической работы, приемлемыми значениями укомплектованности специалистами являются значения в диапазоне $[0,7; 1]$.

При оценке укомплектованности специалистами по i -й специальности в течение периода T в качестве ее показателя предлагается использовать среднюю арифметическую величину

$$m_i = \frac{\sum w_i^t}{T}, \quad i = 1, \dots, I.$$

Не все специальности являются одинаково важными при принятии ответственных решений по их укомплектованию [3]. Поэтому предлагается ввести весовые коэффициенты v_1, \dots, v_I , характеризующие приоритетность каждой специальности относительно друг друга. При выборе весовых коэффициентов необходимо обеспечить выполнение равенства

$$\sum v_i = 1$$

С учетом вышеизложенного средневзвешенная укомплектованность специалистами всех специальностей ВМС на интервале времени T , лет примет значение

$$M = \frac{\sum v_i m_i}{I}. \quad (2)$$

Часто на практике значения w_i^t могут не соответствовать диапазону $[0,7; 1]$. Поэтому в качестве *дополнительного показателя укомплектованности* специалистами ВМС целесообразно использовать среднюю частоту принадлежности величин w_i^t ($i = 1, \dots, I$) приемлемым значениям на интервале времени T , лет [2], т. е.

$$F_y = \frac{\sum a_i^t}{IT},$$

где a_i^t – число случаев соответствия w_i^t интервалу приемлемых значений $[0,7; 1]$ по i -й специальности в t -м году, $i = 1, \dots, I$, $t = 1, \dots, T$.

Лучшей организации СПС соответствует большее значение F_y .

Качество подготовки специалистов можно охарактеризовать с помощью показателя уровня подготовленности офицеров по предназначению, который выражается величиной среднего балла q_i^t выпускников в текущем году по i -й специальности, $i = 1, \dots, I$, $t = 1, \dots, T$. Тогда средневзвешенный по всем специальностям (с учетом их приоритетности) уровень подготовленности на интервале T , лет примет значение

$$Q = \frac{\sum v_i q_i^t}{IT}. \quad (3)$$

Обозначим некоторый наименьший допустимый уровень подготовленности специалистов по i -й специальности через $Q_{дл}$. Тогда дополнительной важной характеристикой качества подготовки специалистов может быть принята величина, представляющая собой среднюю частоту событий превышения q_i^t над $Q_{дл}$ на интервале T , лет по всем специальностям, т. е.

$$F_q = \frac{\sum b_i^t}{IT},$$

где $b_i^t = 1$, если уровень подготовленности специалистов по i -й специальности в текущем t -м году выше минимально допустимого $Q_{д}$, $i = 1, \dots, I$, $t = 1, \dots, T$,
иначе $b_i^t = 0$.

При этом лучшей организации СПС соответствует большее значение F_q .

Ресурсные *затраты* на подготовку специалистов по i -й специальности в текущем t -м году обозначим через r_i^t , манат. Тогда показатель суммарных затрат на подготовку специалистов по всем специальностям на интервале T , лет примет значение

$$R_c = \sum_{i,t} r_i^t.$$

Показатель средних приведенных затрат на подготовку специалистов по всем специальностям на интервале T , лет примет значение

$$R_{п} = \frac{R_c}{IT}. \quad (4)$$

Противоположностью затраченных ресурсов являются сохраненные ресурсы. Они определяются разностью между максимально возможным значением затрат и фактическими затратами, т. е.

$$R_{э} = R_{\max} - R_c,$$

где R_{\max} – величина максимальных ресурсов, выделяемых на подготовку на интервале времени T , лет.

Величина представленных сохраненных ресурсов наиболее полно характеризует затраты на подготовку специалистов

$$R_{пэ} = \frac{R_{э}}{R_{\max}}.$$

Полученная векторная система показателей, компонентами которой являются: средневзвешенная укомплектованность ВМС специалистами M , средняя частота F_y , средневзвешенный по всем специальностям уровень Q подготовленности специалистов, средняя частота событий F_q , средние приведенные затраты $R_{п}$ на подготовку специалистов и приведенные сохраненные ресурсы $R_{пэ}$, – достаточно полно и точно описывает различные варианты построения СПС для ВМФ на интервале времени T , лет.

Следует обратить внимание на то, что предложенные выше показатели изменяются в интервале $[0,1]$, и их увеличение соответствует улучшению СПС. Поэтому в качестве интегрального показателя \mathcal{E} эффективности СПС предлагается принять их мультипликативную свертку в виде

$$\mathcal{E} = M Q R_{пэ} F_y F_q \cdot 100\%. \quad (5)$$

Выражение (5) позволяет рассчитать эффективность существующей системы подготовки специалистов для ВМС.

На основе полученных показателей возможно проведение детального исследования влияния внешних факторов на прогноз будущих состояний создаваемой в Туркменистане СПС для ВМС. Таким образом можно эффективно управлять процессом подготовки специалистов.

Список литературы

1. Шаракшанэ, А. С. Сложные системы / А. С. Шаракшанэ, И. Г. Железнов, А. А. Иваницкий. – М.: Высш. шк., 1977. – 64 с.
2. Гутковский, А. И. Оценка эффективности методик определения объема и структуры заказа на подготовку офицерских кадров / А. И. Гутковский, Ю. А. Семашко // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2011. – № 1. – С. 149–156.
3. Ревенко, А. В. Оценка влияния качества отбора должностных лиц командования и штаба отдельной механизированной бригады на эффективность функционирования системы управления / А. В. Ревенко, С. В. Кругликов // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2009. – № 3 (24). – С. 15–23.

*Сведения об авторе:

Ходжаев Шамухаммет Атаевич,
начальник Управления ВМС ВС Туркменистана.
Статья поступила в редакцию 18.04.2016 г.

УДК 355.4

ТРАНСФОРМАЦИЯ ЦЕЛЕЙ И ЗАДАЧ СПЕЦИАЛЬНЫХ ДЕЙСТВИЙ В ВОЙНАХ И ВООРУЖЕННЫХ КОНФЛИКТАХ ВТОРОЙ ПОЛОВИНЫ XX ВЕКА

В. И. Шатько, кандидат военных наук, профессор;

С. В. Попов, кандидат военных наук, доцент;

И. В. Панасюк*

В данной статье анализируются специальные действия в войнах и вооруженных конфликтах второй половины XX в., показывается возрастание их роли и значения в вооруженном противоборстве, исследуется трансформация их целей и задач в разные периоды времени в различных государствах.

In this article specific actions in wars and armed conflicts of the second half of the XX century are analyzed, an increase of their role and importance in armed confrontation is showed, the transformation of their goals and objectives at different times in different countries is explored.

В последние десятилетия значительно возрос интерес к специальным войсковым действиям, поскольку они показали большую свою эффективность. В настоящее время активно ведется поиск новых форм и способов их применения вооруженными силами практически всех государств мира. Особого внимания заслуживает опыт специальных действий в войнах и вооруженных конфликтах второй половины XX в.

После окончания Второй мировой войны силы специального назначения стран антигитлеровской коалиции насчитывали в общей сумме более полумиллиона человек [9]. Однако, несмотря на то, что в годы войны они зарекомендовали себя как важная необходимая часть вооруженных сил, со второй половины 40-х гг. их роль снижается. Специальные действия не рассматриваются как отдельный вид боевых действий. Поэтому в армиях США, Великобритании, Франции большинство спецподразделений были сокращены.

Советские военные специалисты также отвергли идею сохранения своих войск спецназначения, поскольку не смогли оценить в полной мере их место в вооруженной борьбе в годы Второй мировой войны.

Только в 1950 г. начальник Исследовательского института инженерных войск генерал-майор В. К. Харченко поднял вопрос о роли специальных действий в войне. В качестве аргументов он приводит опыт боевой деятельности советских разведывательно-диверсионных отрядов и аналогичных зарубежных формирований (немецкий «Бранденбург» и английские «Коммандос») в годы Второй мировой войны.

К этому времени в Вооруженных Силах СССР имелись лишь роты спецназначения, по одной в составе общевойсковых армий. Их планировали использовать для ведения разведывательно-диверсионных действий в ближнем тылу вражеских войск. На данные подразделения были возложены функции по вскрытию и выводу из строя важных объектов и затруднению действий группировок войск противника на удалении 50–80 км от линии фронта.

Но генерал-майор В. К. Харченко предлагал создать подразделения для проведения диверсий в сотнях километров от линии фронта. В первую очередь они были нацелены на борьбу с ядерным оружием. И, благодаря настойчивости Харченко, в период проведения учений с применением ядерного оружия на Тоцком полигоне в 1954 г. созданные по его инициативе спецгруппы наглядно продемонстрировали возможности по уничтожению ядерных боеприпасов и средств их доставки в процессе подготовки к использованию [9].

Начало второй половины XX в. ознаменовалось чередой локальных войн и вооруженных конфликтов по всему миру. В ходе этих войн вооруженная борьба велась, как правило, регулярными войсками с одной стороны и иррегулярными формированиями – с другой. Эти войны отличались тем, что в них часто отсутствовала сплошная линия фронта, а основными формами боевых действий были партизанские и противопартизанские (карательные) операции, в которых редко использовались традиционные виды боевых действий – наступление и оборона [10].

Примером являются войны в Индокитае, Юго-Восточной Азии. Там англичане и французы держали значительные военные силы, подавляя национально-освободительное движение, вели борьбу с повстанческими отрядами. С целью добиться успеха в этой борьбе военное руководство Франции и Великобритании пошло на повторное формирование спецподразделений и широкое ведение специальных действий. Так, для выполнения специальных задач стали применяться подразделения парашютистов и морской пехоты, которые выполняли полицейские и антипартизанские функции.

Во время войны в Корее (1950–1953) американцы одновременно с применением тактических воздушных и морских десантов широко использовали диверсионные группы, которые вели специальные демонстративные, разведывательно-диверсионные и отвлекающие действия.

В конце 50-х гг., когда английские командос выполняли задачи на юге Аравийского полуострова в войне против арабских повстанцев в Адене (Южный Йемен), основными формами их применения были контрдиверсионные действия [9].

Таким образом, опыт локальных войн в период с 1945 до начала 60-х гг. прошлого столетия показывает, что специальным действиям отводилась лишь вспомогательная роль. При этом формами выполнения специальных задач являлись партизанские, контрпартизанские, разведывательно-диверсионные и контрдиверсионные действия.

Появление и ускоренное формирование ядерных сил потребовало дальнейшего развития теории и практики специальных действий. Наличие у сверхдержав ядерного оружия и средств его доставки к цели стало важным фактором, повлиявшим на задачи специальных формирований. Своевременное обнаружение и уничтожение (вывод из строя) таких объектов стали одной из важнейших целей боевых действий всех войск и сил.

В Советском Союзе опыт применения спецподразделений в локальных войнах и в ходе исследовательских и войсковых учений был тщательно проанализирован, а в 1962 г. были созданы отдельные бригады специального назначения (8 бригад численностью до 1 800 человек каждая). Они планировались для обнаружения и последующего уничтожения средств ядерного нападения и важных объектов противника стратегического значения, а также для содействия организации партизанской борьбы. Данные формирования подчинялись напрямую Главному разведывательному управлению Генштаба. Боевое применение этих соединений и частей планировалось по двум группам задач – разведывательным и специальным. Больше специальные действия не велись ни одним из видов Вооруженных Сил и родов войск [5].

В государствах НАТО вопрос о формировании и применении спецназа также выдвинулся на первый план. Так, в июне 1962 г. президент США Джон Ф. Кеннеди в речи перед выпускниками Военной академии в Вест-Пойнте изложил свою позицию по вопросу антиколониальных войн: «Это тип войны новый по своей интенсивности и вместе с тем традиционный – война партизан, повстанцев, заговорщиков, убийц; война засад, а не сражений; инфильтрации, а не агрессии; стремление к победе путем истощения и дезорганизации противника вместо втягивания его в открытую войну. Такое положение

требует от нас разработать совершенно новую стратегию, новые типы вооруженных сил, новое обмундирование, новые и эффективные методы военной подготовки» [9].

Исходя из этого, с начала 60-х гг. так называемые противоповстанческие действия выдвинулись на ведущее место в глобальной стратегии Запада [10]. Задача по уничтожению средств ядерного нападения противника была также предназначена для спецназа. Как показывают исследования, уже в период войны во Вьетнаме (1964–1975) вооруженные силы США активно использовали специально созданные подразделения («зеленые береты») для борьбы с вооруженными отрядами оппозиции. Небольшие отряды спецназа в основном размещались в деревнях слабо населенного Центрального плоскогорья. Они вербовали вьетнамцев и создали цепь укрепленных, хорошо защищенных деревень на так называемой Тропе Хо Ши Мина в Южном Вьетнаме. С их помощью были сформированы «туземные группы нерегулярной гражданской обороны». Сотрудничество «зеленых беретов» и местных вооруженных формирований развивалось плодотворно, в результате чего к концу 1964 г. было создано около 40 хорошо укрепленных пунктов. При оказании помощи властям Южного Вьетнама американские подразделения специального назначения использовали специальные формы и способы боевых действий (проведение диверсий, рейдов, разведывательных мероприятий). Поддержка укрепленных пунктов возлагалась на специальные группы, которые официально назывались «группами воздушной интервенции». Причиной их создания явилось то, что армия Южного Вьетнама не могла оказать действенной поддержки укрепленным пунктам, а рассеянные на большом пространстве американские соединения тратили долгое время на перелеты к местам нападений северовьетнамских партизан [4].

В этой войне американские подразделения специального назначения фактически вели «свою войну» параллельно главным силам. В таком же положении находились элитные части австралийской и новозеландской армий. Так, австралийские коммандос, прибывшие во Вьетнам в 1966 г., и новозеландская рота спецназа, переброшенная туда три года спустя, действовали группами по четыре человека независимо от остальных сил. Эти группы занимались «дальним разведывательным патрулированием», наблюдением и поиском, являлись «глазами и ушами» крупных формирований. В течение 5 лет они провели более 1 300 успешных рейдов [5]. Нередко им приходилось участвовать в столкновениях с партизанами, осуществлять налеты, атаки, засады. Из традиционных способов ведения боевых действий ими был перенят армейский опыт применения снайперов.

Остальные вооруженные силы США, в том числе и новое формирование «воздушных сил быстрого реагирования» – 1-я дивизия воздушной кавалерии, были задействованы в основном для авиационного прикрытия, охраны объектов и коммуникаций. Благодаря массовому применению многоцелевых вертолетов, войска обрели принципиально новое боевое качество – воздушную мобильность. Появилась новая форма боевых действий группировок сухопутных войск – аэромобильная операция. В рамках ее проведения возникли приемы и способы специальных действий, такие как «молот и наковальня», «окружение», «кольцо», «двойной скачок», «линия» и др. [5].

Однако, несмотря на то, что американские, австралийские и новозеландские специальные силы действовали успешно, их вклад в результат всей Вьетнамской кампании был признан незначительным.

Успешно были опробованы специальные способы действий и применения частей спецназа во время ввода Вооруженных Сил государств Варшавского договора в Чехословакию в августе 1968 г. Советские подразделения специального назначения захватили аэродром в Праге и обеспечили переброску Витебской воздушно-десантной дивизии в столицу, заняли радио- и телевизионные центры, телефонные узлы и редакции

главных газет, арестовали правительство А. Дубчека. Основным способом их действий были специальные акции. Использование спецназа по предназначению значительно ускорило темпы проведения операции по возвращению Чехословакии в лагерь социалистических государств. В отличие от действий в Венгрии, когда погибли около 7 тысяч советских солдат и офицеров, подавление попытки переворота в Чехословакии прошло практически без потерь [9].

В дальнейшем Советский Союз неоднократно посылал группы спецназа в более чем два десятка стран Африки, Азии и Латинской Америки. В основном они выполняли там роль инструкторов и советников, но периодически и сами вели специальные действия [5].

Рассмотренные выше факты свидетельствуют о том, что со второй половины 60-х гг. роль специальных действий постоянно возрастает.

В последующем происходит дальнейшее развитие теории и практики специальных действий. Хотя им по-прежнему и отводится вспомогательная роль в обороне или наступлении, но при этом, как правило, они решали задачи оперативного и оперативно-стратегического уровня. Развивались и совершенствовались формы и способы специальных действий. Наиболее часто использовались специальные акции, диверсии, разведывательные действия, поиски, налеты, атаки, засады.

Опыт локальных войн убедительно показал, что использование спецназа по предназначению повышает эффективность проведения операций. В связи с этим с 1969 г. США начали сокращать контингент сухопутных войск во Вьетнаме и наращивать военно-воздушные, военно-морские и специальные силы. Все последующие военные акции США, Великобритании и других стран НАТО в основном осуществлялись силами спецназа, а роль сухопутных войск была в них сравнительно мала [10].

Повышение роли специальных действий в отечественной военной практике конца XX в. связано с применением советских войск в Афганистане. Вначале не планировалось применять Ограниченный контингент советских войск в Афганистане (ОКСВ) в специальных формах. Но вскоре пришлось выполнять боевые задачи, которые не предусматривались существующими боевыми уставами, руководствами и наставлениями. Это было связано с тем, что советским войскам противостояли иррегулярные формирования, ведущие нетрадиционные боевые действия. Борьба с ними потребовала использования специальных форм применения войск. Однако в 1979 г. в составе ОКСВ имелась только одна рота спецназа. Она осуществляла в основном поиск, обнаружение и участвовала в уничтожении баз оппозиции и других объектов, вела работу по ликвидации, с помощью авиации и артиллерии, караванов с оружием и боеприпасами, мелких бандформирований. По мере расширения круга задач ОКСВ был усилен специальными формированиями. Уже в 1985 г. в Афганистане имелось 4 батальона, составивших 2 бригады, а к концу 1988 г. – 12 батальонов, объединенных в 6 бригад специального назначения [5].

Кроме того, специальные действия стали вести и «обычные» войска. Воинские части и подразделения советских войск применялись для охраны и обороны режимных зон, хозяйственных и военных объектов, обеспечения функционирования коммуникаций и важнейших магистралей, оказания гуманитарной помощи. В целом 62 % сухопутной группировки ОКСВ выполняли задачи охранения [4, 5].

Так как отряды афганской оппозиции в основном использовали засады, налеты, диверсии, то наиболее распространенными формами действий советских войск стали операции по поиску, блокированию и уничтожению бандформирований. Проводились также систематические специальные действия и специальные акции (совместные и самостоятельные боевые действия по ликвидации вооруженных формирований оппозиции,

противоминная борьба, изоляция районов конфликтов). Особое значение приобрела огневая и авиационная поддержка. Важную роль стало играть и высокоточное оружие [5].

Основываясь на приведенных выше данных, можно утверждать, что до начала 80-х гг. в Советской Армии рассматривались две основные формы специальных действий. Первая – это разведывательно-диверсионные и систематические специальные действия (велись войсковыми разведывательными подразделениями). Вторая форма – диверсии в целях уничтожения стратегически важных объектов, в том числе средств доставки ядерного оружия. В период применения ОКСВ в Афганистане появились такие формы действий, как специальная операция, ведение специфических боевых действий (охрана и оборона важных объектов, боевые действия по сопровождению колонн, реализация разведанных и др.). В этих формах использовались не только силы специального назначения, но и сухопутные, а также воздушно-десантные войска. Весь накопленный опыт был положен в основу теории и практики подготовки войск к ведению специальных действий [2].

Операция против Ирака в 1991 г. еще раз подтвердила, что современная вооруженная борьба немыслима без специальных действий. Многонациональные силы, проводившие операцию, применяли рейдовые, воздушно-штурмовые и разведывательно-ударные действия в сочетании с действиями сил специальных операций и созданием активного фронта в глубине обороны противника. Спецподразделения многонациональных сил общей численностью более 5 000 человек, помимо выполнения основных задач, занимались активизацией вооруженных формирований местной оппозиции, изоляцией районов боевых действий, организацией пропагандистских акций. Диверсионно-разведывательные группы использовались для поражения важнейших объектов инфраструктуры Ирака: пунктов управления войсками, связи, важнейших коммуникаций, а также для дестабилизации обстановки внутри государства. При этом использовались новейшие виды высокоточного оружия, крылатых ракет, космических средств разведки, связи и навигации [6, 7, 8, 11].

Особенно востребованными оказались специальные действия во время вооруженного конфликта на Северном Кавказе. При восстановлении конституционного строя в Чеченской Республике (1994–1996) основной формой применения группировки российских войск была специальная операция по ликвидации незаконных вооруженных формирований (НВФ). В результате операции были ликвидированы основные крупные группировки противника. Оставшиеся бандформирования были заблокированы войсками в горных районах. Однако полностью военная кампания своей цели не достигла [1, 5].

Повторная военная кампания была проведена с большим успехом. Контртеррористическая операция российских войск в Дагестане и Чечне (1999–2000) являлась общевойсковой по форме и специальной по содержанию. Борьба велась с НВФ, которые применяли тактику диверсионно-террористических акций и партизанских действий. Бои носили очаговый характер, что и вызвало необходимость поиска новых способов действий. В операции войсковым формированиям назначались не полосы действий, а зоны ответственности. Преобладала отрядная тактика – действия бригадными, полковыми и батальонными тактическими группами, чаще всего ведущими специальные действия. Особенностями операции стало широкое применение рейдовых, разведывательно-ударных и воздушно-штурмовых действий [1, 2]. Главной отличительной чертой операции являлись четко скоординированные действия формирований силовых структур различных ведомств. [1, 12].

Изменение целей, выполняемых задач, увеличение привлекаемых сил и средств при ведении специальных действий в течение второй половины XX в. отражены в таблице.

Таблица. – Трансформация целей и задач специальных действий в войнах и вооруженных конфликтах второй половины XX в.

Период развития специальных действий	Вооруженные конфликты	Цели специальных действий	Выполняемые задачи	Привлекаемые силы и средства
Вторая половина 40-х – начало 60-х гг. XX в.	Антиколониальные войны в Юго-Восточной Азии, Индокитае, война в Корее (1950–1953)	Ведение разведывательно-боевых действий в ближайшем тылу противника (50–80 км) для содействия выполнению боевых задач формированиями сухопутных войск	Дезорганизация управления оперативно-тактического звена. Проведение диверсий	Отдельные разведывательные роты и роты специального назначения
60–70-е гг. XX в.	Война во Вьетнаме (1964–1975)	Снижение эффективности действий повстанческих отрядов. Содействие организации партизанского движения	Разведывательно-боевые действия. Демонстративные действия. Антипартизанские действия. Контрдиверсионные действия. Организация партизанских отрядов	Отдельные отряды специального назначения («зеленые береты»). Частично соединения и части сухопутных войск
80-е гг. XX в.	Применение ОКСВ в Афганистане (1979–1989)	Снижение эффективности действий иррегулярных формирований	Ведение разведки в интересах общевойсковых формирований. Уничтожение базовых районов формирований оппозиции. Борьба с караванами. Корректирование огня артиллерии и ударов авиации	1979 г. – 1 рота СпН; 1985 г. – 4 батальона СпН; 1989 г. – 12 батальонов (6 бригад) СпН. Специальные действия стали вести все войска
Начало 90-х гг. XX в. - настоящее время	Война в зоне Персидского залива (1991)	Содействие в выполнении задач ВВС и сухопутным войскам	Ведение разведывательных и разведывательно-боевых действий. Создание активнодействующего фронта в тылу противника. Изоляция районов боевых действий. Уничтожение (сохранение) важных объектов. Активизация действий формирований оппозиции	К началу операции формирования СпН многонациональных сил имели численность более 5 000 чел., к концу операции – до 10 000 чел.
	Контртеррористическая операция российских войск в Дагестане и Чечне (1999–2000)	Разгром бандформирований и восстановление конституционного порядка	Ведение специальных действий (рейдовых, разведывательно-ударных, разведывательно-поисковых, воздушно-штурмовых и др.)	Силы и средства всех силовых структур государства (Сухопутные войска, ВВС, ВДВ, ВВ, МВД, ФСБ, ГРУ)

Примечание. Составлено по [1, 3, 5, 7, 10, 12].

В современных вооруженных конфликтах появилась новая отличительная черта в специальных действиях – использование робототехнических комплексов и новых систем вооружения как средства минимизации рисков для человека – участника боевых действий. Так, впервые в ходе военных действий в Сирии, при зачистке высоты 740 в провинции Латакия в январе 2016 г., армией Сирийской Арабской Республики были впервые опробованы боевые роботизированные комплексы российского производства «Платформа-М»

и «Арго», предназначенные для сбора информации, обнаружения движимых и недвижимых целей и их уничтожения. Для управления роботами был развернут полевой центр «Андромеда-Д», что позволило связать роботов, беспилотные летательные аппараты и артиллерию в единую автоматизированную систему и управлять ими с защищенного командного пункта вне зоны боевых действий, не рискуя жизнями находящихся на нем людей. Внешний вид комплексов на гусеничных и колесных шасси для действий в условиях различной местности показан на рисунках 1, 2.



Рисунок 1. – Роботизированный комплекс «Платформа-М» на гусеничной основе



Рисунок 2. – Роботизированный комплекс «Арго» на колесной основе

Таким образом, по итогам анализа специальных действий в войнах и вооруженных конфликтах второй половины XX в. можно сделать следующие выводы:

1. Развитие теории и практики специальных действий проходило под влиянием изменения характера вооруженной борьбы и увеличения объема задач. Значение специальных действий неуклонно возрастало, и в их ходе стали решаться не только тактические и оперативные, но и стратегические задачи.

2. Для выполнения специальных задач были созданы специальные формирования, структура и действия которых постоянно совершенствовались. С конца 60-х гг. прошлого столетия к ведению специальных действий начинают привлекаться общевойсковые формирования.

3. К концу XX в. по значимости и результатам специальные действия стали сравнимы с классическими видами боевых действий, такими как наступление и оборона. А в некоторых случаях основные цели военной кампании достигались в основном благодаря специальным действиям.

4. В этот же период получили дальнейшее развитие такие формы специальных действий, как специальная операция, систематические специальные действия, совместные и самостоятельные боевые действия разведывательных силовых структур, изоляция районов конфликтов, охрана и оборона важных объектов, реализация разведанных и др.

5. Повышается роль технических безэкипажных боевых комплексов в поисково-разведывательных действиях, что высвобождает человека для сосредоточения его усилий на управлении боевыми действиями.

Список литературы

1. Букреев, Ю. Д. Контртеррористическая операция на Северном Кавказе: основные уроки и выводы / Ю. Д. Букреев // Воен. мысль. – 2000. – № 3.
2. Бузин, Н. Е. Воздушные десанты в войнах и вооруженных конфликтах / Н. Е. Бузин, В. И. Шатько // Наука и воен. безопасность. – 2008. – № 2.

3. Бузин, Н. Е. Специальные действия как перспективное направление повышения боевых возможностей оперативных объединений / Н. Е. Бузин, А. Н. Кирилюк // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2011. – № 4.
4. Батюшкин, С. А. Подготовка и ведение боевых действий общевойсковыми формированиями в локальных войнах и вооруженных конфликтах: воен.-теорет. тр. / С. А. Батюшкин, В. Ф. Кужилин. – М.: Воениздат, 2006. – Ч. I.
5. Военное искусство в локальных войнах и вооруженных конфликтах. Вторая половина XX – начало XXI века / С. В. Воробьев [и др.]. – М.: Воениздат, 2009. – Ч. I.
6. Гушев, А. Н. Военно-технические аспекты войны в зоне Персидского залива / А. Н. Гушев, Е. Б. Сергеев // Зарубеж. воен. обозрение. – 1999. – № 7.
7. Жихарский, В. В. Мобильные действия общевойсковых объединений (соединений) в современных условиях / В. В. Жихарский // Воен. мысль. – 1998. – № 5.
8. Калистратов, А. И. Воздушно-наземные действия войск в операции «Буря в пустыне» 1991 год / А. И. Калистратов // Воен.-ист. журн. – 2006. – № 3.
9. Миллер, Д. Н. Командос / Д. Н. Миллер. – Минск: Харвест, 2003.
10. Подлесный, Е. Я. Локальные войны и вооруженные конфликты: учеб. пособие / Е. Я. Подлесный, В. И. Шатько. – Минск: ВА РБ, 1998. – Ч. I.
11. Сергеев, В. А. 10 лет со дня начала военной операции «Буря в пустыне» / В. А. Сергеев // Зарубеж. воен. обозрение. – 2001. – № 3.
12. Шатько, В. И. Контртеррористическая операция российских войск в Дагестане и Чечне (1999–2000): учеб. пособие / В. И. Шатько, В. Б. Василевский. – Минск: ВА РБ, 2003.

*Сведения об авторах:

Шатько Вячеслав Иванович.

Попов Сергей Викентьевич.

Панасюк Иван Вячеславович.

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 20.05.2016 г.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ВОЕННОМ ДЕЛЕ

УДК 621.396.96

КИНЕМАТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ РАДИОИЗЛУЧАЮЩЕЙ ВОЗДУШНОЙ ЦЕЛИ ПО УГЛОВЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ

С. Б. Калитин, кандидат технических наук, доцент;
А. В. Шарамет, кандидат технических наук;
Д. В. Морозов кандидат технических наук*

В статье на основе векторно-алгебраического подхода получено математически строгое решение обобщенной задачи определения координат воздушной цели по ее пеленгам, измеренным на борту истребителя. Линейность конечных выражений позволяет получать несложные рекуррентные соотношения для оценки дальности «истребитель – цель».

On the basis of the vector-algebraic approach a mathematically rigorous solution of the generalized problem of determining the coordinates of aerial targets for its bearing, measured on board of a destroyer is obtained. The linearity of the final expression allows you to receive simple recurrence relations to assess the range «fighter – target».

Определение на борту истребителя координат радиоизлучающей воздушной цели по измеренным пеленгам является достаточно известной прикладной задачей. В качестве источника радиоизлучения обычно рассматривают постановщика активных шумовых помех, при работе которого может быть существенно затруднено измерение дальности и единственным источником информации о цели становится пеленгационная система бортовой РЛС истребителя. В основе описания и решения подобных задач лежат кинематические уравнения взаимного движения истребителя и цели, поэтому задачи определения координат воздушной цели без дальномерной информации и методы их решения обычно называют кинематическими [1, 2].

Способы решения кинематической задачи можно условно разбить на два вида, использующих различные подходы к получению конечного решения. В первом случае прямо (или косвенно) осуществляется вычисление оценки дальности цели \hat{D}_c как дифференциальной функции от тангенциальной скорости истребителя $V_{ит}$ и угловой скорости линии визирования «истребитель – цель» ω (рисунок 1). Во втором используют заданные модели движения цели с последующим применением алгоритмов калмановской фильтрации [3, 4].

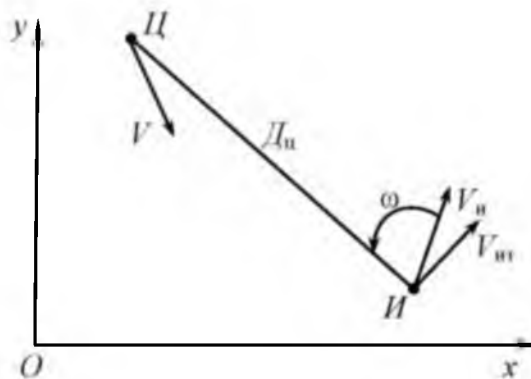


Рисунок 1. – Геометрия простейшей кинематической задачи
в горизонтальной плоскости

Способам обоих видов присущи характерные проблемы. Так, для практической реализации первого подхода кроме углового положения цели в пространстве требуется постоянное измерение угловых скоростей линии визирования в вертикальной и горизонтальной плоскости, что в условиях нестабильного радиоконтакта с целью зачастую является проблематичным. В свою очередь, способы второго вида при маневрировании цели приводят к задаче синтеза нелинейных фильтров и, соответственно, необходимости решения сложных проблем сходимости процессов фильтрации [4, 5].

Таким образом, получение простого, но математически строгого решения кинематической задачи является весьма актуальным. Для этого воспользуемся векторно-алгебраическим представлением исходной задачи с последующей формализацией соответствующих уравнений в классе линейных систем.

Постановка задачи

В трехмерном пространстве координаты истребителя и цели задаются, соответственно, радиусами-векторами $r = [r_x \ r_y \ r_z]^T$, $c = [x \ y \ z]^T$. Истребителем из конечного числа точек траектории M_n , $n = \overline{0, N-1}$ измеряются пеленги цели, заданные в виде единичных направляющих векторов $p_n^T = [p_{nx} \ p_{ny} \ p_{nz}]$, $\|p_n\| = 1$ (здесь и далее символ $\| \cdot \|$ обозначает евклидову норму вектора). Расстояния от истребителя до цели в моменты измерений равны s_n (рисунок 2).

Требуется найти координаты векторов $c_n = [x_n \ y_n \ z_n]^T$.

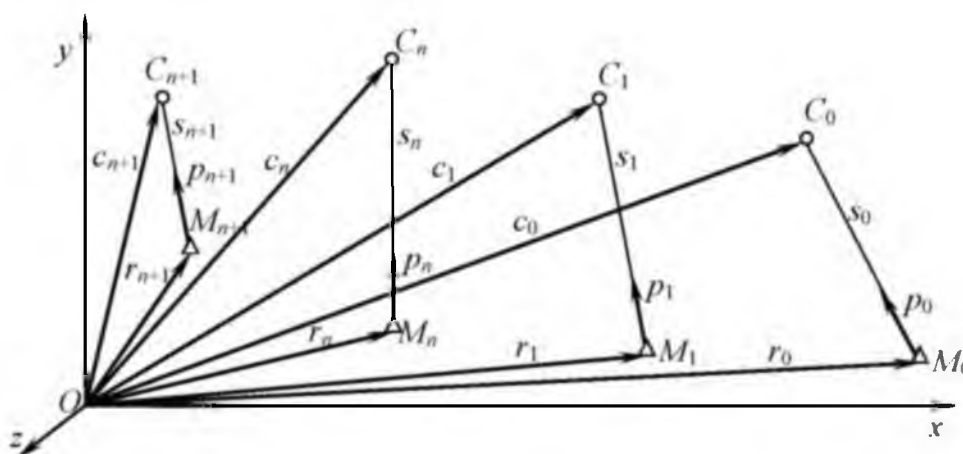


Рисунок 2. – Кинематическая задача в векторном представлении

Как можно видеть из рисунка 2, геометрическая интерпретация кинематической задачи представляет собой набор треугольников «начало координат – истребитель – цель», соответствующих моментам измерения пеленга. Для любого n -го треугольника измерения справедливо векторное уравнение связи координат истребителя и координат цели с измеренными пеленгами:

$$c_n = r_n + s_n p_n. \quad (1)$$

Координаты точек M_n и C_n напрямую зависят от векторов скоростей v_n , v . Данная особенность предопределяет необходимость составления прогнозной модели движения цели. Для этого удобно задаться распространенным для кинематических задач допущением, что измерения пеленгов производятся через одинаковые временные интервалы τ . В таком случае, если в момент начального измерения цель находилась в точке C_0 , то ее последующие пространственные положения можно определить, задавшись гипотезой о характере ее

движения. В большинстве кинематических задач достаточным считается рассмотрение двух случаев движения цели – равномерного и равноускоренного [1–3].

Вначале рассмотрим *равномерное движение* цели с постоянным вектором скорости $v_{ц}^I = [v_x \ v_y \ v_z]$. Если в начальный момент измерения пеленга цели ее положение определялось вектором $c_0^I = [x_0 \ y_0 \ z_0]$, то координаты векторов c_1 и c_2 в моменты двух следующих измерений будут равны:

$$\begin{aligned} c_1 &= c_0 + \tau v, \\ c_2 &= c_1 + \tau v = c_0 + 2\tau v. \end{aligned}$$

Следовательно, для трех измеренных пеленгов p_0, p_1, p_2 в соответствии с (1) может быть записана система векторных уравнений связи:

$$\begin{aligned} c_0 - s_0 p_0 &= r_0, \\ c_0 + \tau v - s_1 p_1 &= r_1, \\ c_0 + 2\tau v - s_2 p_2 &= r_2. \end{aligned} \quad (2)$$

Введем вектор расстояний $s^T = [s_0 \ s_1 \ s_2]$ и перейдем к линейному векторно-матричному уравнению

$$Qk = r, \quad (3)$$

$$\text{где } Q = \begin{bmatrix} I_3 & \emptyset_{3,3} & -p_0 & \emptyset_{3,1} & \emptyset_{3,1} \\ I_3 & \tau I_3 & \emptyset_{3,1} & -p_1 & \emptyset_{3,1} \\ I_3 & 2\tau I_3 & \emptyset_{3,1} & \emptyset_{3,1} & -p_2 \end{bmatrix}, \quad k = \begin{bmatrix} c_0 \\ v \\ s \end{bmatrix}, \quad r = \begin{bmatrix} r_0 \\ r_1 \\ r_2 \end{bmatrix};$$

I_3 – единичная матрица размером 3×3 ,

$\emptyset_{i,j}$ – нулевая матрица размером $i \times j$.

Как можно видеть, при трех измерениях пеленга вспомогательная матрица Q является квадратной, и неизвестный вектор k может быть найден из выражения

$$k = Q^{-1}r. \quad (4)$$

В случае $N > 3$ измерений матрица Q является прямоугольной – имеет $3N$ строк и $(N + 6)$ столбцов:

$$Q = \begin{bmatrix} I_3 & \emptyset_{3,3} & -p_0 & \emptyset_{3,1} & \emptyset_{3,1} & \dots & \emptyset_{3,1} \\ I_3 & \tau I_3 & \emptyset_{3,1} & -p_1 & \emptyset_{3,1} & \dots & \emptyset_{3,1} \\ I_3 & 2\tau I_3 & \emptyset_{3,1} & \emptyset_{3,1} & -p_2 & \dots & \emptyset_{3,1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ I_3 & (N-1)\tau I_3 & \emptyset_{3,1} & \emptyset_{3,1} & \emptyset_{3,1} & \dots & -p_{N-1} \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Следовательно, решением задачи в этом случае является оценка \hat{k} , получаемая из выражения

$$\hat{k} = (Q^T Q)^{-1} Q^T r. \quad (6)$$

Необходимо обратить внимание, что в постановке задачи отсутствуют требования к вектору скорости истребителя. Поскольку линейная независимость векторов пеленгов p обеспечивается траекторией движения истребителя, то условие существования решений (4), (6) требует дополнительного анализа.

Пусть истребитель движется в пространстве прямолинейно и равномерно с вектором скорости $v_{и}$, тогда обобщенная система уравнений связи преобразуется к виду:

$$\begin{aligned}
 c_0 - s_0 p_0 &= r_0, \\
 c_0 + \tau v - s_1 p_1 &= r_0 + \tau v_n, \\
 &\dots \\
 c_0 + n\tau v - s_n p_n &= r_0 + n\tau v_n.
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

Как можно видеть, уравнения системы (7) являются линейно зависимыми, следовательно, при прямолинейном и равномерном движении истребителя определить координаты цели, тоже движущейся с постоянной скоростью, невозможно, что совпадает с известными выводами [1, 2]. Простейшим вариантом устранения данного негативного фактора является движение пеленгатора с переменной скоростью $v_n(t)$. В этом случае получим:

$$\begin{aligned}
 c_0 - s_0 p_0 &= r_0, \\
 c_0 + \tau v - s_1 p_1 &= r_0 + \tau v_n(\tau), \\
 &\dots \\
 c_0 + n\tau v - s_n p_n &= r_0 + n\tau v_n(n\tau).
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

При изменении скорости v_n во времени в (8) отсутствует линейная зависимость между уравнениями, следовательно, решение исходной задачи существует.

В случае движения цели с вектором скорости v и вектором постоянного ускорения $w^T = [w_x, w_y, w_z]$ вектор c_1 , определяющий местоположение цели через интервал времени τ после начального измерения, может быть найден из выражения

$$c_1 = c_0 + \tau v + \frac{1}{2} \tau^2 w.$$

Соответственно можем записать систему векторных уравнений связи при равноускоренном движении цели:

$$c_0 + n\tau v + \frac{1}{2} (n\tau)^2 w - s_n p_n = r_n, \quad n = \overline{0, N-1}. \tag{9}$$

Очевидно, что решения (4), (6) принципиально не изменят своего вида, дополнительные слагаемые в уравнениях системы (9) приведут лишь к увеличению размеров вспомогательной матрицы Q , а в составе неизвестного вектора k появится трехкомпонентный вектор ускорения цели w :

$$Q = \begin{bmatrix} I_3 & \emptyset_{3,3} & \emptyset_{3,3} & -p_0 & \emptyset_{3,1} & \emptyset_{3,1} & \dots & \emptyset_{3,1} \\ I_3 & \tau I_3 & \frac{\tau^2 I_3}{2} & \emptyset_{3,1} & -p_1 & \emptyset_{3,1} & \dots & \emptyset_{3,1} \\ I_3 & 2\tau I_3 & \tau^2 I_3 & \emptyset_{3,1} & \emptyset_{3,1} & -p_2 & \dots & \emptyset_{3,1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ I_3 & (N-1)\tau I_3 & \frac{N-1}{2} \tau^2 I_3 & \emptyset_{3,1} & \emptyset_{3,1} & \emptyset_{3,1} & \dots & -p_{N-1} \end{bmatrix}, \quad k = \begin{bmatrix} c_0 \\ v \\ w \\ s \end{bmatrix} \tag{10}$$

Определение дальности воздушной цели

На практике в ряде кинематических задач определение декартовых координат цели требуется не всегда. Конечной целью в таких задачах обычно является определение лишь расстояний s_n «истребитель – цель» и иногда скорости цели v [6, 7]. Исключение вектора s

из искомым неизвестных позволяет не только снизить размерность задачи, но и получить рекуррентные соотношения для вычисления расстояний s_n .

Запишем систему (2) для трех «соседних» измерений пеленгов $n, n+1, n+2$:

$$\begin{aligned} c_0 + \tau v n - s_n p_n &= r_n, \\ c_0 + \tau v(n+1) - s_{n+1} p_{n+1} &= r_{n+1}, \\ c_0 + \tau v(n+2) - s_{n+2} p_{n+2} &= r_{n+2}. \end{aligned} \quad (11)$$

Вычтем в системе (11) первое уравнение из второго, а второе – из третьего:

$$\begin{aligned} \tau v + s_n p_n - s_{n+1} p_{n+1} &= r_{n+1} - r_n, \\ \tau v + s_{n+1} p_{n+1} - s_{n+2} p_{n+2} &= r_{n+2} - r_{n+1}. \end{aligned} \quad (12)$$

Система (12) состоит из 6 линейных уравнений и имеет 6 неизвестных ($v_x, v_y, v_z, s_n, s_{n+1}, s_{n+2}$), поэтому ее решение находится в виде вектора, компонентами которого являются скорость цели v и расстояния s :

$$u = W^{-1} r, \quad (13)$$

$$u = \begin{bmatrix} v \\ s_n \\ s_{n+1} \\ s_{n+2} \end{bmatrix}, \quad W = \begin{bmatrix} \tau I_3 & p_n & -p_{n+1} & \emptyset_{3 \times 1} \\ \tau I_3 & \emptyset_{3 \times 1} & p_{n+1} & -p_{n+2} \end{bmatrix}, \quad r = \begin{bmatrix} r_{n+1} - r_n \\ r_{n+2} - r_{n+1} \end{bmatrix}.$$

В общем случае, при наличии $n = \overline{1, N}$ пеленгов, решение (13) трансформируется в оценку вектора u , оптимальную по критерию минимума квадрата ошибки:

$$\hat{u} = (W^T W)^{-1} W^T r, \quad (14)$$

$$\hat{u} = \begin{bmatrix} v \\ s_1 \\ \dots \\ s_N \end{bmatrix}, \quad W = \begin{bmatrix} \tau I_3 & p_1 & -p_2 & \emptyset_{3 \times 1} & \dots & \emptyset_{3 \times 1} & \emptyset_{3 \times 1} \\ \tau I_3 & \emptyset_{3 \times 1} & p_2 & -p_3 & \dots & \emptyset_{3 \times 1} & \emptyset_{3 \times 1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tau I_3 & \emptyset_{3 \times 1} & \emptyset_{3 \times 1} & \emptyset_{3 \times 1} & \dots & p_{N-1} & -p_N \end{bmatrix}, \quad r = \begin{bmatrix} r_2 - r_1 \\ \dots \\ r_N - r_{N-1} \end{bmatrix}.$$

Если оценке подлежит только вектор расстояний s , то, вычтя в (12) из первого уравнения второе, получим одно векторное уравнение (что соответствует системе из трех линейных уравнений с тремя неизвестными):

$$s_n p_n - 2s_{n+1} p_{n+1} + s_{n+2} p_{n+2} = 2r_{n+1} - r_n - r_{n+2}. \quad (15)$$

Отсюда трехкомпонентный вектор расстояний s :

$$s = Q^{-1} r, \quad (16)$$

$$\text{где } s = \begin{bmatrix} s_n \\ s_{n+1} \\ s_{n+2} \end{bmatrix}, \quad Q = [p_n \quad -2p_{n+1} \quad p_{n+2}], \quad r = [2r_{n+1} - r_n - r_{n+2}].$$

Для $n = \overline{1, N}$ пеленгов перейдем по аналогии с (14) к оценке вектора расстояний s :

$$\hat{s} = (Q^T Q)^{-1} Q^T r, \quad (17)$$

$$s = \begin{bmatrix} s_1 \\ \dots \\ s_N \end{bmatrix}, Q = \begin{bmatrix} p_1 & -2p_2 & p_3 & \emptyset_{3,1} & \dots & \emptyset_{3,1} & \emptyset_{3,1} & \emptyset_{3,1} \\ \emptyset_{3,1} & p_2 & -2p_3 & p_4 & \dots & \emptyset_{3,1} & \emptyset_{3,1} & \emptyset_{3,1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \emptyset_{3,1} & \emptyset_{3,1} & \emptyset_{3,1} & \emptyset_{3,1} & \dots & p_{N-2} & -2p_{N-1} & p_N \end{bmatrix}, r = \begin{bmatrix} 2r_2 - r_1 - r_3 \\ \dots \\ 2r_{N-1} - r_{N-2} - r_N \end{bmatrix}$$

Следует обратить внимание, что при прямолинейном и равномерном движении истребителя правые части уравнений в (12), (15) становятся равными константе и решения этих систем не существует.

Избежать процедуры обращения матрицы большой размерности в (17) при большом объеме измерений помогает рекуррентное выражение вычисления расстояний, которое можно получить из (15):

$$s_n p_n = 2r_{n-1} - r_{n-2} - r_n + 2s_{n-1} p_{n-1} - s_{n-2} p_{n-2}. \quad (18)$$

Как видно из (18), рекуррентное вычисление расстояния s_n возможно после получения как минимум двух начальных оценок дальностей на предыдущих измерениях пеленга, что может быть выполнено при помощи решения системы (16).

Выводы

1. Векторно-алгебраическое представление обобщенной кинематической задачи обеспечивает формирование уравнений связи координат истребителя и координат цели с измеряемыми пеленгами, линейных относительно неизвестных переменных, что существенно упрощает дальнейшие преобразования.

2. Полученные решения являются однозначными, математически строгими, инвариантными к начальным условиям (не требуют предварительной информации о местоположении цели) и обеспечивают получение оценок координат цели при наличии избыточности измерений. Единственным ограничением на существование математических решений является требование переменной скорости пеленгатора, что не противоречит известным теоретическим результатам.

3. Конечные выражения для координат цели представлены в виде прямого функционального преобразования известных величин и сводят необходимые вычисления к выполнению элементарных арифметических операций. Данный фактор является чрезвычайно актуальным в условиях существенных ресурсных ограничений на борту летательного аппарата.

Список литературы

1. Защита радиолокационных систем от помех. Состояние и тенденции развития / В. И. Меркулов [и др.]; под ред. А. И. Канащенкова и В. И. Меркулова. – М.: Радиотехника, 2003. – 414 с.
2. Канащенков, А. И. Облик перспективных бортовых радиолокационных систем. Возможности и ограничения / А. И. Канащенков, В. И. Меркулов, О. Ф. Самарин. – М.: ИПРЖР, 2002. – 176 с.
3. Булычев, Ю. Г. Оценивание параметров движения объектов на базе высокоточных угломерных систем / Ю. Г. Булычев, И. В. Бурлай, В. А. Моторкин // Радиотехника и электроника. – 1992. – Т. 37, № 4. – С. 618–627.
4. Булычев, Ю. Г. Уравнения калмановской фильтрации для псевдотриангуляционных систем локации / Ю. Г. Булычев, И. В. Бурлай, В. А. Моторкин // Радиотехника. – 1992. – № 3. – С. 10–13.
5. Меркулов, В. И. Авиационные системы радиуправления. Ч. 1 Теоретические основы синтеза и анализа / В. И. Меркулов, В. Н. Лепин. – М.: Радио и связь, 1999. – 372 с.
6. Авиация ПВО России и научно-технический прогресс. Боевые комплексы и системы вчера, сегодня, завтра / Е. А. Федосов [и др.]; под ред. Е. А. Федосова. – М.: Дрофа, 2004. – 642 с.

7. Системы управления вооружением истребителей. Основы интеллекта многофункционального самолета / Л. Е. Баханов [и др.]; под ред. Е. А. Федосова. – М.: Машиностроение, 2005. – 400 с.

*Сведения об авторах:

Калитин Сергей Борисович.

Шарамет Андрей Владимирович.

Морозов Дмитрий Михайлович.

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 20.06.2016 г.

УДК 519.21

МЕТОДОЛОГИЯ ВЫСОКОТОЧНОЙ ОПТИМАЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ, НАБЛЮДАЕМЫХ В СТОХАСТИЧЕСКИХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ СО СЛУЧАЙНО ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ СТРУКТУРОЙ (часть 1)

И. М. Косачев, доктор технических наук, профессор;
Ю. Е. Кулешов, кандидат военных наук, доцент*

В статье излагается первая часть методологии высокоточной нелинейной фильтрации многомерных негауссовых случайных процессов, наблюдаемых в стохастических динамических системах со случайно изменяющейся структурой.

Methodology of high-precision filtering with random variable structure for multidimensional nongaussian random processes, observable in stochastic dynamic systems, is developed.

Введение

При разработке вооружения и военной техники (ВВТ), а также других сложных технических систем гражданского назначения центральной задачей является синтез алгоритмов оптимального управления ими. В соответствии с теоремой разделения в теории стохастического оптимального управления для достижения поставленной цели требуется сначала решить задачу оптимальной нелинейной фильтрации случайных процессов, протекающих в этих системах, а затем на основании полученных оценок фильтруемых процессов осуществить синтез алгоритмов оптимального управления системой по заданному критерию оптимальности [1–7].

Математическое описание ВВТ и других сложных технических систем во многих случаях можно рассматривать в рамках непрерывных стохастических динамических систем со случайно изменяющейся структурой (ДССС).

Под стохастической динамической системой (СДС) со случайно изменяющейся структурой понимается такая СДС, которая имеет конечное число (равное S) фиксированных состояний структуры, переключаемых в случайные неперекрывающиеся моменты времени ΔT , а ее поведение (динамика) в каждом l -м ($l = \overline{1, S}$) фиксированном состоянии структуры описывается системой стохастических дифференциальных уравнений для вектора кусочно-непрерывных фазовых координат $Y^{(l)}(t)$ (для непрерывных СДС), либо системой стохастических разностных уравнений $X^{(l)}(t_k)$ (для дискретных СДС), либо системой стохастических дифференциально-разностных уравнений $\{(Y^{(l)}(t))^T, (X(t_k))^T\}^T$ (для непрерывно-дискретных СДС), где «т» – операция транспонирования.

В дальнейшем из-за ограничений, накладываемых на объем статьи, будем рассматривать только непрерывные (точнее – кусочно-непрерывные) ДССС.

Изменения состояния структуры ДССС могут быть описаны на основе теории графов, теории случайных потоков, теории систем массового обслуживания, теории вероятностных автоматов, теории агрегатов и т. д. [8–15].

Исходя из условий универсальности, простоты и возможности реализации на практике аналитической методики исследования ДССС, в качестве оператора изменения состояния структуры ДССС наиболее целесообразно взять условную цепь Маркова, которая задается условными вероятностями перехода структуры ДССС из r -го состояния в l -е на малом интервале времени от t до $t + \Delta t$ выражением вида [7–16]

$$P\{L(t + \Delta t) = l / L(t) = r, Y(t) = y\} = \begin{cases} v^{(r,l)}(y, t)\Delta t + o(\Delta t) & \text{при } l \neq r; \\ 1 - \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq l}}^s v^{(l,q)}(y, t)\Delta t + o(\Delta t) & \text{при } l = r, \end{cases} \quad (1)$$

где $P\{\cdot\}$ – вероятность события, стоящего в фигурных скобках;

$v^{(r,l)}(y, t)$ – интенсивность (средняя частота) перехода ДССС в момент времени t из состояния r в состояние l при условии, что значение случайного вектора фазовых координат Y равно y ;

$o(\Delta t)$ – величина большего порядка малости по сравнению с Δt .

Применительно к ВВТ случайный характер изменения их структуры или (и) параметров обусловлен следующими тремя группами причин.

Первая группа причин обусловлена самой динамикой функционирования ВВТ в процессе боевой работы. Например, в процессе полета управляемой ракеты ее летно-баллистические характеристики скачкообразно изменяются при переходе с активного участка полета на пассивный (после окончания работы маршевого двигателя).

Для самолетов такими участками скачкообразного изменения структуры и параметров являются: участок взлета, когда самолетом управляет пилот; участок установившегося полета самолета с помощью автопилота на заданной высоте и участок посадки самолета.

Для космических летательных аппаратов и баллистических ракет дополнительно присутствуют участки выхода и входа в атмосферу Земли, отделения ускорителей и ступеней ракет и т. п.

Для зенитного ракетного комплекса (ЗРК) скачкообразное изменение структуры и параметров происходит в моменты захвата цели сначала на ручное, а затем на автоматическое сопровождение; в моменты смены методов наведения зенитной управляемой ракеты (ЗУР) в процессе ее наведения на цель и т. п.

Вторая группа вызвана внешними случайными воздействиями со стороны окружающей среды или противника на процесс функционирования ВВТ, приводящими к изменению их структуры или (и) параметров. Например, воздействие атмосферы на летательный аппарат за счет появления резких порывов ветра, восходящих потоков воздуха, косой обдувки планера летательного аппарата, наличия ионизирующих областей и т. п. К случайным возможностям также относятся применение воздушным противником различного рода помех, нарушающих функционирование ВВТ; совершение самолетом или ракетой противника резкого маневра; пуска противником по нашим РЛС, ЗРК или АСУ высокоточных средств поражения, что вынуждает их боевые расчеты применять различные меры защиты; внезапное применение самолетом противника радиолокационных или ИК-ловушек и т. п.

Третья группа причин обусловлена преднамеренным изменением структуры или (и) параметров ВВТ в целях адаптации (приспособления) процесса боевого функционирования ВВТ к негативному влиянию факторов первой и второй групп.

Вопросам калмановской фильтрации случайных процессов, протекающих в ДССС, посвящено не так уж много монографий и научных статей [5–9, 17–20].

Теория высокоточной фильтрации случайных процессов разработана в [21] только для стохастических динамических систем с фиксированной структурой (ДСФС).

Понятие «высокоточная фильтрация» введено в [21] для того, чтобы подчеркнуть высокую точность разработанных в рамках данной теории алгоритмов по сравнению с алгоритмами классической калмановской фильтрации при фильтрации негауссовых случайных процессов и в условиях больших интенсивностей шумов в канале наблюдения (измерителе). Проведенные в [21] исследования показали, что разработанные алгоритмы

высокоточной фильтрации за счет учета высших апостериорных центральных моментов фильтруемого процесса обеспечивают в 8–10 раз более высокую точность фильтрации и помехоустойчивость оптимальных фильтров по сравнению с другими известными алгоритмами фильтрации, поэтому введение данного термина является правомочным.

Обзор значительного числа монографий и научных статей показал, что теория высокоточной фильтрации для ДССС до настоящего времени не разработана. Данная статья и предназначена для разработки такой теории.

Из-за ограничений, накладываемых на объем статей, публикуемых в Вестнике Военной академии Республики Беларусь, разрабатываемую теорию будем публиковать по частям. В данной первой части излагаются введение, постановка задачи высокоточной оптимальной нелинейной фильтрации случайных процессов, наблюдаемых в ДССС, а также общая характеристика разрабатываемой методики.

Во второй части статьи будут подробно рассмотрены девять этапов разрабатываемой методики высокоточной фильтрации случайных процессов, наблюдаемых в ДССС.

В третьей части статьи будет рассмотрен пример калмановской и высокоточной фильтрации случайных процессов, протекающих в системе самонаведения авиационной ракеты при ее наведении на постановщики «малобазовых» (с консолей крыла одного самолета) и «большебазовых» (с двух самолетов) синхронных и несинхронных мерцающих помех.

1. Постановка задачи высокоточной оптимальной нелинейной фильтрации случайных процессов, наблюдаемых в стохастических динамических системах со случайной структурой

Отличительными особенностями задачи оптимальной нелинейной фильтрации случайных процессов, наблюдаемых в ДССС, являются следующие:

1) фильтрации (оптимальному оцениванию) подлежит не только случайный процесс $Y^{(l)}(t)$ в каждом l -м ($l = \overline{1, S}$) состоянии структуры ДССС, но и дискретный случайный процесс смены структуры $L(y, e)$;

2) при фильтрации линейного гауссового случайного процесса $Y^{(l)}(t)$ линейным каналом наблюдения с аддитивным шумом апостериорная ПРВ наблюдаемого процесса на выходе канала наблюдения является негауссовой, а в ДСФС – гауссовой;

3) получение оптимальной оценки фильтруемого процесса $Y^{(l)}(t)$ отдельно для каждого l -го состояния структуры ДССС не гарантирует оптимальности оценки совокупного случайного процесса вида (2) с учетом всех S состояний структуры ДССС.

Эти особенности сильно усложняют процесс разработки методологии высокоточной оптимальной нелинейной фильтрации случайных многомерных процессов, протекающих в ДССС.

Теперь непосредственно перейдем к изложению особенностей постановки задачи высокоточной оптимальной нелинейной фильтрации случайных многомерных процессов в ДССС.

Под фильтрацией случайного процесса $[Y^{(l)}(t)]^T, L(y, t)$ в ДССС понимается определение наиболее вероятных значений данных процессов в текущий момент времени t на основании их наблюдения $Z^{(l)}(t)$ до момента времени t с помощью канала наблюдения случайной структуры (КНСС) и априорной информации о данных процессах.

Схема, поясняющая задачу оптимальной фильтрации случайных процессов в ДССС, представлена на рисунке 1.

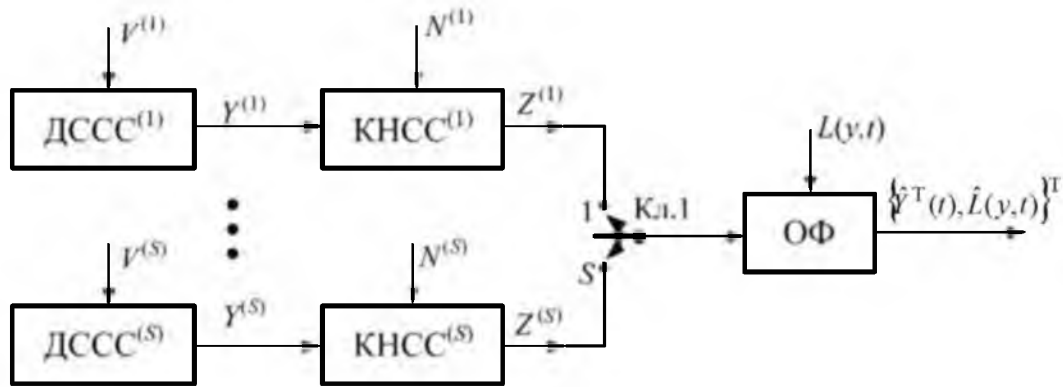


Рисунок 1. – Фильтрация случайных процессов в ДССС

Будем полагать, что имеется ДССС, вектор состояния которой в каждом l -м состоянии структуры описывается системой СДУ вида

$$\dot{y}_p^{(l)} = c_p^{(l)}(t) + \sum_{i=1}^{N_y} d_{pi}^{(l)}(t) y_i^{(l)}(t) + \sum_{j=1}^{N_\phi} b_{pj}^{(l)}(t) \varphi_j^{(l)}(y^{(l)}, t) + \sum_{m=1}^{N_v} h_{pm}^{(l)}(t) V_m^{(l)}(t), \quad y^{(l)}(t_0) = y_0^{(l)}, \quad (2)$$

где $c_p^{(l)}(t)$ – детерминированная функция времени в СДУ для p -й ($p = \overline{1, N_y}$) фазовой координаты в l -м ($l = \overline{1, S}$) состоянии структуры ДССС;

$d_{pi}^{(l)}(t)$ – в общем случае нестационарный детерминированный коэффициент при i -й ($i = \overline{1, N_y}$) фазовой координате в СДУ для p -й фазовой координаты в l -м состоянии структуры;

$b_{pj}^{(l)}(t)$ – в общем случае нестационарный коэффициент при j -й ($j = \overline{1, N_\phi}$) нелинейности в СДУ для p -й фазовой координаты в l -м состоянии структуры;

$\varphi_j^{(l)}(y^{(l)}, t)$ – j -я нелинейность в СДУ для p -й фазовой координаты в l -м состоянии структуры;

$h_{pm}^{(l)}(t)$ – в общем случае нестационарный коэффициент при m -м ($m = \overline{1, N_v}$) белом шуме в СДУ для p -й фазовой координаты в l -м состоянии структуры;

$V_m^{(l)}(t)$ – m -й белый шум со спектральной плотностью $G_{vm}^{(l)}(t)$ и дельтаобразной корреляционной функцией в СДУ для p -й фазовой координаты в l -м состоянии структуры ДССС.

На рисунке 1 выходные процессы ДССС в каждом l -м состоянии структуры наблюдаются (измеряются) с помощью «своего» многомерного безынерционного нелинейного канала наблюдения случайной структуры, математическая модель которого задается уравнением вида

$$z_p^{(l)}(t) = \sum_{n=1}^{N_\psi} s_{pn}^{(l)}(t) \psi_n^{(l)}(y^{(l)}, t) + \sum_{i=1}^{N_N} m_{pi}^{(l)}(t) N_i^{(l)}(t), \quad (3)$$

где $z_p^{(l)}(t)$ – p -я ($p = \overline{1, N_z^{(l)}}$) компонента $N_z^{(l)}$ -мерного случайного вектора измерений фильтруемого процесса $Y^{(l)}(t)$ в l -м состоянии КНСС;

$s_{pn}^{(l)}(t)$ – pn -я компонента $N_z^{(l)} \times N_\psi^{(l)}$ -мерной матрицы детерминированных в общем случае нестационарных коэффициентов при $\psi_n^{(l)}(y^{(l)}, t)$ -й нелинейности в p -м уравнении в l -м состоянии КНСС;

$\psi_n^{(l)}(y, t)$ – n -я компонента $N_\psi^{(l)}$ -мерной детерминированной векторной нелинейной функции в l -м состоянии КНСС;

$m_{pi}^{(l)}(t)$ – pi -я компонента $N_z^{(l)} \times N_N^{(l)}$ -мерной матрицы в общем случае нестационарных коэффициентов при белых шумах в l -м состоянии КНСС;

$N_i^{(l)}(t)$ – i -я компонента $N_N^{(l)}$ -мерного вектора белых гауссовых шумов в l -м состоянии КНСС со спектральной интенсивностью $Q_i^{(l)}(t)$ и дельтаобразной корреляционной функцией.

В дальнейшем будем полагать, что шумы $V_m^{(l)}(t)$ в стохастическом фильтруемом процессе вида (2) и $N_i^{(l)}(t)$ в КНСС вида (3) являются независимыми. Для упрощения записи в дальнейшем также не будем указывать, что размерности векторов и матриц $N_\psi^{(l)}$, $N_z^{(l)}$ и $N_N^{(l)}$ в каждом l -м состоянии КНСС могут быть различными.

Такая постановка задачи (ДССС + КНСС) обобщает случай фильтрации процессов в системах с разделением времени (рисунок 2), когда имеется ДССС с S состояниями структуры и всего один КН (ДССС + КН), на вход которого поочередно подаются выходные процессы в каждом из состояний ДССС, а также в системах с комплексированием измерителей, когда имеется одна стохастическая ДСФС и S каналов наблюдения (ДСФС + КНСС), которые подключены к выходу системы (рисунок 3).

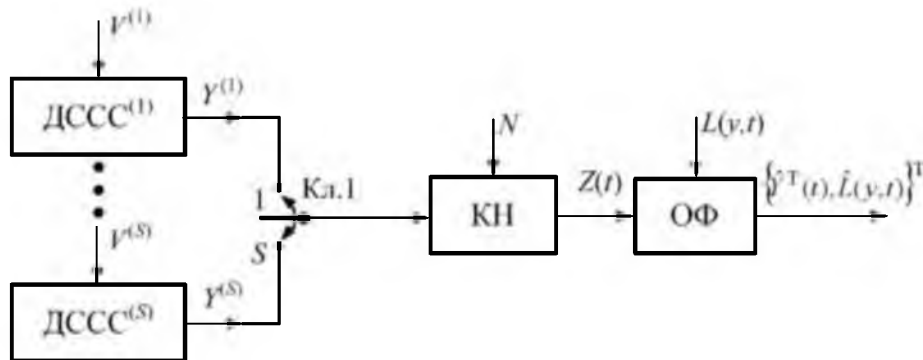


Рисунок 2. – Фильтрация процессов в системах с разделением времени

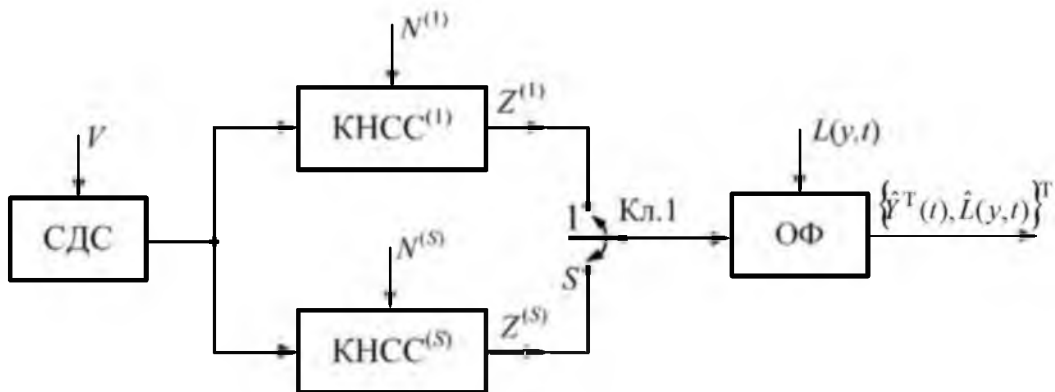


Рисунок 3. – Фильтрация процессов в системах с комплексированным измерителем

Выходы КНСС поочередно подключаются на вход оптимального фильтра (ОФ).

На выходе ОФ с использованием априорной информации о случайных процессах $Y(t)$ и $L(y, t)$ требуется получить (сформировать) оптимальную оценку состояния ДССС $\{\bar{Y}^T(t), \hat{L}(y, t)\}^T$.

Таким образом, при фильтрации случайных процессов в ДССС требуется найти оптимальную оценку не только кусочно-непрерывного случайного процесса $Y^{(l)}(t)$, но также и оптимальную оценку случайного процесса смены состояния структуры $L(y, t)$, которые могут быть независимыми, функционально зависимыми или зависимыми. Данное обстоятельство также существенно усложняет решение задачи оптимальной фильтрации случайных процессов, наблюдаемых в ДССС.

В теории оптимальной нелинейной фильтрации случайных процессов в ДССС В. М. Артемьевым получены уравнения типа Р. Л. Стратоновича для совместной (ненормированной) первой апостериорной ПРВ совокупного процесса $\{Y^T(t), \bar{L}(t)\}^T$, определяемой так: $\omega_1(y, l, t) = P\{Y(t) = y, L(y, t) = l\}$ [8–10]. Аналогичные уравнения для условной (нормированной) апостериорной ПРВ $\omega_1^{(l)}(y, t) = P\{Y(t) = y / L(y, t) = l\}$ получены И. Е. Казаковым [9, 10].

Отдавая дань уважения этим выдающимся советским военным ученым – основателям научной школы по теории ДССС, в дальнейшем уравнение для совместной (ненормированной) первой апостериорной ПРВ будем называть уравнением Стратоновича – Артемьева, а уравнение для условной (нормированной) – уравнением Стратоновича – Казакова.

Для совместной (ненормированной) апостериорной ПРВ уравнение Стратоновича – Артемьева имеет вид [8–10]

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{\omega}_1(y, l, t)}{\partial t} = & - \sum_{p=1}^{N_r} \frac{\partial}{\partial y_p} \left[A_p^{(l)}(y, t) \bar{\omega}_1(y, l, t) \right] + \frac{1}{2} \sum_{p,k=1}^{N_r} \frac{\partial^2}{\partial y_p \partial y_k} \left[B_{pk}^{(l)}(y, t) \bar{\omega}_1(y, l, t) \right] - \\ & - \sum_{r=1}^S v^{(l,r)}(y, t) \bar{\omega}_1(y, l, t) + \sum_{r=1}^S \left\langle v^{(r,l)}(y, t) q^{(r,l)}(Y, y, t) \right\rangle^{(r)} - f^{(l)}(Y, z, t) \bar{\omega}_1(y, l, t) + \\ & + \sum_{r=1}^S \left\langle f^{(r)}(Y, z, t) \right\rangle^{(r)} \bar{\omega}_1(y, l, t), \end{aligned} \quad (4)$$

где $A_p^{(l)}(y, t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left\langle \frac{\Delta Y_p^{(l)}(t)}{\Delta t} \middle| y, t \right\rangle$ – p -я компонента вектора сноса $A^{(l)}(Y, t)$, характеризующая среднее значение локальной скорости изменения p -й фазовой координаты фильтруемого кусочно-непрерывного векторного марковского процесса $Y^{(l)}(t)$ в l -м состоянии структуры ДССС, рассчитываемая известным образом [4–10, 16, 17] исходя из вида СДУ (2);

$$B_{pk}^{(l)}(Y, t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left\langle \frac{\Delta Y_p^{(l)}(t) \Delta Y_k^{(l)}(t)}{\Delta t} \middle| y, t \right\rangle$$
 – pk -я компонента диффузионной матрицы

$B^{(l)}(Y, t)$, характеризующая скорость изменения условного корреляционного момента p -й и k -й фазовых координат векторного процесса $Y^{(l)}(t)$ в l -м состоянии структуры ДССС, рассчитываемая известным образом исходя из вида СДУ (2) [4–10, 16, 17];

$\Delta Y_p^{(l)}(t) = Y_p^{(l)}(t + \Delta t) - Y_p^{(l)}(t)$ – величина локального смещения фазовой координаты $Y_p^{(l)}$ в l -м состоянии структуры ДССС за отрезок времени Δt ;

$$f^{(l)}(Y, z, t) = \frac{1}{2} \sum_{p,q=1}^{N_z} \frac{R_{pq}^{(l)}}{Q^{(l)}} \left[z_p - \sum_{i=1}^{N_\psi} s_{pi} \psi_i(Y_i, t) \right] \left[z_q - \sum_{j=1}^{N_\psi} s_{qj} \psi_j(Y_j, t) \right] - \text{производная от натурального логарифма функции правдоподобия в } l\text{-м состоянии КНСС, именуемая в дальнейшем как обновляющий процесс;}$$

$R_{pq}^{(l)}$ – алгебраическое дополнение элемента $Q_{pq}^{(l)}(t)$ в матрице интенсивностей шумов $Q^{(l)}(t)$ в l -м состоянии КНСС;

$Q^{(l)}(t)$ – матрица интенсивностей шумов в l -м состоянии КНСС;

$|Q^{(l)}| = \det Q^{(l)}(t)$ – определитель матрицы $Q^{(l)}(t)$, рассчитываемый известным образом [4–10];

$\langle f^{(r)}(Y, z, t) \rangle^{(r)} = \int_{R^{N_y}} f^{(l)}(Y, z, t) \bar{\omega}_1(y, r, t) dy$ – усреднение от обновляющего процесса по апостериорной ПРВ случайного многомерного процесса $Y(t)$ в r -м состоянии;

$q^{(r,l)}(Y, y, t)$ – условная ПРВ начальных значений вектора фазовых координат ДССС при переходе из r -го состояния в l -е.

Для условной (нормированной) апостериорной ПРВ уравнение Стратоновича – Казакова выглядит так [9, 10]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{\omega}_1^{(l)}(y, t)}{\partial t} = & - \sum_{p=1}^N \frac{\partial}{\partial y_p} \left[A_p^{(l)}(y, t) \bar{\omega}_1^{(l)}(y, t) \right] + \frac{1}{2} \sum_{p,k=1}^N \frac{\partial^2}{\partial y_p \partial y_k} \left[B_{pk}^{(l)}(y, t) \bar{\omega}_1^{(l)}(y, t) \right] - \\ & - \sum_{r=1}^S \left[v^{(l,r)}(y, t) - \langle v^{(l,r)}(y, t) \rangle^{(l)} \right] \bar{\omega}_1^{(l)}(y, t) + \sum_{r=1}^S \frac{\bar{P}^{(r)}(t)}{\bar{P}^{(l)}(t)} \left\langle v^{(l,r)}(y, t) \left[q^{(r,l)}(Y, y, t) - \bar{\omega}_1^{(l)}(y, t) \right] \right\rangle^{(r)} - \\ & - \left[f^{(l)}(y, z, t) - \langle f^{(l)}(Y, z, t) \rangle^{(l)} \right] \bar{\omega}_1^{(l)}(y, t) - \sum_{r=1}^S \frac{(\bar{P}^{(r)}(t))^2}{\bar{P}^{(l)}(t)} \left\langle f^{(r)}(Y, z, t) \right\rangle^{(r)} (\bar{\omega}_1^{(l)}(y, t) - \bar{\omega}_1^{(r)}(y, t)) \quad (5) \end{aligned}$$

Условная апостериорная ПРВ $\bar{\omega}_1^{(l)}(y, t)$ введена И. Е. Казаковым в рассмотрение потому, что она нормирована к единице. Ее использование позволяет более просто получить уравнения для апостериорных вероятностных моментов требуемого порядка фильтруемого процесса случайной структуры.

Интегрируя уравнение Стратоновича – Артемьева вида (4) в бесконечных пределах с весом, равным единице, получим следующую формулу для расчета апостериорных вероятностей состояний структуры ДССС:

$$\begin{aligned} \dot{\bar{P}}^{(l)}(t) = & - \sum_{r=1}^S \bar{P}^{(l)}(t) \langle v^{(l,r)}(Y, t) \rangle^{(l)} + \sum_{r=1}^S \bar{P}^{(l)}(t) \langle v^{(l,r)}(Y, t) \rangle^{(r)} - \bar{P}^{(l)}(t) \langle f^{(l)}(Y, z, t) \rangle^{(l)} + \\ & + \sum_{r=1}^S (\bar{P}^{(r)}(t))^2 \langle f^{(r)}(Y, z, t) \rangle^{(r)} \quad (6) \end{aligned}$$

Интегриродифференциальное уравнение (6) представляет собой алгоритм работы идентификатора состояний структуры ДССС. При его выводе учтено, что совместная (ненормированная) и условная (нормированная) апостериорные ПРВ фильтруемого процесса случайной структуры связаны следующим соотношением:

$$\bar{\omega}_1(y, l, t) = \bar{P}^{(l)}(t) \bar{\omega}_1^{(l)}(y, t). \quad (7)$$

Для ДССС с автономными (независимыми) и полуавтономными (функционально зависимыми) переключениями состояния структуры уравнения (4) – (6) существенно упрощаются, так как в них интенсивности смены состояний $v^{(l,r)}$ и $v^{(r,l)}$ не зависят от значений вектора фазовых координат Y и поэтому их можно вынести за знаки усреднения $\langle \cdot \rangle^{(l)}$ и $\langle \cdot \rangle^{(r)}$.

Уравнения для совместной (ненормированной) и условной (нормированной) апостериорных ПРВ вида (4) и (5) в отличие от аналогичных уравнений Фоккера – Планка – Колмогорова для не апостериорных ПРВ, используемых при статистическом анализе ДССС, являются нелинейными относительно этих искомых апостериорных ПРВ из-за наличия в них квадратичных функционалов вида:

$$\left\langle f^{(l)}(Y, z, t) \right\rangle^{(l)} \bar{\omega}_1(y, l, t) = \int_{R^{N_Y}} f^{(l)}(Y, z, t) \bar{\omega}_1(y, l, t) dy \cdot \bar{\omega}_1(y, l, t); \quad (8)$$

$$\left\langle f^{(l)}(Y, z, t) \right\rangle^{(l)} \bar{\omega}_1^l(y, t) = \int_{R^{N_Y}} f^{(l)}(Y, z, t) \bar{\omega}_1^l(y, t) dy \cdot \bar{\omega}_1^l(y, t). \quad (9)$$

Эти апостериорные ПРВ даже при фильтрации линейного кусочно-непрерывного марковского процесса линейным КНСС являются негауссовыми, что делает даже эту простейшую задачу оптимальной фильтрации нелинейной. Данное обстоятельство необходимо учитывать при разработке методологии фильтрации случайных процессов в ДССС.

Уравнения для апостериорной ПРВ Стратоновича – Артемьева вида (4) и Стратоновича – Казакова вида (5) являются стохастическими интегродифференциальными нелинейными уравнениями в частных производных. Их аналитическое решение невозможно даже в одномерном случае (при фильтрации одномерного кусочно-непрерывного стохастического процесса со случайной структурой). Поэтому необходимо осуществить переход от условной (нормированной) апостериорной ПРВ вида (5) к стохастическим интегродифференциальным уравнениям для апостериорных центральных моментов в общем случае произвольного R -го порядка фильтруемого процесса случайной структуры $Y(t)$, как это было сделано авторами при разработке методологии высокоточной нелинейной фильтрации случайных процессов, наблюдаемых в ДСФС [21]. При разработке методологии высокоточной нелинейной фильтрации случайных процессов, наблюдаемых в ДССС, за основу примем аналогичную методологию, разработанную авторами статьи для высокоточной фильтрации случайных процессов в стохастических ДСФС [21], которая подлежит существенной доработке.

2. Содержание методики высокоточной оптимальной нелинейной фильтрации случайных процессов, наблюдаемых в ДССС

Данная методика включает следующие девять основных этапов работ, каждый из которых, в свою очередь, также состоит из нескольких подэтапов.

1. Получение универсальных стохастических интегродифференциальных уравнений для апостериорных центральных моментов произвольного R -го ($R = 1, 2, 3, 4, \dots$) порядка фильтруемого многомерного процесса случайной структуры $Y^{(l)}(t)$, описываемого системой СДУ вида (2).

2. На основании общего универсального стохастического интегродифференциального уравнения для апостериорных центральных моментов произвольного R -го порядка запись

уравнения для апостериорных центральных моментов первых шести (как правило, на практике больше не требуется) порядков ($R \leq 6$) для многомерного фильтруемого процесса $Y^{(l)}(t)$ в l -м состоянии структуры ДССС.

3. Получение развернутой системы стохастических интегродифференциальных уравнений для апостериорных центральных моментов требуемого порядка исходя из конкретного вида математических моделей фильтруемого процесса $Y^{(l)}(t)$, например вида (2), и канала наблюдения $Z^{(l)}(t)$, например вида (3).

4. Сведение развернутой системы стохастических интегродифференциальных уравнений для апостериорных центральных моментов требуемого порядка к соответствующей ей системе стохастических дифференциальных уравнений путем раскрытия всех усреднений в интегродифференциальных уравнениях с использованием нового метода статистической аппроксимации нелинейностей произвольного вида [21, 22].

5. Получение усеченной (ограниченной) и замкнутой системы стохастических дифференциальных уравнений для учитываемых итерационным образом апостериорных центральных моментов фильтруемого процесса случайной структуры $Y^{(l)}(t)$.

6. Расчет безусловных (с учетом наличия S состояний структуры ДССС) апостериорных центральных моментов фильтруемого многомерного кусочно-непрерывного случайного процесса по значениям его условных апостериорных центральных моментов в каждом l -м ($l = \overline{1, S}$) состоянии.

7. Выбор критерия оптимальности фильтрации многомерного стохастического процесса случайной структуры $\{Y^T(t), L(y, t)\}^T$ при наблюдаемых и ненаблюдаемых моментах смены структуры и составление алгоритмов работы (синтез) высокоточного оптимального фильтра.

8. Определение недостающих начальных условий для интегрирования замкнутой системы стохастических дифференциальных уравнений для учитываемых итерационным образом апостериорных центральных моментов фильтруемого процесса случайной структуры $Y^{(l)}(t)$.

9. Численное интегрирование на ЭВМ системы стохастических дифференциальных уравнений для учитываемых апостериорных центральных моментов, уточнение алгоритмов фильтрации и получение оптимальных оценок фильтруемого процесса случайной структуры в реальном масштабе времени.

Подробное поэтапное изложение данной методики будет рассмотрено во второй части данной статьи.

Список литературы

1. Современная и прикладная теория управления. Оптимизационный подход к теории управления: в 3 т. / под ред. А. А. Колесникова. – Таганрог: ТРТУ, 2000.
2. Справочник по теории автоматического управления / под ред. А. А. Красовского. – М.: Наука, 1987.
3. Методы классической и современной теории автоматического управления: учеб.: в 5 т. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004.
4. Казаков, И. Е. Методы оптимизации стохастических систем / И. Е. Казаков, Д. И. Гладков. – М.: Наука, 1987.
5. Пугачев, В. С. Теория стохастических систем / В. С. Пугачев, И. Н. Сеницын. – М.: Логос, 2004.
6. Пугачев, В. С. Стохастические дифференциальные системы. Анализ и фильтрация / В. С. Пугачев, И. Н. Сеницын. – М.: Наука, 1990. – 632 с.

7. Нелинейные системы управления: описание, анализ и синтез / А. В. Пантелеев [и др.]. – М.: Вуз. кн., 2008. – 312 с.
8. Артемьев, В. М. Теория систем со случайными изменениями структуры / В. М. Артемьев. – Минск: Вышэйш. шк., 1979. – 186 с.
9. Казаков, И. Е. Оптимизация динамических систем случайной структуры / И. Е. Казаков, В. М. Артемьев. – М.: Наука, 1980. – 368 с.
10. Казаков, И. Е. Анализ систем случайной структуры / И. Е. Казаков, В. М. Артемьев, В. А. Бухалев. – М.: Физматлит, 1993. – 272 с.
11. Харари, Ф. Теория графов / пер. с англ. под ред. Г. П. Гаврилова. – Изд. 2-е. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 296 с.
12. Большаков, И. А. Прикладная теория случайных потоков / И. А. Большаков, В. С. Ракошиц. – М.: Сов. радио, 1978.
13. Артемьев, В. М. Дискретные системы управления со случайным периодом квантования / В. М. Артемьев, А. В. Ивановский. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 96 с.
14. Климов, Г. П. Теории массового обслуживания / Г. П. Климов. – М.: Моск. ун-т, 2011. – 312 с.
15. Бухараев, Р. Г. Основы теории вероятностных автоматов / Р. Г. Бухараев. – М.: Наука, 1985. – 288 с.
16. Колмогоров, А. Н. Элементы теории функций и функционального анализа / А. Н. Колмогоров, С. В. Фомин. – М.: Наука, 1981.
17. Синицын, И. Н. Фильтры Калмана и Пугачева: учеб. пособие / И. Н. Синицын. – М.: Унив. кн., Логос, 2006. – 640 с.
18. Жук, С. Я. Методы оптимизации дискретных систем со случайной структурой: моногр. / С. Я. Жук. – Киев: КПИ, 2008. – 232 с.
19. Федосов, Е. А. Системы управления конечным положением в условиях противодействия среды / Е. А. Федосов, В. В. Инсаров, О. С. Селивохин. – М.: Наука, 1989. – 272 с.
20. Бухалев, В. А. Оптимальное сглаживание в системах со случайной скачкообразной структурой / В. А. Бухалев. – М.: Физматлит, 2013. – 188 с.
21. Борисов, А. В. Оптимальная фильтрация состояний специальных управляемых систем случайной структуры / А. В. Борисов, А. И. Стефанович // Теория и системы управления. – 2007. – № 3. – С. 16–26.
22. Косачев, И. М. Методология высокоточной нелинейной фильтрации случайных процессов в стохастических динамических системах с фиксированной структурой / И. М. Косачев, Ю. Е. Кулешов // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2014. – № 4 (45). – С. 125–161.
23. Косачев, И. М. Аналитическое моделирование стохастических систем / И. М. Косачев, М. Г. Ерошенко. – Минск: Навука і тэхніка, 1993. – 264 с.

*Сведения об авторах:

Косачев Иван Михайлович.

Кулешов Юрий Евгеньевич.

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 15.04.2016 г.

КОМПЛЕКСНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ РАЗВЕДЫВАТЕЛЬНО-УДАРНОЙ СИСТЕМЫ

П. С. Макул, магистр технических наук;
В. М. Берикбаев, кандидат технических наук, доцент;
И. Н. Комаров, кандидат технических наук, доцент *

В статье рассматривается реализация комплексной математической имитационной модели разведывательно-ударной системы. Описываются алгоритм работы модели и математическая реализация этапов работы модели. Приведены варианты модельных экспериментов, подтверждающих возможности модели.

The article discusses the realization of complex mathematical simulation model of reconnaissance-strike system. The algorithm of work of model and mathematical realization of stages of work of model are described. Variants of model experiments confirming the model features are given.

Современный вооруженный конфликт характеризуется высокой динамичностью и большим количеством способов и приемов противоборства, наличием различных специализированных сил и средств, среди которых особое место занимают разведывательно-ударные системы (РУС). Ключевым звеном такой системы являются воздушные командные пункты (КП), которым отводится роль оперативного центра авиационной поддержки и поста обнаружения, оповещения и управления.

Возможные варианты действий воздушного противника целесообразно проигрывать с помощью методов математического моделирования боевых действий. В наших Вооруженных Силах для анализа противоборства средств воздушного нападения (СВН) и сил ПВО принята на боевое обеспечение система моделирования боевых действий (СМБД) «Свислочь». В данной статье рассмотрена актуальная задача – совершенствование математических моделей, предназначенных для оценки эффективности боевого применения современных СВН.

В существующей СМБД имитация действий воздушного противника осуществляется в модели удара СВН. Под ударом СВН понимается совокупность эшелонов противника, распределенных в пространстве и времени, осуществляющих полет по заданному маршруту в соответствии с поставленной боевой задачей (БЗ). Модель СВН предназначена для моделирования удара воздушного противника по различным наземным объектам, включая объекты обороны и средства ПВО [1]. В состав комплексной модели удара СВН входят модели эшелона, тактической группы (ТГ), воздушного объекта (ВО).

Тактическая группа представляет собой совокупность обладающих рядом общих характеристик различных типов ВО, летящих до определенной точки (точки разлета) по одному маршруту и выполняющих полет в определенном боевом порядке. Для формирования боевого порядка ТГ используется так называемый конструктор ТГ. Как и для эшелона, в ТГ высота и скорость полета задаются для головного ВО. Для остальных ВО, входящих в ТГ, параметры полета формируются автоматически.

Несмотря на широкий перечень возможностей модели СВН, ей присущи следующие принципиальные ограничения. Во-первых, данная модель является, по сути, статичной, отражающей только один первоначально спланированный вариант массированного ракетного авиационного удара (МРАУ) с заранее определенной логикой выбора объектов удара (ОУ) для различных ТГ, включая ударные группы (УГ). Во-вторых, данная модель принципиально не может работать по динамическим ОУ, изменяющим свое местоположение (за сравнительно продолжительный период проведения отдельного МРАУ). В-третьих, не

предусмотрено изменение логики проведения самого МРАУ. В целях устранения данных ограничений стала актуальной разработка новой модели, сочетающей в себе все достоинства модели СВН, но не ограниченной вышеупомянутыми допущениями.

Важнейшим элементом комплексной математической имитационной модели (КМИМ) РУС [2] являются воздушные КП, которые могут реализовываться на базе самолетов дальнего радиолокационного обнаружения и управления авиацией (ДРЛО и УА) E-3 AWACS и E-8C JSTARS, а также самолеты-разведчики типа RC-135U/W. Модели данных КП осуществляют управление воздушной наступательной операцией (ВНО), наводят ударную авиацию противника на ОУ, могут производить перераспределение СВН в соответствии с развитием текущей обстановки. В КМИМ РУС модель воздушного КП, структура основных модулей которого приведена на рисунке 1, позволяет проводить более полный анализ противоборства СВН и ПВО, наиболее приближенного к реальным боевым действиям.

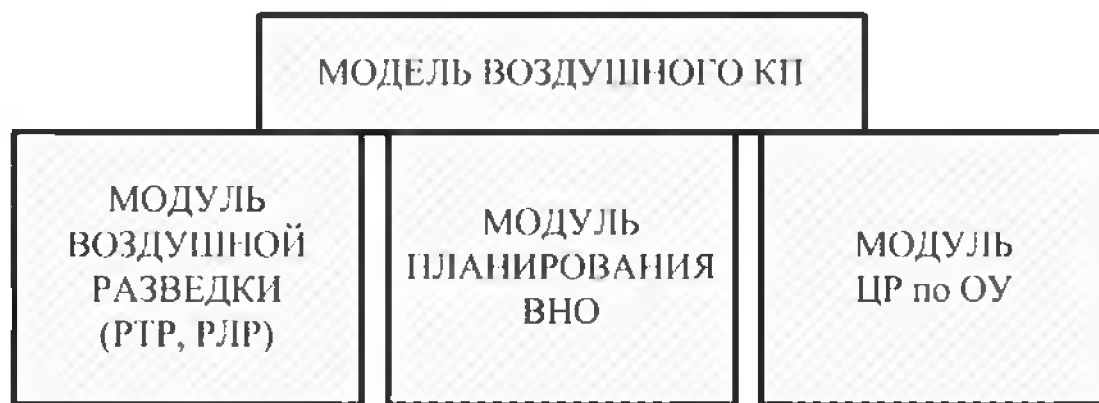


Рисунок 1. – Структура модели воздушного КП

Наряду с созданием отдельной модели воздушного КП в состав модели РУС включены новые структурные элементы: модуль зон барражирования (для самолетов ДРЛО), модуль бортовой радиолокационной станции (БРЛС), модуль атаки на ОУ, включающий применение типовых маневров в вертикальной плоскости.

В целом функционирование модели РУС осуществляется в соответствии с разработанным алгоритмом. Работа общего алгоритма модели начинается с ввода данных по наземным объектам, определения состава РУС и установки весовых значений признака приоритета (ранга важности) ОУ. В ходе формирования таблицы боеготовых УГ производится анализ возможности выполнения БЗ назначенным составом РУС с учетом таких параметров, как боезапас, топливо, и т. д. Здесь же осуществляется проверка боеготовности воздушных КП.

В ходе ведения воздушной разведки осуществляется поиск целей. По результатам выполнения данного этапа алгоритма принимается решение о наличии разведанных ОУ. При отсутствии разведанных ОУ осуществляется повторная воздушная разведка с учетом изменений, происшедших за период модельного времени.

Далее выполняется проверка боеготовых и свободных УГ. При их наличии происходит формирование таблицы целераспределения (ЦР) на основе таблицы ОУ. Затем осуществляется анализ возможности уничтожения данного ОУ свободными УГ. При их отсутствии цель временно исключается из ЦР. После этого алгоритм проверяет наличие новых разведанных.

При отсутствии свободных УГ осуществляется проверка приоритета ОУ относительно сформированной таблицы распределенных ОУ. Если данный ОУ будет иметь приоритет ниже, чем объекты в сформированной таблице, то алгоритм будет ожидать появления свободной УГ. Если приоритет ОУ будет превышать приоритет какого-либо объекта в таблице распределенных ОУ, то будет осуществлена проверка выхода УГ на рубеж ведения

огня по объектам, имеющим более низкий приоритет. Если какая-либо УГ будет находиться по указанному курсу на рубеже ведения огня, но еще не вышла на него, то осуществляется переформирование таблицы ЦР. После этого приоритетная цель запишется на освободившееся место. Далее следуют проверка возможности уничтожения цели, выдача целеуказания и наведение УГ на ОУ.

При наличии разведанных осуществляется проверка установки флажка «ручной ввод» и алгоритм переключится на выполнение ручного ЦР, которое может выполняться оператором модели. После проведенного ЦР между УГ осуществляются выдача целеуказания и наведение УГ на ОУ. При отсутствии флажка «ручной ввод» алгоритм осуществляет автоматизированное ЦР ОУ согласно их признакам приоритета.

После выполнения УГ задачи по указанному ОУ осуществляется проверка его состояния (уничтожен/не уничтожен). Если ОУ не уничтожен, то он остается в списке ОУ и по нему осуществляется повторное ЦР. Если ОУ будет уничтожен, то осуществляется проверка выполнения БЗ.

При невыполнении БЗ происходит проверка УГ, осуществлявшей задачу по данному ОУ. При ее боеготовности возвращаемся к алгоритму ЦР, при небоготовности УГ осуществляется ее исключение из списка боеготовых. После этого проводится анализ наличия боеготовых УГ, способных выполнять задачи по уничтожению имеющихся ОУ. При их наличии продолжится выполнение ЦР УГ по ОУ. При отсутствии боеготовых УГ, способных выполнять БЗ по разведанным и неуничтоженным ОУ, осуществляется выход из алгоритма.

Ключевым элементом рассмотренного алгоритма является модуль воздушной разведки, в котором осуществляется ведение как радиолокационной, так и радиотехнической разведки. В ходе воздушной разведки на КП анализируются различные ситуации, возникающие при обнаружении наземных объектов на цифровой карте местности (ЦКМ).

В расчете вероятности обнаружения наземного объекта $P_{об}$ участвуют только те объекты, у которых расстояние до самолета-разведчика $R_{об}$ меньше либо равно радиусу зоны разведки R_0 ($R_{об} \leq R_0$). При этом

$$P_{об} = f(K_{об}), \quad (1)$$

где $K_{об}$ – коэффициент радиолокационного контраста объекта на фоне данной местности.

Данный коэффициент рассчитывается по формуле [3]:

$$K_{об} = \frac{|\overline{\sigma_{об}} - \sigma_{\phi} \Delta S|}{\sigma_{пор} + \sigma_{\phi} \Delta S}, \quad (2)$$

где σ_{ϕ} – удельная эффективная отражающая поверхность (ЭОП) фона;

$\overline{\sigma_{об}}$ – ЭОП объекта, приведенная к элементу разрешения БРЛС;

ΔS – площадь элемента разрешения БРЛС;

$\sigma_{пор}$ – пороговая чувствительность БРЛС.

Для расчета $\overline{\sigma_{об}}$ применяется формула

$$\overline{\sigma_{об}} = \frac{\sigma_{об}}{S_{об}} \Delta S, \quad (3)$$

где $S_{об}$ – площадь объекта;

$\sigma_{об}$ – ЭОП объекта.

Решение об обнаружении принимается исходя из сравнения значения $K_{об}$ с $K_{пор}$ (пороговая контрастная чувствительность БРЛС самолета-разведчика).

Реализация логической функции принятия решения об обнаружении ($F_{об}$) формируется исходя из необходимости выполнения следующих условий: объект разведки находится в пределах возможной зоны разведки (событие А); значения $K_{об} \geq K_{пор}$ (событие Б); выполняется условие $P_{об} \geq 0,5$ (событие В). Следовательно, $F_{об}$ (А, Б, В) имеет вид

$$F_{об} = A \& B \& B. \quad (4)$$

Учитывая необходимость реализации в модели РУС достаточно сложной комбинации возможного участия и иерархии соподчиненности воздушных КП и самолетов-разведчиков, в алгоритме модели принято обозначать самолет типа Е-3С индексом 1, самолет Е-8С – индексом 2, самолет RS-135 – индексом 3. В целом процедуру обнаружения наземных объектов можно представить в виде логической функции F_p . Значение данной функции определяется исходя из взаимосвязей следующих событий:

исправность воздушных КП ($I_{КП1}$, $I_{КП2}$);

исправность самолетов-разведчиков (I_{p1} , I_{p2} , I_{p3});

принятие решения об обнаружении объекта разведки средствами воздушной разведки заданного типа самолета ($F_{об1}$, $F_{об2}$, $F_{об3}$).

Проанализировав алгоритм разведки наземных целей, в модели РУС необходимо выделить ключевое для данного алгоритма событие F_p' , характеризующее боеготовность и соподчиненность воздушных КП и формируемое из событий $I_{КП1}$ и $I_{КП2}$, так как наличие хотя бы одного из самолетов, выполняющих функции воздушного КП, является необходимым условием для работы модели. Головным КП назначается один из самолетов согласно иерархии, т. е. при отсутствии в воздухе самолета Е-3С функции воздушного КП перейдут к Е-8С, и наоборот. При наличии обоих самолетов функции управления передаются Е-3С, как головному в модели РУС.

Исходя из вышесказанного формализованная логическая функция имеет вид

$$F_p' (I_{КП1}, I_{КП2}) = I_{КП1} \parallel (\overline{I_{КП1}} \& I_{КП2}) = I_{КП1} \parallel \overline{I_{КП1}} \& I_{КП1} \parallel I_{КП2} = I_{КП1} \parallel I_{КП2}. \quad (5)$$

Решение об обнаружении наземного объекта принимается исходя из наличия воздушного КП (истинное значение функции $F_p' (I_{КП1}, I_{КП2})$), исправности средств разведки на самолетах-разведчиках и верного решения функции обнаружения цели $F_{об}$ (А, Б, В). Формализация данных условий имеет вид

$$F_p = F_p' \& (I_{p1} \& F_{об1} \parallel I_{p2} \& F_{об2} \parallel I_{p3} \& F_{об3}). \quad (6)$$

Важнейшим элементом модели является алгоритм ЦР боеготовых УГ на обнаруженные наземные ОУ. Распределение ОУ закрепляется в таблице ЦР и может проводиться согласно применяемым в модели критериям. Таковыми могут быть дальность между ОУ и УГ, а также важность ОУ.

Целераспределение по дальности заключается в анализе просмотра ОУ в порядке их обнаружения и назначения на них ближайших УГ из числа свободных. Для выбора группы осуществляется перебор свободных УГ, в ходе которого вычисляется текущее расстояние между самолетами и ОУ, и выбирается группа с минимальной дальностью до ОУ. Для выбранной УГ проверяется возможность выполнения задачи уничтожения данного объекта с учетом тактического радиуса действия при полете на оптимальной высоте и необходимого боевого наряда.

При реализации критериальной обработки по важности осуществляется ранжирование ОУ согласно принятым в модели условным варьируемым приоритетам. Так, первый (наиболее высокий) приоритет получают РЛС системы ПВО, второй – ЗРК. Далее располагаются КП и прочие объекты обороны (таблица).

В модели первоначально происходит сортировка ОУ в таблице ЦР согласно рангу объекта, при этом наиболее приоритетные цели ставятся в начале таблицы.

Отличительной чертой данного алгоритма является возможность производить динамическое перераспределение УГ на разные ОУ в соответствии с развитием текущей обстановки. Для проверки данного алгоритма был проведен ряд модельных экспериментов, подтвердивших его работоспособность.

Таблица. – Ранжирование наземных объектов

Условный ранг объекта	Перечень объектов
1	РЛС
2	ЗРК
3	КП ПВО
4	Объекты, не являющиеся компонентами ПВО
5	Прочие объекты наземной инфраструктуры

Для наглядности на рисунке 2 отображен один из самых простых возможных вариантов, при котором одна УГ наводится на один из обнаруженных ОУ, выбранный в соответствии с его рангом. На воздушном КП, действующем в районе барражирования, происходит первичное ЦР и УГ следует к первоначально назначенному (первому обнаруженному средствами разведки) ОУ (аэродрому). При поступлении разведанных по второму объекту (наземному КП) воздушный КП осуществляет перераспределение и дает команду УГ на смену ОУ и соответственно смену курса. Это происходит в связи с тем, что вновь обнаруженный объект оказывается по рангу выше, чем первый объект.

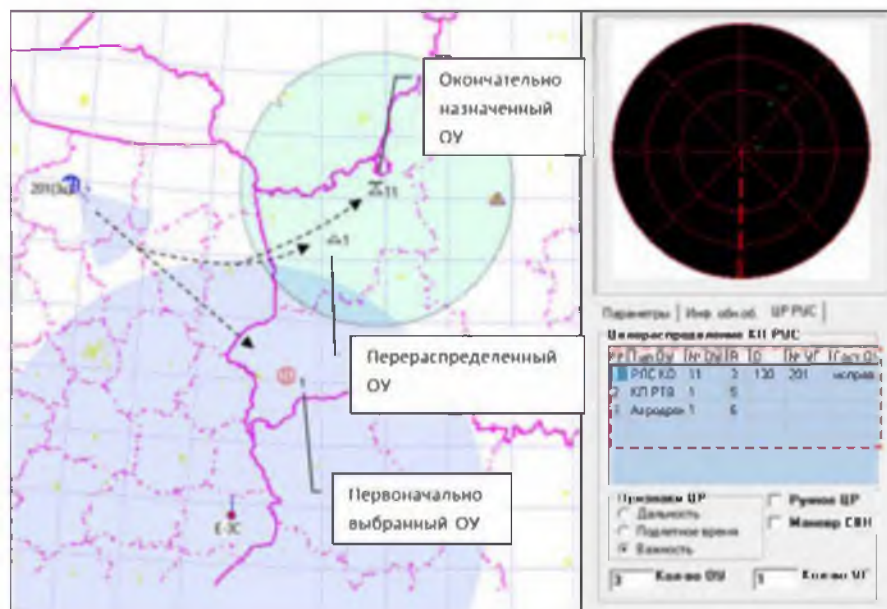


Рисунок 2. – Динамическое перераспределение ОУ

Далее в зону обзора воздушного КП попадает еще один объект (РЛС). В результате обработки разведывательной информации по нему КП определяет его ранг как наивысший среди существующих объектов в таблице ЦР и выдает команду УГ на смену курса. После того как УГ поразит ОУ, она возвращается на аэродром базирования.

Справа в дополнительном окне на модельном имитаторе индикатора воздушной обстановки на КП в динамике отображаются обнаруженные наземные цели. Под ним в реализованной таблице ЦР представлена информация об обнаруженных наземных объектах (номер, тип, состояние объекта, его ранг и дальность до него).

Следует отметить, что в модели СВН имеющийся интерфейс для нанесения маршрута ТГ на ЦКМ в принципе позволяет проложить в ручном режиме траекторию ВО в районе рубежа выхода на цель, в том числе с изменением высоты и скорости полета цели. Однако, как показывает опыт применения данной модели, такая ручная корректировка весьма затратна по времени, процедура ее применения определяется общим замыслом конкретного модельного эксперимента и во многом зависит от опыта оператора модели.

Как известно, при планировании МРАУ стараются обеспечить ударным самолетам, прежде всего бомбардировочной авиации, максимальную ракетно-бомбовую нагрузку, что ограничивает выполнение ими противозенитного маневра. Поэтому в существующей модели СВН было принято, что УГ с ходу наносят одновременный удар по заранее заданным целям и выполняют бомбометание по наземным целям с заданных высот с горизонтального полета.

Для нанесения ракетно-бомбовых ударов широко привлекаются многоцелевые истребители-бомбардировщики, оснащенные аппаратурой, позволяющей производить полет в простых и сложных метеорологических условиях днем и ночью в широком диапазоне высот и на скоростях, обеспечивающих минимальное время нахождения в радиолокационном поле обнаружения и зонах поражения. Возможность такого полета значительно повышает живучесть таких самолетов в бою. Поэтому в модели РУС особое внимание было уделено атаке как важнейшему этапу боевого полета УГ.

Осуществлена реализация различных способов атак, для выполнения которых используются такие сложные виды маневра, как пикирование и кабрирование. Математическая реализация данных маневров основывается на расчете основных пространственных параметров, обеспечивающих изменения траектории движения УГ (рисунок 3). В модели принято считать скорость цели постоянной V_{cp} . При осуществлении маневра пикирования происходит постепенная потеря высоты (ΔH_{BB}), определяемая по формуле [4]:

$$\Delta H_{BB} = r_{BB\text{cp}} (1 - \cos\theta_{\pi}), \quad (7)$$

где θ_{π} – заданный угол пикирования;

$r_{BB\text{cp}}$ – среднее значение радиуса кривизны траектории, представляемое в виде

$$r_{BB\text{cp}} = \frac{V_{cp}^2}{g(n_y - \cos(\theta_{\pi}/2))}, \quad (8)$$

где n_y – перегрузка на участке пикирования ($n_y = \cos\theta_{\pi}$).

Потерю высоты на прямолинейном участке за время t_{π} можно определить по формуле

$$\Delta H_{\pi} = V_{cp} \sin\theta_{\pi} t_{\pi}. \quad (9)$$

При выполнении маневра «горка» с заданным углом θ_{Γ} траектория самолета, набирающего высоту, рассчитывается по аналогичным формулам исходя из рисунка 3.

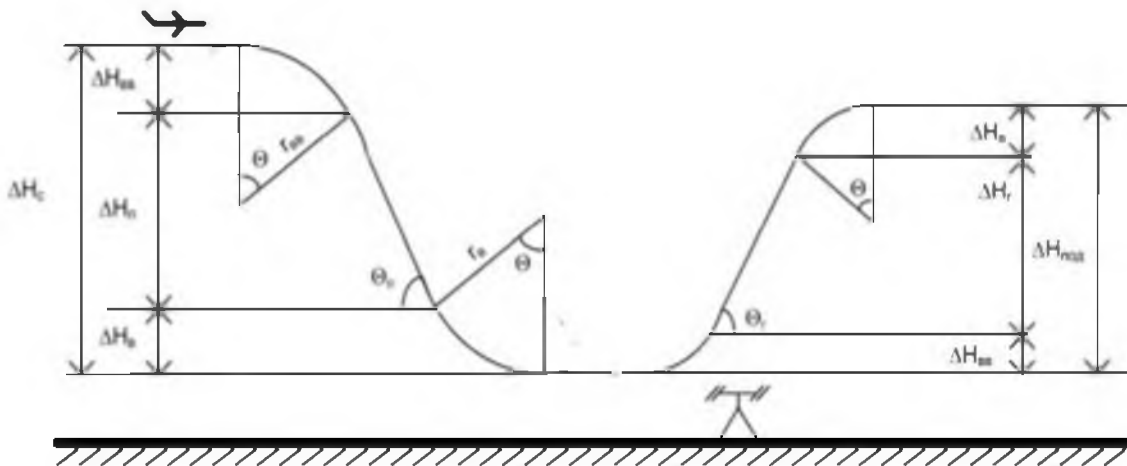


Рисунок 3. – Маневр СВН в вертикальной плоскости

Функционирование разработанной КМИМ РУС проверялось серией модельных экспериментов, моделирование одного из которых соответствовало следующей обстановке (рисунок 4). Наземная группировка состояла из 41 объекта, включая 2 объекта обороны, 14 объектов радиотехнических войск и 25 объектов зенитных ракетных войск. Налет состоял из 73 СВН (в том числе 1 самолет ДРЛО и 24 УГ по 3 самолета типа F-15E, находящихся на восьми аэродромах).

В процессе моделирования самолет ДРЛО выдвигается в зону барражирования и производит воздушную разведку района назначения. На воздушном КП после анализа разведанных происходит ЦР имеющихся УГ на ОУ. В результате формируется таблица ЦР, в которую попадают отсортированные по степени важности ОУ и назначенные на них УГ. Далее происходят взлет УГ с аэродромов базирования, полет к назначенным ОУ и атака на них с применением заданного вида маневра. Оценка эффективности авиаудара осуществляется, как правило, по двум противоречащим критериям: нанесение наземному противнику заданного ущерба при максимальном сохранении своих самолетов.



Рисунок 4. – Моделирование варианта применения РУС

Основные результаты моделирования, представленные в графическом виде на рисунке 5, рассчитывались для нескольких вариантов применения модели СВН. В первом варианте использовалась модель СВН из состава СМБД, во втором варианте – модель РУС, в третьем варианте в модели РУС атака на ОУ осуществлялась с применением маневра

в вертикальной плоскости. Для всех трех вариантов рассчитывались потери, понесенные противоборствующими сторонами (в процентах от первоначального количества ОУ и объектов СВН). Как видно из рисунка, использование в модели РУС указанных видов маневров позволяет воздушному противнику сохранить свои самолеты (их потери сократились с 85 до 56 %) при фактическом обеспечении выполнения поставленной БЗ по назначенным ОУ. Столь значимые изменения объясняются насыщенностью активных средств ПВО в конкретном эксперименте, а также подчеркивают особую важность адекватного моделирования атаки в модели СВН.

В ходе данных экспериментов особое внимание было уделено сравнительной оценке временных затрат на подготовку исходных данных по налету в модели СВН и модели РУС. В модели СВН прокладка траекторий для каждой УГ в ручном режиме с назначением ей ОУ и изменением высоты полета может достигать до 2 мин (в зависимости от уровня подготовки оператора). Таким образом, в целом подготовка модели СВН в составе 24 УГ может занять до 48 мин. В модели РУС время, затрачиваемое оператором на прокладку траекторий для каждой УГ и на распределение целей между УГ, заняло 3 с (в связи с необходимостью указания аэродрома базирования). На подготовку всего налета было затрачено 72 с.

Пролонгируя данные результаты, можно ожидать, что при подготовке больших вариантов МРАУ (например, с участием ста и более УГ) временные затраты могут составить для модели СВН до 200 мин (более 3 ч), а для модели РУС не превысят 5 мин.

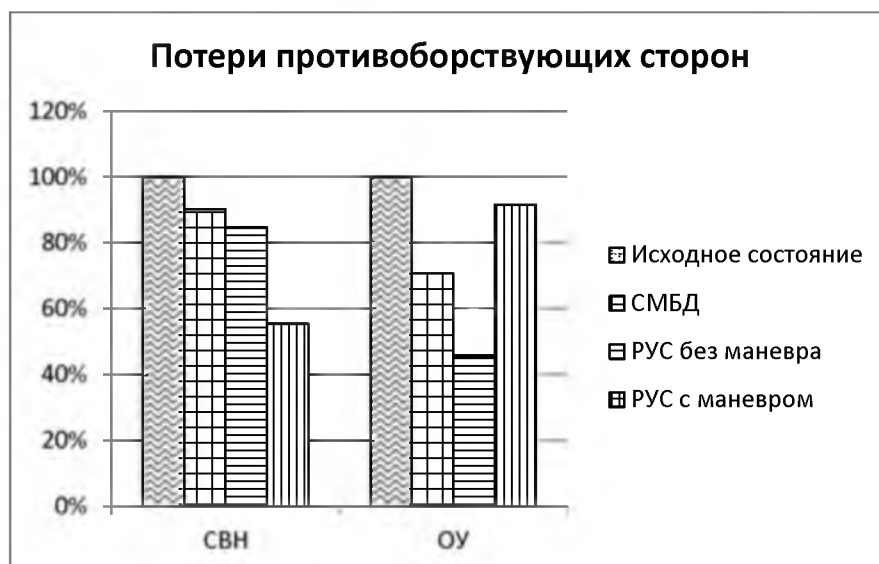


Рисунок 5. – Результаты моделирования

В заключение отметим, что в статье обоснована актуальность новой разработанной комплексной математической модели РУС, обеспечивающей проведение радиотехнической и радиолокационной разведки, осуществление ЦР (в том числе динамического) УГ на разведанные ОУ.

Как показали проведенные модельные эксперименты, реализация в данной модели атаки на наземные объекты с применением маневра в вертикальной плоскости приводит к существенному уменьшению потерь ударных самолетов, что в целом позволяет повысить точность оценки эффективности боевого применения СВН.

Применение модели РУС позволяет существенно сократить время подготовки исходных данных для модели СВН и тем самым повысить оперативность применения современных моделирующих систем.

Список литературы

1. Комплекс моделирования «Свислочь». Руководство оператора. – Минск, 2005. – 99 с.
2. Макул, П. С. Разработка комплексной математической модели разведывательно-ударной системы / П. С. Макул, В. М. Берикбаев, И. Н. Комаров// Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2015. – № 3(48). – С. 73–80.
3. Фирсаков, А. А. Основы информационного обеспечения и радиоэлектронной борьбы: курс лекций / А. А. Фирсаков, А. Е. Жучковский. – Минск, 2005. – 63 с.
4. Зимин, Г. В. Справочник офицера противовоздушной обороны / Г. В. Зимин, С. К. Бурмистров. – М.: Воениздат, 1987. – 511 с.: ил.

*Сведения об авторах:

Макул Павел Сергеевич.

Берикбаев Владимир Мурзатаевич.

Комаров Иван Николаевич.

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 19.05.2016 г.

ОБЩЕТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

УДК 629.325

ОЦЕНИВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КИНЕМАТИЧЕСКОГО ЗВЕНА С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

А. А. Бабченко*

Рассмотрена задача синтеза оптимального контура управления на основе метода аналитического конструирования регуляторов по критерию Летова-Калмана с учетом динамики радиолокационного измерителя. Проведен анализ влияния дальности начала совершения маневра цели на промах и расход нормальных ускорений ракеты в точке встречи.

Synthesis of optimal control loop taking into account measuring device according to method of analytical design with Letov-Kalman criterion is considered. Analysis of target beginning maneuver range on miss and missile normal acceleration at meeting point is conducted.

Введение

Повышение точностных характеристик и маневренных возможностей систем самонаведения в условиях интенсивного маневренного и информационного противодействия со стороны противника является актуальной задачей. В большинстве существующих систем самонаведения используется метод пропорционального наведения. Недостатками данного метода являются: большой расход нормальных ускорений ракеты при маневре цели и рост промаха при ограничении нормального ускорения [1].

Появление на вооружении ведущих авиационных государств боевых самолетов пятого поколения, обладающих свойством сверхманевренности, вызывает необходимость улучшения динамических свойств систем самонаведения.

В [2] рассмотрено решение задачи синтеза контура управления самонаводящейся ракеты без учета динамических свойств измерительного устройства. В статье предлагается решение задачи синтеза контура управления самонаводящейся ракеты с учетом динамики радиолокационного измерителя.

Постановка и решение задачи

Рассматривается контур управления самонаводящейся ракеты в вертикальной плоскости, в котором в качестве источника информации о цели используется следящий радиолокационный координатор цели, ошибка измерения которого пропорциональна угловой скорости вращения линии ракета – цель $\dot{\varphi}$ [3].

При синтезе контура управления ракета и цель представлены в виде материальных точек. В качестве объекта управления рассматривается кинематическое звено, математическая модель которого записывается в виде линеаризованного уравнения [4]:

$$\ddot{\varphi} = \frac{2|\dot{D}|}{D} \dot{\varphi} + \frac{1}{D} (W_{ц} - W_{р}), \quad (1)$$

где φ – угол визирования линии ракета – цель, отсчитанный от неподвижной оси;

D, \dot{D} – дальность и относительная скорость сближения соответственно;

$W_{ц}, W_{р}$ – нормальные ускорения цели и ракеты.

Полоса пропускания системы стабилизации ракеты шире полосы пропускания измерителя и инерционностью системы стабилизации можно пренебречь [5]. Тогда действующее на ракету нормальное ускорение W_p можно считать управлением. Значение нормального ускорения цели $W_{ц}$ не измеряется и должно быть оценено на борту ракеты. В качестве априорной модели маневра цели принята стационарно-коррелированная модель, в которой нормальным ускорением служит стационарный случайный процесс с заданной функцией корреляции [2]. Формирующий фильтр для такой модели имеет вид:

$$\dot{W}_{ц} = -\frac{1}{T_{ц}}W_{ц} + \frac{1}{T_{ц}}\xi, \quad (2)$$

где $T_{ц}$ – постоянная времени маневрирования; ξ – центрированный гауссовский шум с известной интенсивностью N_{ξ} .

Положив $\varphi = x_1$, $\dot{\varphi} = x_2$, $W_{ц} = x_3$, математическая модель кинематического звена будет иметь вид:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = \frac{2|D|}{D(t)}x_2 + \frac{1}{D(t)}x_3 - \frac{1}{D(t)}U, \\ \dot{x}_3 = -\frac{1}{T_{ц}}x_3 + \frac{1}{T_{ц}}\xi. \end{cases} \quad (3)$$

Или в векторно-матричной форме:

$$\dot{\mathbf{X}}(t) = \mathbf{F}(t)\mathbf{X}(t) + \mathbf{G}(t)\mathbf{U}(t) + \mathbf{J}\xi(t), \quad (4)$$

где $\mathbf{X}(t) = (x_1 \ x_2 \ x_3)^T$ – вектор состояния системы;

$$\mathbf{F}(t) = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & \frac{2|D|}{D(t)} & \frac{1}{D(t)} \\ 0 & 0 & -\frac{1}{T_{ц}} \end{pmatrix} - \text{матрица системы, определяющая ее динамические}$$

характеристики; $\mathbf{G}(t) = \begin{pmatrix} 0 & -\frac{1}{D(t)} & 0 \end{pmatrix}^T$ – матрица эффективности управления;

$\mathbf{U}(t) = W_p$ – сигнал управления; $\mathbf{J} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \frac{1}{T_{ц}} \end{pmatrix}^T$ – матрица порождающих шумов.

Особенностью используемой модели состояния (3) является ее адаптация к условиям применения, обусловленная учетом влияния дальности, относительной скорости и маневров цели и ракеты.

В качестве критерия оптимальности принят терминальный критерий, представляющий собой условное математическое ожидание конечного промаха при наличии ограничения на нормальное ускорение ракеты:

$$I(\mathbf{X}(t), \mathbf{U}(t), t_0, t_K) = M \left\{ \mathbf{X}^T(t_K) \mathbf{S}_K \mathbf{X}(t_K) + \int_{t_0}^{t_K} \mathbf{U}^T(t) \mathbf{B} \mathbf{U}(t) dt \right\}, \quad (5)$$

где M – символ математического ожидания; $\mathbf{S}_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ – матрица штрафа на точность в момент окончания управления; $\mathbf{V} = b = \frac{\Pi_{\text{доп}}^2}{W_{\text{расп}}^2}$ – коэффициент штрафа на управление; $\Pi_{\text{доп}}^2$ – допустимая дисперсия промаха; $W_{\text{расп}}$ – располагаемое нормальное ускорение ракеты.

Передаточная функция замкнутого гиросtabilизированного координатора цели определяется выражением

$$K_k(p) = \frac{z(p)}{x_1(p)} = \frac{1}{1 + T_k p}, \quad (6)$$

где $T_k = \frac{1}{K_{\Pi} K_{\text{пр}}}$ – постоянная времени координатора цели; K_{Π} – коэффициент передачи пеленгатора; $K_{\text{пр}}$ – коэффициент передачи привода; $z = \hat{\varphi}$ – измеренный угол визирования линии ракета – цель.

При допущении о точном измерении угла тангажа ракеты упрощенная структурная схема гиросtabilизированного координатора цели будет иметь вид, представленный на рисунке 1 [3].

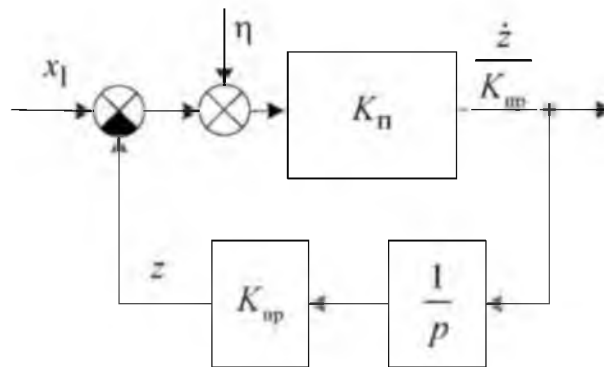


Рисунок 1. – Упрощенная структурная схема следящего координатора цели

Уравнение динамики координатора имеет вид

$$z = (x_1 - z)K_{\Pi}K_{\text{пр}} + \eta K_{\Pi}K_{\text{пр}}, \quad (7)$$

или в векторно-матричной форме

$$\mathbf{Z} = \frac{d\mathbf{Z}}{dt} = \mathbf{LZ} + \mathbf{CX} + \mathbf{N}\eta, \quad (8)$$

где η – скалярный белый шум измерения с интенсивностью N_{η} ;

$$\mathbf{Z} = z; \quad \mathbf{L} = -K_{\Pi}K_{\text{пр}}; \quad \mathbf{N} = K_{\Pi}K_{\text{пр}}; \quad \mathbf{C} = \begin{pmatrix} K_{\Pi}K_{\text{пр}} & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Далее будем проводить синтез контура управления, следуя [6]. Введем преобразованный вектор измерения:

$$\mathbf{Z}^* = \mathbf{Z} - \mathbf{LZ} = \mathbf{CX} + \mathbf{N}\eta, \quad (9)$$

который в координатной форме запишется в виде

$$z^* = z + K_{\Pi}K_{\text{пр}}z. \quad (10)$$

Согласно теореме разделения, алгоритмы управления и оценивания можно синтезировать независимо [7]. Для применения теории оптимальной линейной фильтрации необходимо, чтобы шум измерения представлял собой гауссовский белый шум [6]. Для

получения «обеленных» измерений преобразуем схему координатора цели к виду, представленному на рисунке 2.

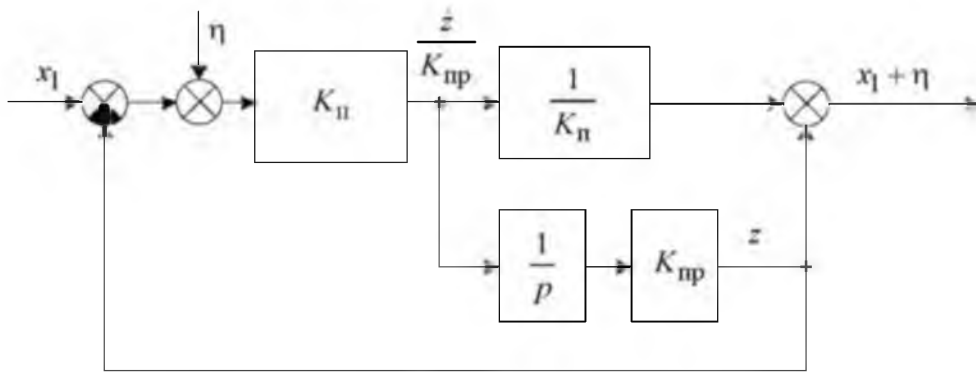


Рисунок 2. – Преобразованная структурная схема координатора цели

В соответствии с алгоритмом оптимальной линейной фильтрации для объекта управления (4) при наличии наблюдений (10) оптимальную по критерию минимума суммарной дисперсии ошибок оценку математического ожидания вектора состояния можно получить, используя алгоритм [7]:

$$\dot{\bar{\mathbf{X}}}(t) = \mathbf{F}(t)\bar{\mathbf{X}}(t) + \mathbf{G}(t)\mathbf{U}(t) + \mathbf{V}(z^* - \mathbf{C}\bar{\mathbf{X}}(t)), \quad \bar{\mathbf{X}}(t_0) = \langle \mathbf{X}_0 \rangle, \quad (11)$$

где $\mathbf{V}^T = (b_{11} \ b_{21} \ b_{31})$ – матрица коэффициентов усиления, определяемая точностью априорных сведений; $\langle \mathbf{X}_0 \rangle$ – математическое ожидание вектора состояния $\mathbf{X}(t_0)$.

В координатной форме (11) имеет вид:

$$\begin{cases} \dot{\bar{x}}_1 = \bar{x}_2 + b_{11}(z^* - K_{\text{п}}K_{\text{нр}}\bar{x}_1), \\ \dot{\bar{x}}_2 = \frac{2 \cdot |D|}{D}\bar{x}_2 + \frac{1}{D}\bar{x}_3 - \frac{1}{D}W_{\text{р}} + b_{21}(z^* - K_{\text{п}}K_{\text{нр}}\bar{x}_1), \\ \dot{\bar{x}}_3 = -\frac{1}{T_{\text{п}}}\bar{x}_3 + b_{31}(z^* - K_{\text{п}}K_{\text{нр}}\bar{x}_1). \end{cases} \quad (12)$$

Матрица коэффициентов усиления \mathbf{V} определяется из условия минимума среднего квадрата ошибки фильтрации [6]:

$$\mathbf{V}(t) = \mathbf{P}(t)\mathbf{C}^T (\mathbf{N}N_{\eta}\mathbf{N}^T)^{-1} = \frac{\mathbf{P}(t)\mathbf{C}^T (\mathbf{N}\mathbf{N}^T)^{-1}}{N_{\eta}}, \quad (13)$$

где $\mathbf{P}(t)$ – симметричная, положительно определенная ковариационная матрица ошибок фильтрации, удовлетворяющая уравнению Риккати:

$$\dot{\mathbf{P}}(t) = \mathbf{F}(t)\mathbf{P}(t) + \mathbf{P}(t)\mathbf{F}^T(t) - \mathbf{P}(t)\mathbf{C}^T (\mathbf{N}N_{\eta}\mathbf{N}^T)^{-1} \mathbf{C}\mathbf{P}(t) + \mathbf{S}N_{\xi}\mathbf{S}^T, \quad \mathbf{P}(0) = \mathbf{P}_0. \quad (14)$$

С учетом (9) уравнения (12) примут вид:

$$\begin{cases} \dot{\bar{x}}_1 = \bar{x}_2 + \frac{p_{11}}{N_\eta}(x_1 + \eta - \bar{x}_1) = \bar{x}_2 + \frac{p_{11}}{N_\eta}(z_1 - \bar{x}_1), \\ \dot{\bar{x}}_2 = \frac{2|D|}{D}\bar{x}_2 + \frac{1}{D}\bar{x}_3 - \frac{1}{D}W_p + \frac{p_{21}}{N_\eta}(z_1 - \bar{x}_1), \\ \dot{\bar{x}}_3 = -\frac{1}{T_\Pi}\bar{x}_3 + \frac{p_{31}}{N_\eta}(z_1 - \bar{x}_1), \end{cases} \quad (15)$$

где $z_1 = x_1 + \eta$ – «обеленные» измерения.

В силу симметричности матрицы $\mathbf{P}(t)$ матричное дифференциальное уравнение (14) эквивалентно системе шести обыкновенных дифференциальных уравнений с известными переменными коэффициентами $2|D|/D$, $1/D$ и постоянными параметрами N_η , N_ξ , T_Π :

$$\begin{cases} \dot{p}_{11} = p_{12} + p_{12} - \frac{p_{11}p_{11}}{N_\eta}, \\ \dot{p}_{12} = p_{21} = p_{22} + \frac{2|D|}{D}p_{12} + \frac{1}{D}p_{13} - \frac{p_{11}p_{12}}{N_\eta}, \\ \dot{p}_{13} = p_{31} = p_{23} - \frac{1}{T_\Pi}p_{13} - \frac{p_{11}p_{13}}{N_\eta}, \\ \dot{p}_{22} = \frac{4|D|}{D}p_{22} + \frac{2}{D}p_{23} - \frac{p_{12}p_{12}}{N_\eta}, \\ \dot{p}_{23} = p_{32} = \frac{2|D|}{D}p_{23} + \frac{1}{D}p_{33} - \frac{1}{T_\Pi}p_{23} - \frac{p_{12}p_{13}}{N_\eta}, \\ \dot{p}_{33} = -\frac{2}{T_\Pi}p_{33} - \frac{p_{13}p_{13}}{N_\eta} + \frac{1}{N_\xi T_\Pi}. \end{cases} \quad (16)$$

Система (16) является системой нелинейных и нестационарных уравнений Риккати, которая решается численно при определенных условиях. С точки зрения точности наведения большой интерес представляет ее решение на конечном участке наведения, получить которое можно только путем имитационного моделирования. Рассмотрены два случая нахождения решений системы (16) при наложении принципиально упрощающих допущений.

1-й случай (решение при «замороженных коэффициентах»)

На достаточно коротком временном промежутке рассматривается система (16) как «система с замороженными коэффициентами». Соответственно коэффициенты $2 \cdot |D|/D$, $1/D$ считаются постоянными. Согласно [6], у системы дифференциальных уравнений Риккати (16) существует единственное стационарное решение $(p_{11}, p_{12} = p_{21}, p_{13} = p_{31}, p_{22}, p_{23} = p_{32}, p_{33})$, формально удовлетворяющее нелинейной алгебраической системе Риккати, полученной из (16) при $\dot{p}_{11} = \dot{p}_{12} = \dot{p}_{13} = \dot{p}_{22} = \dot{p}_{23} = \dot{p}_{33} = 0$.

Пределы при $\frac{1}{D} \rightarrow 0$ имеют следующий вид:

$$(p_{12} = p_{21}) \rightarrow 0, (p_{13} = p_{31}) \rightarrow \frac{e \left(\sqrt{c^5 - 4c^4 D + 4c^3 D^2 - ad} - c^2 + 2cD \right)}{a}$$

$$p_{22} \rightarrow \frac{ap_{13}^2 + cd}{4cD(c-2D)}, (p_{23} = p_{32}) \rightarrow \frac{ap_{13}^2 + cd}{2c(c-2D)}, p_{33} \rightarrow -\frac{ap_{13}^2 + cd}{2c}, p_{11} \rightarrow 0,$$

где $a = \frac{1}{N_{\eta}}$, $c = \frac{1}{T_{\Pi}}$, $d = \frac{1}{N_{\xi}}$.

2-й случай (медленный перехват)

Рассмотрим случай, когда величина $\frac{1}{D(t)}$ достаточно мала, что соответствует начальному участку самонаведения. Отбросив в системе (16) члены с $\frac{1}{D(t)}$, получим упрощенную систему дифференциальных уравнений Риккати. Эту систему уравнений можно решить аналитически. При $p_{12} \rightarrow 0$ частное решение первого и пятого уравнений системы имеет вид [8]:

$$p_{11}(t) = \frac{1}{p_{11}(0) + at}, \quad t \geq 0,$$

$$p_{23}(t) = p_{23}(0)e^{-\frac{t}{T_n}}, \quad t \geq 0, \quad (17)$$

$$p_{22}(t) = 0.$$

По отношению к $p_{13}(t)$ третье уравнение упрощенной системы (16) с учетом выражений (17) является линейным неоднородным дифференциальным уравнением с общим решением:

$$p_{13}(t) = \left(\frac{p_{23}(0)(p_{11}(0) + at)^2 + 2a^2 p_{11}(0)p_{13}(0) - p_{11}^3(0)p_{23}(0)}{2a^2} \right) \times$$

$$\times \frac{a}{p_{11}(0) + at} e^{-\frac{t}{T_n}}. \quad (18)$$

Шестое уравнение упрощенной системы (16) является линейным неоднородным дифференциальным уравнением относительно $p_{33}(t)$ с общим решением:

$$p_{33}(t) = e^{-\frac{2t}{T_n}} \left[\frac{4p_{11}^2(0)p_{13}^2(0)a^4 - 4p_{11}^4(0)p_{13}(0)p_{23}(0)a^2 + p_{11}^6(0)p_{23}^2(0)}{4a^3 \left(t + \frac{p_{11}(0)}{a} \right)} + \right.$$

$$\left. + \frac{de^{\frac{2t}{T_n}}}{2} - \frac{at^3 p_{23}^2(0)}{12} - \frac{t^2 p_{23}^2(0)p_{11}(0)}{4} + C_2 - \right.$$

$$\left. - \frac{t(4p_{11}(0)p_{13}(0)p_{23}(0)a^2 + p_{11}^2(0)p_{23}^2(0) - 2p_{11}^2(0)p_{23}^2(0))}{4a^3 \left(t + \frac{p_{11}(0)}{a} \right)} \right]. \quad (19)$$

где $C_2 = p_{33}(0) - 0,5d - \frac{16p_{11}^6(0)p_{13}^3(0)a^6 p_{23}(0) + p_{11}^6(0)p_{23}(0)}{4a^2 p_{11}(0)}$

Итак, уравнения (17), (18), (19) – это аналитические выражения компонент ковариационной матрицы для случая медленного перехвата.

По результатам исследования можно определить стратегию выработки методических рекомендаций по использованию различных допущений, в рамках которых можно аналитически прогнозировать асимптотику решения уравнения Риккати, что актуально на начальных этапах проектирования контура управления.

В [9] показано, что оптимальным по критерию минимума промаха и энергии, затрачиваемой на управление, будет сигнал:

$$U = W_p(t) = 3 \left| \bar{D} \right| \bar{\varphi} + W_{ц}. \quad (20)$$

Спецификой алгоритма (20) является учет в нем маневра цели, что дает возможность снизить систематическую ошибку наведения и повысить его точность при наведении на интенсивно маневрирующие цели.

С учетом (15), (20) и рисунка 2 структурная схема контура управления самонаводящейся ракетой будет иметь вид, представленный на рисунке 3.

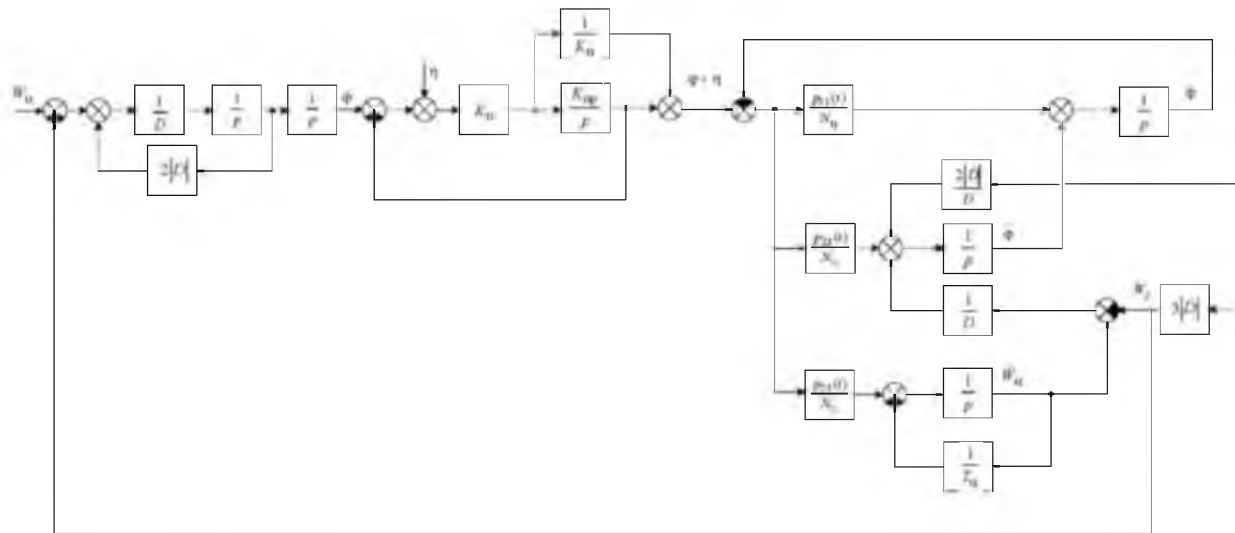


Рисунок 3. – Структурная схема контура управления самонаводящейся ракетой

Результаты моделирования

По результатам математического моделирования проведен сравнительный анализ потенциальных показателей точности и экономичности синтезированного контура управления и контура управления существующей ЗУР. Исследование проводилось для множества характерных точек. Моделировалось наведение для различных значений дальности начала маневра. В качестве показателя экономичности используется нормальное ускорение ракеты W_p . В качестве показателя точности принят уточненный промах:

$$P_y = \frac{\Delta t^2}{2} \left(2 \left| \bar{D} \right| \bar{\varphi} + W_{ц} - W_p \right), \quad (21)$$

где Δt – оставшееся время полета.

На рисунке 4 представлены зависимости уточненного промаха от дальности начала маневра. На рисунке 5 представлены зависимости нормального ускорения ракеты от дальности начала маневра. Из рисунков 4, 5 видно, что независимо от дальности начала

маневра цели контур управления, синтезированный при учете динамики координатора цели, обеспечивает выигрыш по показателю точности. Однако при дальностях начала маневра меньших 7000 м, для обеспечения малого промаха требуется большой расход нормальных ускорений, что при их ограничении приведет к дополнительному промаху.

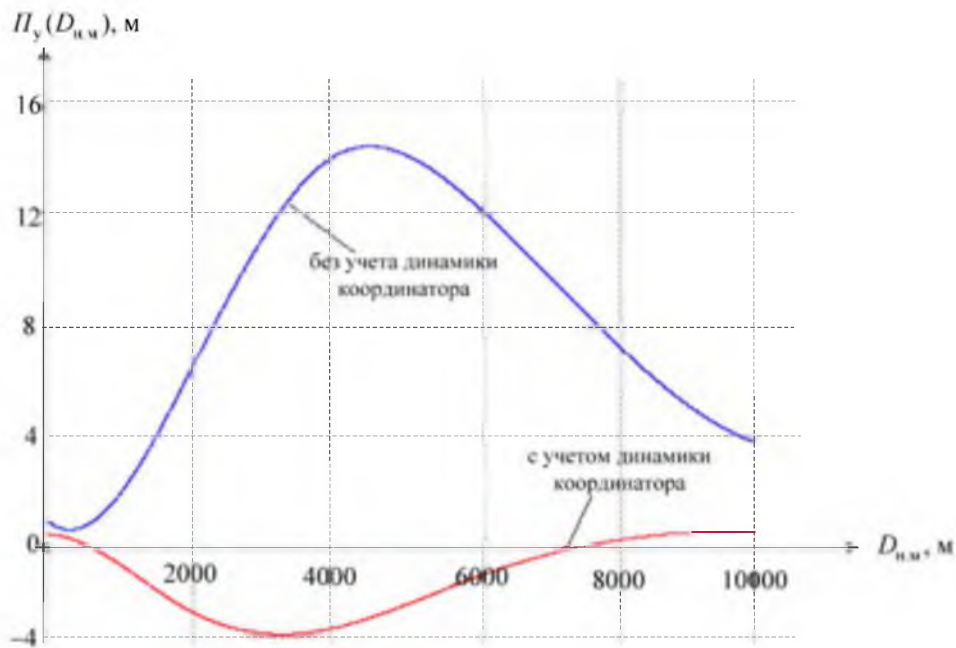


Рисунок 4. – Зависимость уточненного промаха от дальности начала маневра

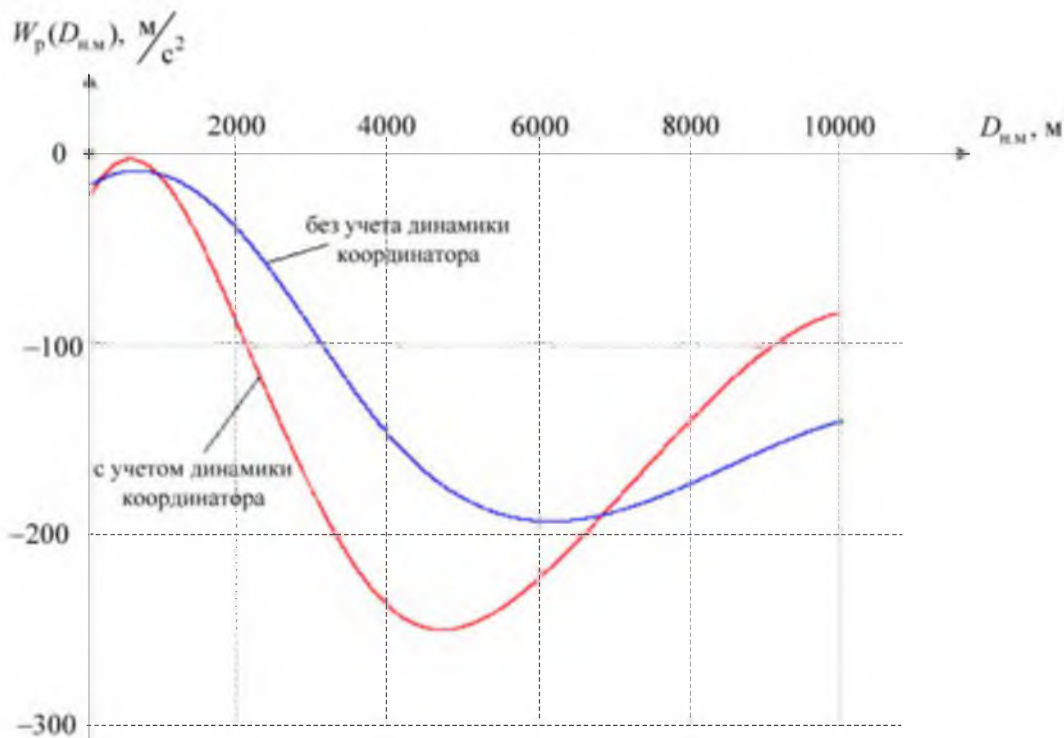


Рисунок 5. – Зависимость нормального ускорения ракеты в точке встречи от дальности начала маневра

Заключение

Проведен синтез контура управления самонаводящейся ракеты с учетом динамики радиолокационного измерителя. Особенностью синтеза является учет в модели наблюдения динамики следящего координатора цели. Фазовое состояние системы самонаведения оценивалось с учетом возможного процесса маневрирования цели. Для повышения качества проектируемой системы закладывалась стохастическая модель маневра цели. Рассмотрены два случая нахождения решений системы нелинейных и нестационарных уравнений Риккати при наложении принципиально упрощающих допущений.

Сравнительный анализ рассматриваемых контуров управления показал, что контур управления, синтезированный при учете динамики следящего координатора цели обеспечивает меньший промах, платой за это является увеличение расхода нормальных ускорений ракеты.

Список литературы

1. Кун, А. А. Основы построения систем управления ракетами: в 3 ч. – Ч. 1. Основы ракетодинамики и кинематики наведения ракет / А. А. Кун, В. Ф. Лукьянов, С. А. Шабан; под ред. А. А. Куна. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск: ВА РБ., 2016. – 233 с.
2. Кун, А. А. Основы построения систем управления ракетами. в 3 ч. – Ч. 3. Комбинированные системы управления. Боевое снаряжение ракет. Синтез систем управления / А. А. Кун, В. Ф. Лукьянов, С. А. Шабан; под ред. А. А. Куна. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск: ВА РБ, 2001. – 89 с.
3. Высокоточные системы самонаведения: расчёт и проектирование. Вычислительный эксперимент / под ред. К. А. Пупкова и Н. Д. Егупова. – М.: Физматлит, 2011. – 512 с.
4. Малкин, В. А. Система радиоуправления летательных аппаратов / В. А. Малкин. – Минск: ВА РБ, 2011. – 276 с.
5. Проектирование зенитных управляемых ракет / под ред. И. С. Голубева и В. Г. Светлова. – М.: МАИ, 1999. – 728 с.
6. Казаков, И. Е. Методы оптимизации стохастических систем / И. Е. Казаков, Д. И. Гладков. – М.: Наука, 1987. – 304 с.
7. Авиационные системы радиоуправления: в 3 т. Т. 1. Принципы построения систем радиоуправления. Основы синтеза и анализа / под ред. А. И. Канащенкова и В. И. Меркулова. – М.: Радиотехника, 2003. – 192 с.
8. Бронштейн, И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗОВ / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – М.: Наука, 1986. – 544 с.
9. Авиационные системы радиоуправления: в 3 т. Т. 1. Радиоэлектронные системы самонаведения / под ред. А. И. Канащенкова и В. И. Меркулова. – М.: Радиотехника, 2003. – 389 с.

*Сведения об авторе:

Бабчёнок Александр Александрович.
 УО «Военная академия Республики Беларусь».
 Статья поступила в редакцию 25.05.2016 г.

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ СНИЖЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ БОЕВОГО ПРИМЕНЕНИЯ УПРАВЛЯЕМОГО РАКЕТНОГО ОРУЖИЯ ПРИ АТАКЕ ГРУППОВОЙ ЦЕЛИ

О. Г. Лапука, доктор технических наук, профессор;
В. В. Спесивцев*

Статья посвящена анализу проблем наведения управляемых ракет с радиолокационными системами самонаведения на группу летательных аппаратов, находящихся в сомкнутом боевом порядке. Проанализированы два основных фактора, влияние которых приводит к существенному снижению вероятности поражения хотя бы одной из целей: возрастание индуктивного сопротивления ракеты и позднее разрешение. Получены аналитические зависимости, характеризующие потенциальные возможности авиационной управляемой ракеты средней дальности по отработке конечного промаха при различных значениях линейного расстояния между целями плотной группы.

This article analyzes the problems of guidance guided missile with radar homing system for a group of aircraft that are in close battle order. We analyzed the two main factors, the impact of which leads to a significant reduction in the probability of destruction of at least one of the goals: an increase in the induction of resistance missiles and later resolution. Analytical dependences characterizing the potential for medium-range misses to simulate the final aircraft guided missile at different values of linear distance between the dense group of targets.

1. Вводная часть

Одним из основных способов боевого применения авиации являются ее групповые действия, предусматривающие тактическое (маневренное), огневое и информационное взаимодействие отдельных летательных аппаратов в целях выполнения поставленной боевой задачи. Важнейшими причинами возрастания роли групповых действий авиации в современных условиях являются: необходимость концентрации огневых ресурсов боевых ударных авиационных комплексов для выполнения массированной атаки на объекты противника в целях нанесения им максимального ущерба в короткие сроки; возрастание роли информационного обеспечения боевых действий, необходимость одновременного использования большого количества разнотипных информационных источников для выполнения боевой задачи; существенные ограничения возможностей летчика (отдельного экипажа) по восприятию большого объема боевой и пилотажно-навигационной информации, а также по адекватному реагированию на возникающую сложную боевую обстановку.

В соответствии с боевым уставом авиационные подразделения могут выполнять полеты в сомкнутом, разомкнутом или рассредоточенном боевых порядках. Основными факторами, влияющими на выбор боевого порядка авиационного подразделения, являются возможность визуального взаимодействия экипажей, в том числе по воздушной разведке наземных целей, обнаружению и наблюдению навигационных ориентиров, а также согласованному маневрированию при обязательном соблюдении условий безопасности полетов; возможность огневого взаимодействия ударных самолетов по поражению войск и наземных объектов противника; требование обеспечения скрытности, характеризуемой вероятностью обнаружения хотя бы одного из самолетов группы средствами радиолокационной разведки противника; необходимость эффективного преодоления огневого противодействия со стороны средств ПВО противника.

Особо необходимо остановиться на крайнем из перечисленных факторов. Главной причиной повышения вероятности преодоления системы ПВО противника за счет ведения групповых действий в сомкнутых боевых порядках является радикальное увеличение конечного промаха наводимых ЗУР (АУР) вследствие позднего разрешения отдельных целей плотной группы. Здесь и в дальнейшем под «плотной группой» будем подразумевать два

и более летательных аппарата, взаимное пространственное расположение и движение которых не обеспечивает возможность их отдельного радиолокационного наблюдения (обнаружения, сопровождения) радиоэлектронными средствами управления оружием вследствие физических ограничений их разрешающей способности.

Отметим, что для отдельного наблюдения целей плотной группы в РЭС УО достаточно добиться разрешения хотя бы по одной из измеряемых координат. При этом парциальные сигналы, отраженные от различных целей, должны находиться в различных строках (угловом, дальностном, частотном), что позволит минимизировать их взаимное влияние на формирование команд управления в разных целевых каналах.

Рассмотрим ситуацию, когда на начальном участке полета ракеты, т. е. на большой дальности, цели не разрешаются: различия в координатах отдельных целей меньше разрешающей способности РЭС УО в соответствующем канале (групповая цель на дальности D_0 на рисунке 1). При этом плотная группа наблюдается РЭС УО как единый объект с эквивалентным центром отражения, пространственное расположение которого определяется энергетическими и пространственными характеристиками парциальных отраженных сигналов.

В процессе сближения ракеты с атакуемой плотной группой, даже при сохранении ее геометрии, существенно изменяются условия радиолокационного наблюдения целей. И если первоначальные различия по координатам дальности и доплеровской скорости остаются практически неизменными, то первоначальные различия в угловых координатах отдельных целей существенно увеличиваются вследствие сохранения линейного расстояния между целями в картинной плоскости и уменьшения дальности. В результате наступает момент (групповая цель на дальности D_1 , рисунок 1), когда угловое различие в координатах отдельных целей превышает разрешающую способность РЭС УО, после чего соответствующие измерители «перенацеливаются» с общего эквивалентного центра отражения на одну из целей плотной группы. За оставшееся время наведения система управления ракетой должна отработать скачкообразное изменение углового положения объекта атаки для успешного поражения цели.

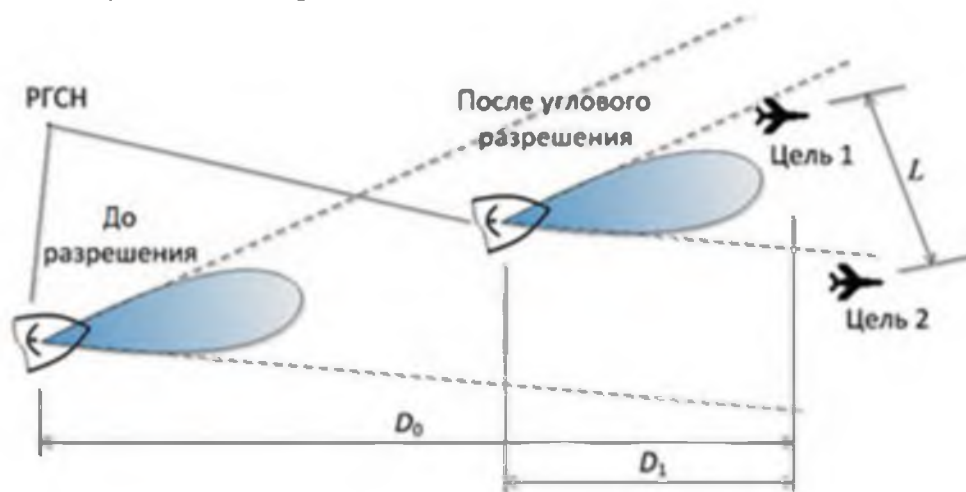


Рисунок 1. – Геометрия взаимного расположения РЭС УО и атакуемой групповой цели до и после углового разрешения

Основными факторами снижения эффективности боевого применения УРО с радиолокационными системами наведения при атаке групповой цели являются:

1. Увеличение интенсивности угловых флуктуаций эквивалентного центра отражения групповой цели, вызванное существенным возрастанием угловых размеров наблюдаемого объекта. Это приводит к увеличению СКО флуктуационной составляющей ошибки измерения угловой скорости линии визирования и, как следствие, возрастанию СКО параметра управления в соответствующей плоскости, флуктуаций угла атаки и управляющей

перегрузки ракеты, что вызывает увеличение индуктивного (тормозящего) сопротивления с соответствующим интенсивным расходом ее кинетической энергии (скорости), приводящим к сокращению максимальной дальности полета и уменьшению располагаемой перегрузки.

2. Дефицит времени, оставшегося после разрешения отдельных целей до момента конца самонаведения. За данный временной промежуток ракета должна успеть отработать достаточно большой промах, скачкообразно увеличившийся в результате перехода от сопровождения эквивалентного центра отражения плотной группы на сопровождение одной из целей. С учетом аргументированного выше уменьшения располагаемой перегрузки, вызванной уменьшением скорости ракеты, отработка конечного промаха до приемлемой величины является весьма проблематичной.

Данные факторы существенно снижают характеристики и возможности УРО по атаке плотных групп целей. Рассмотрим каждый из них отдельно.

2. Анализ степени ухудшения летно-баллистических характеристик управляемого ракетного оружия за счет возрастания интенсивности угловых флуктуаций

Процесс наведения УРО на воздушную цель характеризуется наличием флуктуаций, вызванных действием случайных факторов различной физической природы. Наиболее важными из них являются шумы измерения, обусловленные ограничением чувствительности приемных устройств, а также флуктуации принимаемого сигнала, возникающие при его отражении от цели сложной геометрической формы [1].

Сигнал, отраженный от цели, отличается от зондирующего сигнала наличием амплитудных, фазовых и угловых флуктуаций, характеризующих радиолокационные «портретные» признаки конкретного летательного аппарата. Общей природой возникновения каждого из данных видов флуктуаций является интерференция (суммирование) парциальных сигналов, сформированных отражениями от элементарных участков поверхности летательного аппарата, с учетом его конструкции, наличия вращающихся элементов, ракурса наблюдения и т. д.

Следует отметить, что амплитудные и фазовые флуктуации отраженного сигнала практически не влияют на процесс и результаты радиолокационного наблюдения. Это связано с тем, что для устранения амплитудных флуктуаций в приемных каналах РЭС УО используется многоканальная обработка принимаемого сигнала с нормировкой (к примеру, за счет автоматической регулировки усиления). Устранение влияния флуктуаций фазы обеспечивается за счет ограничения времени когерентного накопления сигнала (обычно – не более 10 мс), в течение которого начальную фазу можно считать постоянной.

Напротив, угловые флуктуации – так называемое блуждание центра отражения, характеризующее отклонение нормали фазового фронта принимаемой электромагнитной волны от направления на геометрический центр цели, – являются главным источником возникновения флуктуационной составляющей ошибок измерения, управления и в конечном счете наведения ракеты.

Моделированию сигнала, отраженного от реальной аэродинамической цели сложной геометрической формы, посвящен ряд работ [2–4]. Различия в представленных подходах к моделированию характеризуются степенью детальности математического описания отраженного сигнала (учет формы отражающей поверхности, наличия вращающихся элементов конструкции и т. д.). Приемлемую степень подобия статистических характеристик флуктуаций сигнала обеспечивает использование модели отражения в виде нескольких (4...6) «блестящих» точек, расположенных внутри видимого контура летательного аппарата, каждая из которых случайно перемещается относительно фиксированного положения вдоль каждой из трех осей связанной системы координат. Когерентная сумма парциальных сигналов, сформированных при отражении падающей электромагнитной волны в каждой «блестящей» точке, в этом случае приобретает вид, характерный для реального отраженного

сигнала, с учетом его амплитудных, фазовых и угловых флуктуаций. Рассчитанная с использованием такой временной реализации величина угловых флуктуаций, пересчитанная в линейный масштаб, в сопоставлении с геометрическими размерами ЛА представлена на рисунке 2 (слева, верхний график). Здесь же, снизу, представлена соответствующая данной реализации гистограмма распределения линейных ошибок.

Как следует из представленных результатов моделирования, плотность распределения вероятности данного централизованного случайного процесса с достаточной степенью точности характеризуется гауссовой кривой. Известное выражение [5] для приблизительной количественной оценки величины СКО линейных флуктуаций в зависимости от характерного геометрического размера $L_{\text{ЛА}}$ объекта отражения в этом случае определяется по правилу «трех сигм»:

$$3\sigma_1 = \frac{L_{\text{ЛА}}}{2} \Rightarrow \sigma_1 = \frac{L_{\text{ЛА}}}{6} \quad (1)$$

К примеру, для рассмотренного случая радиолокационного наблюдения одиночного самолета МиГ-29 с характерным геометрическим размером $L_{\text{ЛА}} = 12$ м среднее квадратическое значение линейных флуктуаций, вызванных БЦО, составит $\sigma_1 = 2$ м.

Отметим, что эквивалентный центр отражения здесь так же, как и в случае двухточечного источника, эпизодически выходит за пределы габаритных размеров объекта отражения, что соответствует известным теоретическим и практическим данным [1, 2, 6]. Как следует из выражения (2), интенсивность угловых флуктуаций, прямо пропорциональная интенсивности линейных флуктуаций и обратно пропорциональная дальности радиолокационного наблюдения, в этом случае достаточно мала и может негативно повлиять на процесс наведения ракеты только при атаке летательных аппаратов больших размеров (дальние бомбардировщики, самолеты ВТА, особо важные самолеты).

Значительными отличиями от рассмотренных условий характеризуется атака плотной группы неразрешаемых летательных аппаратов. Результаты моделирования с использованием подхода, описанного выше, но учитывающие наличие двух разнесенных в картинной плоскости летательных аппаратов на интервал 100 м, представлены на рисунке 2, справа. Сигнальная обстановка здесь характеризуется наличием отражений от двух групп точечных отражателей, сконцентрированных в местах расположения каждого из ЛА.

Как видно из представленных графиков, в данном случае значительно возрастает интенсивность флуктуаций в плоскости расположения наблюдаемых ЛА. Средняя квадратическая величина линейной ошибки сопровождения при этом составляет $\sigma_2 \approx 28$ м, что приблизительно в 14 раз больше, чем в случае радиолокационного наблюдения одиночной цели. Дисперсия (мощность) угловых флуктуаций, пропорциональная квадрату данной величины, увеличивается в $14^2 = 196$ раз, или, в логарифмическом масштабе, на ≈ 23 дБ. Это существенно.

Проанализируем, к чему приводит увеличение СКО флуктуационной составляющей угловой ошибки. Если считать в первом приближении элементы контура самонаведения (систему управления ракетой, объект управления, кинематическое звено) *линейными*, можно прогнозировать *пропорциональное* (во столько же раз) увеличение интенсивности флуктуационной составляющей процессов в ключевых точках контура, а именно:

флуктуаций оценки угловой скорости линии визирования, пересчитываемой в соответствии с методом пропорциональной навигации в требуемую перегрузку;

флуктуаций параметра управления, характеризующего разность между требуемой и текущей управляющей перегрузкой ракеты в соответствующей плоскости управления;

флуктуаций угла отклонения рулевых поверхностей и, соответственно, угла атаки;

флуктуаций поперечного ускорения ракеты;

флуктуаций текущего, а следовательно, и конечного промаха.

Если допустить, что приемлемое, определяемое при проектировании ракеты значение СКО флуктуаций текущего промаха, вызванного блужданием центра отражения цели, в «стандартной» одноцелевой ситуации составляет $\sigma_{h1} \approx 1$ м, то при атаке плотной группы в рассмотренных условиях данная величина составит $\sigma_{h2} = 14\sigma_{h1} \approx 14$ м, а это сопоставимо с эффективным радиусом поражения самолета типа «тяжелый истребитель» боевой частью авиационной управляемой ракеты средней дальности.

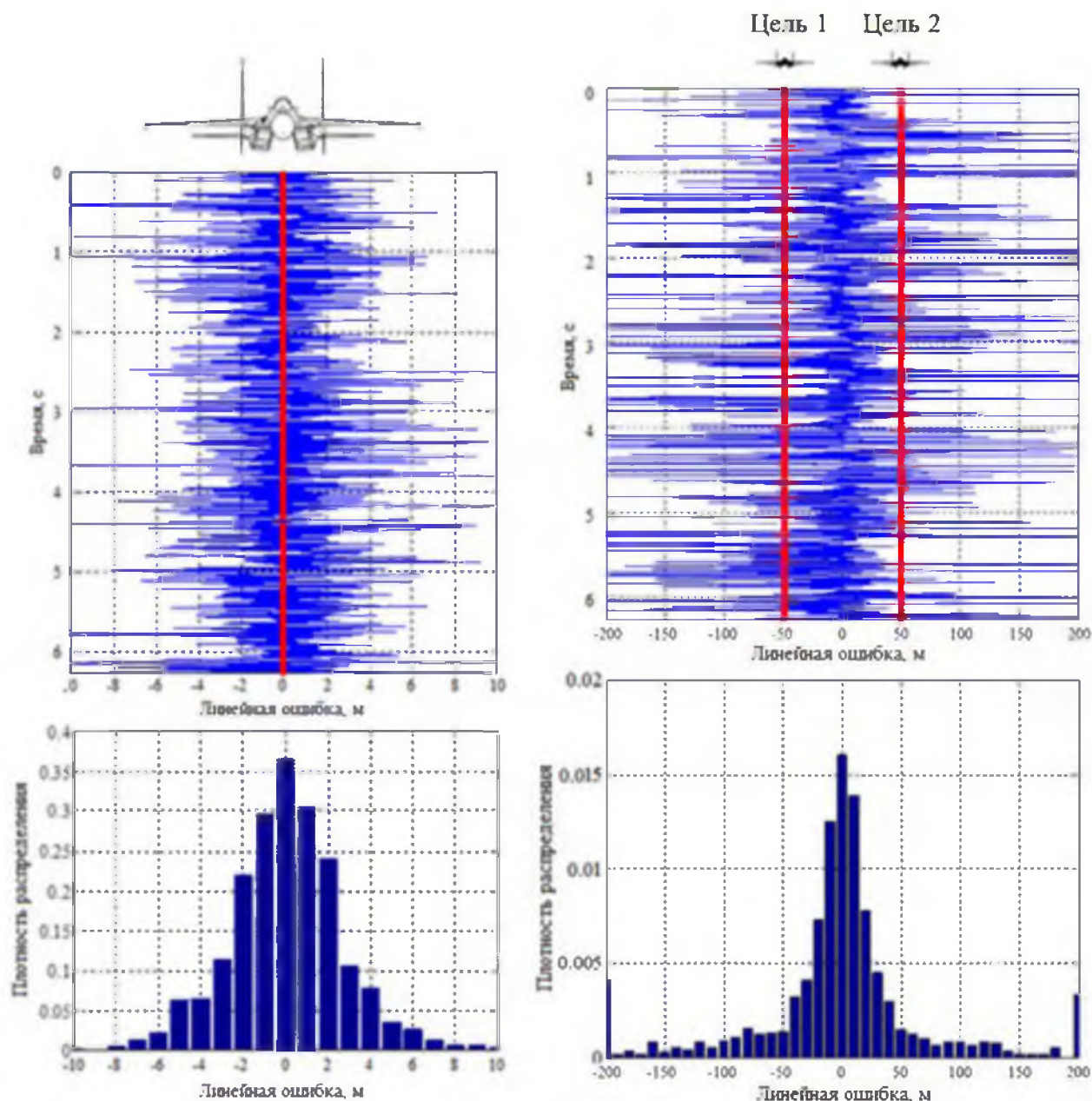


Рисунок 2. – Временные реализации (сверху) и гистограммы распределения (снизу) линейных ошибок, вызванных блужданием центра отражения одиночной (слева) и парной (справа) цели

Отметим, что полученное значение σ_{h2} , характеризующее СКО флуктуаций конечного промаха при атаке плотной группы, является существенно заниженным, так как при его расчете не учитывался важный фактор ухудшения летно-баллистических характеристик ракеты – значительное уменьшение ее маневренных возможностей при уменьшении скорости, вызванном увеличением индуктивного сопротивления.

При аэродинамическом управлении ракетой полное нормальное к плоскости ее крыла (корпуса) ускорение, создаваемое за счет угла атаки, состоит из двух ортогональных составляющих: нормальной к вектору скорости (управляющей, т. е. той, которая направлена

на парирование маневра цели) и тангенциальной, которая направлена в противоположном направлении относительно вектора скорости ракеты [7]. Наличие тангенциальной составляющей ускорения ракеты соответствует ее торможению (уменьшению скорости). Из геометрических соображений следует, что эта составляющая, характеризующая индуктивное (наведенное углом атаки) сопротивление, описывается выражением

$$J_{\text{ри}} = J_p \sin \alpha, \quad (2)$$

где J_p – полное управляющее ускорение ракеты; α – угол атаки.

Для относительно малых углов атаки имеет место следующее соотношение, связывающее данную величину с поперечным ускорением ракеты [8]:

$$j_p = \alpha V_p a_4, \quad (3)$$

где a_4 [(с рад)⁻¹] – динамический коэффициент нормальной силы, создаваемой аэродинамическим способом за счет угла атаки. Этот коэффициент для пассивного участка полета ракеты (после отсечки двигателя) описывается формулой

$$a_4 = 57,3 \frac{c_n^\alpha q S}{m}. \quad (4)$$

Здесь c_n^α – статический коэффициент подъемной силы; q – скоростной напор; S – площадь крыла; m – масса ракеты.

Полученное с учетом формул (2) и (3) выражение для величины индуктивного сопротивления будет иметь вид

$$J_{\text{ри}} \approx \alpha^2 V_p a_4. \quad (5)$$

Искомое усредненное значение данной величины может быть получено после замены угла атаки его средним квадратическим значением

$$\langle j_{\text{ри}} \rangle \approx \sigma_\alpha^2 V_p a_4. \quad (6)$$

К примеру, при $V_p = 1000$ м/с, $a_4 = 1,8$ (с рад)⁻¹ и СКО флуктуаций угла атаки $\sigma_\alpha = 3^\circ$ (величина, приблизительно характеризующая угловую базу неразрешаемых целей плотной группы на дальности 5 км) среднее значение индуктивного ускорения составит ≈ 5 м/с², или 0,5g. Данная величина суммируется с ускорением, вызванным наличием силы лобового сопротивления и влияет на уменьшение скорости ракеты на протяжении всей траектории ее полета.

Квадратичная зависимость (5) индуктивного ускорения от текущего угла атаки, с учетом описанного выше возрастания СКО флуктуаций величины α при атаке плотной группы, определяет неизбежность увеличения средней величины отрицательного («тормозящего») ускорения. В результате увеличивается темп снижения текущей скорости ракеты в процессе наведения, а значит, снижается максимально возможная дальность полета и уменьшаются возможности по ее интенсивному маневрированию для отработки конечного промаха.

3. Анализ потенциальных возможностей управляемого ракетного оружия по отработке промаха после углового разрешения целей плотной группы

Как было показано выше, одним из главных факторов ухудшения эффективности ракетной атаки плотной группы является позднее разрешение отдельных целей, не позволяющее обеспечить достаточную отработку конечного промаха. Отметим, что в процессе сближения ракеты с атакуемой плотной группой перспективы наиболее раннего разрешения отдельных целей связаны с каналом углового автосопровождения. Это обусловлено регулярным (при уменьшении дальности) ростом углового различия между целями в случае, когда геометрия взаимного расположения отдельных целей плотной группы сохраняется.

Наиболее важной характеристикой данных условий является дальность углового разрешения, от которой напрямую зависит величина временного интервала, оставшегося для отработки системой наведения скачкообразно изменившегося текущего промаха (по одной из целей, оставшейся в стробе сопровождения). Проанализируем данную величину и оценим возможности ракеты по отработке промаха за счет ее маневра с потенциально достижимой перегрузкой.

Рассмотрим условия, характеризуемые расположением целей на расстоянии L друг от друга в картинной плоскости. Дальность их углового разрешения будет определяться шириной главного лепестка ДНА РГС, зависящей от длины волны и размера апертуры антенны. Ограничение снизу диапазона длин волн обусловлено увеличением величины удельного затухания ЭМВ при ее распространении в атмосфере, поэтому типовым значением для БРЛС и РГС АУР является $\lambda = 3$ см. Величина апертуры антенной системы РГС обусловлена размерами миделя (поперечного сечения) корпуса ракеты, для АУР не превышающими $l_M = 20$ см. С учетом спадающего к краям амплитудного распределения поля в раскрыте антенны для данных условий разрешающая способность РГС по угловым координатам составит

$$\Theta_{05} \approx \frac{1,3\lambda}{l_M} \approx 0,2 \text{ рад} \approx 11^\circ. \quad (7)$$

Данная величина определяет дальность разрешения D_p , а также с учетом скорости ракеты V_p и цели $V_{ц}$ время, оставшееся до конца самонаведения Δt . Считая ракурс атаки небольшим, имеем

$$D_p \approx \frac{L}{\Theta_{05}}, \quad \Delta t \approx \frac{D_p}{V_p \pm V_{ц}} \approx \frac{L}{\Theta_{05}(V_p \pm V_{ц})}. \quad (8)$$

В данном выражении знак «+» в знаменателе дроби соответствует атаке в переднюю полусферу, а знак «-» – в заднюю полусферу.

Как известно, располагаемое нормальное ускорение ракеты определяется максимальным углом отклонения рулей (δ_{\max}), коэффициентом передачи ракеты по углу атаки (k_α), а также величиной аэродинамической постоянной времени ракеты ($T_V = \frac{m_p}{\rho S V_p}$):

$$j_{\max} = \frac{k_\alpha V_p \delta_{\max}}{T_V} = \frac{k_\alpha \delta_{\max} \rho S}{m_p} V_p^2, \quad (9)$$

где ρ – плотность воздуха; S – приведенная площадь крыла ракеты; m_p – масса ракеты.

Максимальная величина промаха, который может быть отработан за время Δt посредством маневра с постоянным ускорением j_{\max} , составит

$$\Delta h = \frac{j_{\max} \Delta t^2}{2} = \frac{k_\alpha \delta_{\max} \rho S V_p^2}{2m_p} \left(\frac{L}{\Theta_{05}(V_p \pm V_{ц})} \right)^2 = \frac{k_\alpha \delta_{\max} \rho S L^2}{2m_p \theta_{05}^2} \beta, \quad (10)$$

где $\beta = \left(\frac{V_p}{V_p \pm V_{ц}} \right)^2$ – безразмерный неотрицательный коэффициент, численно равный квадрату отношения скорости ракеты к скорости сближения. При атаке в ППС данный коэффициент меньше единицы, а при атаке в ЗПС – больше нее.

Полученные с использованием выражения (10) зависимости для следующих условий: $\rho \approx 0,736 \text{ кг/м}^3$ – плотность воздуха на высоте ≈ 5 км; $m_t \approx 200 \text{ кг}$ – масса ракеты после отсечки двигательной установки; $m_p \approx 200 \text{ кг}$; $S \approx 0,7 \text{ м}^2$; $\delta_{\max} = 30^\circ$; $k_\alpha = 0,1$; $\theta_{05} \approx 11^\circ$; $V_p = 600 \text{ м/с}$; $V_{ц} = 200 \text{ м/с}$ при атаке в переднюю (верхний график) и заднюю (нижний

график) полусферу – представлены на рисунке 3. Здесь же изображена прямая (помечена кружками), соответствующая требуемой величине отработанного промаха, который равен половине базы расположения ЛА плотной группы.

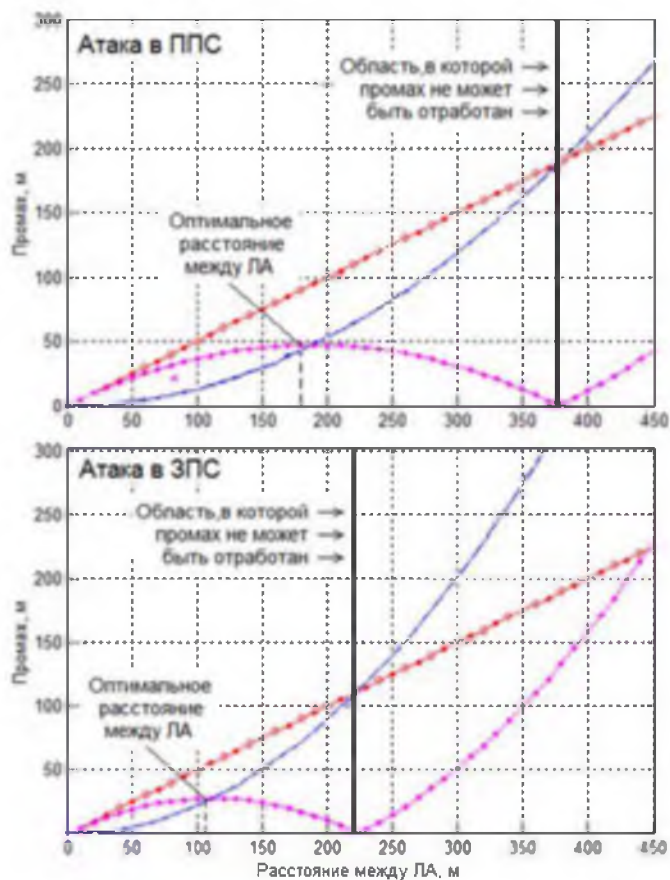


Рисунок 3. – Зависимость величины парируемого промаха (график без пометок) и конечного промаха (график помечен точками) от базы расположения целей плотной группы при атаке в ППС (верхний рисунок) и ЗПС (нижний рисунок)

Из графика видно, что в рассмотренных условиях при атаке в ППС промах не может быть отработан при значении базы расположения целей $L < 370$ м, а при атаке в ЗПС – при $L < 220$ м. На рисунке 3 эта точка соответствует пересечению полученного графика с прямой $\Delta h = L/2$.

Данное значение может быть получено из формулы (11) с учетом того, что полная отработка промаха соответствует половине базы расположения целей ($\Delta h = L/2$):

$$\frac{k_{\alpha} \delta_{\max} \rho S L^2}{2 m_p \theta_{05}^2} \beta = \frac{L}{2} \Rightarrow L = \frac{m_p \theta_{05}^2}{k_{\alpha} \delta_{\max} \rho S \beta} \quad (11)$$

Если расстояние между целями в картинной плоскости будет меньше данной величины, полная отработка промаха невозможна.

Из представленных графиков также следует, что существует оптимальное значение базы расположения целей в картинной плоскости, при котором величина конечного промаха максимальна. Данное значение может быть найдено путем дифференцирования функции конечного промаха по переменной L и приравнивания результата к нулю:

$$h = \frac{L}{2} - \Delta h = \frac{L}{2} - \frac{k_{\alpha} \delta_{\max} \rho S L^2}{2 m_p \theta_{05}^2} \beta; \quad \frac{\partial h}{\partial L} = \frac{1}{2} - \frac{k_{\alpha} \delta_{\max} \rho S \beta}{m_p \theta_{05}^2} L = 0. \quad (12)$$

Выразив отсюда L , получим искомую величину оптимального линейного расстояния между целями:

$$L_{\text{опт}} = \frac{m_p \theta_{05}^2}{2k_\alpha \delta_{\text{max}} \rho S \beta} \quad (13)$$

Данная зависимость позволяет обосновать геометрию взаимного расположения летательных аппаратов сосредоточенного боевого порядка, наилучшую с точки зрения обеспечения защиты от управляемого ракетного оружия.

4. Выводы

Итак, количественно обоснованы потенциальные возможности управляемой ракеты по отработке конечного промаха после разрешения групповой цели. Проиллюстрирована квадратичная зависимость величины конечного промаха от линейной базы расположения атакуемых летательных аппаратов. На основе проведенных расчетов обоснована максимально допустимая величина линейной базы, для которой промах не может быть отработан. Получена аналитическая зависимость оптимального расстояния между целями плотной группы, при котором величина конечного промаха максимальна, от параметров условий наведения ракеты.

Основным выводом, непосредственно следующим из результатов проведенных исследований, является радикальное снижение эффективности боевого применения зенитных и авиационных управляемых ракет с радиолокационными системами самонаведения при атаке плотной группы целей. Иными словами, сомкнутый боевой порядок является *достаточно эффективным самостоятельным средством защиты летательных аппаратов* от управляемого ракетного оружия с радиолокационными системами наведения.

Список литературы

1. Справочник по радиолокации: в 2 кн. / под ред. М. И. Сколника; пер. с англ.; под общ. ред. В. С. Вербы. – М.: Техносфера, 2014. – Кн. 2. – 680 с.
2. Теоретические основы радиолокации: учеб. пособие для вузов / под ред. Я. Д. Ширмана. – М.: Сов. радио, 1970. – 560 с.
3. Бэрет, Слэттен. Перспективы исследований и разработок в области радиолокационного отражения ТИИЭР / Слэттен Бэрет. – 1965. – Т. 53, № 8. – С. 908–912.
4. Слюсарь, Н. М. Рассеяние и вторичная модуляция радиолокационных сигналов динамическими объектами: моногр. / Н. М. Слюсарь. – Минск: ВА РБ, 2015. – 288 с.
5. Малкин, В. А. Основы построения авиационных систем радиоуправления: учеб. пособие / В. А. Малкин. – Минск: ВА РБ, 1999. – 154 с.
6. Рассеяние электромагнитных волн воздушными и наземными радиолокационными объектами: моногр. / О. И. Сухаревский [и др.]; под ред. О. И. Сухаревского. – Харьков: ХУПС, 2009. – 468 с.: ил.
7. Лапука, О. Г. Оценка величины индуктивного сопротивления ракеты, вызванного маневрированием цели / О. Г. Лапука // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2010. – № 2. – С. 141–146.
8. Проектирование зенитных управляемых ракет: учеб. / И. И. Архангельский [и др.]; под ред. И. С. Голубева и В. Г. Светлова. – М.: МАИ, 1999. – 728 с.
9. Леонов, А. И. Моноимпульсная радиолокация / А. И. Леонов, К. И. Фомичев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1984. – 312 с.: ил.

*Сведения об авторах:

Лапука Олег Георгиевич.

Слесивцев Виталий Валерьевич.

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 10.06.2016 г.

ОПТИМИЗАЦИЯ МОМЕНТА ИНИЦИИРОВАНИЯ БОЕВОЙ ЧАСТИ ЗЕНИТНОЙ УПРАВЛЯЕМОЙ РАКЕТЫ В РАДИОКОМАНДНОМ РЕЖИМЕ

В. Э. Маркевич, кандидат технических наук*

Рассматривается способ повышения эффективности работы боевого снаряжения зенитной управляемой ракеты в режиме радиоконандного подрыва. Приводится алгоритм расчета момента инициирования боевой части с учетом кинематики взаимного перемещения ракеты и цели, параметров атмосферы, динамических характеристик области разлета осколков, а также временной диаграммы работы РЛС. Оцениваются пространственные характеристики распределения осколочного поля относительно цели для различных вариантов инициирования, проводятся сравнительный анализ полученных результатов и предварительная оценка эффективности алгоритма.

The way of increase of overall performance of fighting equipment of the antiaircraft guided missile in a mode of radio command blasting is considered. The algorithm of calculation of the moment of initiation of a fighting part taking into account kinematics of mutual moving of the rocket and the purpose, parametres of atmosphere, dynamic characteristics of area of scattering of splinters, and also the time diagram of work of land radar is resulted. Spatial characteristics of distribution of a fragmental field concerning the purpose for various variants of initiation are estimated, the comparative analysis of the received results and a tentative estimation of efficiency of algorithm are carried out.

Введение

Для обеспечения поражения воздушной цели с пониженной радиолокационной заметностью, в том числе на фоне подстилающей поверхности, а также при воздействии активных помех по линии радиолокационного взрывателя, используется радиоконандный способ подрыва боевой части зенитной управляемой ракеты (БЧ ЗУР). Временное упреждение момента подрыва определяется исходя из статистического анализа данных, полученных по результатам математического моделирования и натурных испытаний для типовых тактических ситуаций и усредненных условий встречи ракеты и цели. При выборе момента подрыва не учитывается динамика параметров взаимного перемещения ракеты, цели и осколков в широком диапазоне, что предопределяет низкую вероятность поражения, не превышающую значений $0,1 \dots 0,3$ [3, 4].

Одним из путей повышения эффективности (вероятности) поражения цели является использование текущей информации о параметрах взаимного перемещения ракеты и цели, а также учет динамики движения осколочного поля относительно цели для оптимального выбора момента подрыва.

В данной работе рассматривается и обосновывается метод повышения эффективности работы боевого снаряжения ЗУР средней дальности в режиме радиоконандного подрыва. Метод основывается на решении в реальном времени задачи о точке встречи осколочного поля с целью с определением оптимального времени подрыва, обеспечивающего согласование области максимальной плотности разлета осколков с текущим положением цели.

При выборе момента подрыва учитываются систематические задержки в наземной и бортовой части аппаратуры радиоуправления, усредненные баллистические параметры осколков, параметры атмосферы на высоте полета ракеты, а также ошибки измерителей координат цели и ракеты. Предлагаемый метод не требует доработок аппаратуры и изменения режимов работы бортового оборудования ЗУР. Модификации подвергается программное обеспечение станции наведения ракет.

Алгоритм расчета оптимального времени инициирования боевой части зенитной управляемой ракеты

В первом приближении условия согласования направления разлета осколков с направлением на цель в относительном движении можно выразить в виде векторного уравнения:

$$\begin{aligned} \mathbf{r}_0 + \mathbf{v}_0(t_y)t_y = V_0(t_y)t_y, \quad \mathbf{v}_0(t_y) = \mathbf{v}_1(t_y) - \mathbf{v}_u, \quad r_y(t_y) = V_y(t_y)t_y, \\ V_y(t_y) = \frac{r_y(t_y)}{t_y} = \frac{V_0}{t_y} \int_0^{t_y} \exp(-\alpha_0 r_v(t_y) \exp(-\beta_0 y)) dt_y, \quad (1) \\ V_y(t_y) \approx \frac{V_0}{2} \left(1 + \exp(-\alpha_0 r_v(t_y) \exp(-\beta_0 y)) \right), \end{aligned}$$

где $\mathbf{r}_0 = (r_{x0} \ r_{y0} \ r_{z0})^T$ – радиус-вектор координат цели в момент инициирования БЧ; $\mathbf{v}_0 = (v_{x0} \ v_{y0} \ v_{z0})^T$ – вектор скорости сближения «осколок – цель»; $\mathbf{v}_u = M_0(\theta_u)^T (V_u \ 0 \ 0)^T$ – вектор скорости цели; $\theta_u = (\theta_u \ \varphi_u \ 0)^T$ – скоростные углы цели в скоростной системе координат (СкСК) ракеты; $M_0(\theta_u)$ – матрица Эйлера – Крылова (матрица вращения); t_y – время полета осколков до цели; $\mathbf{v}_1(t_y)$ – вектор скорости осколков относительно ракеты; $V_y(t_y)$ – аппроксимация скорости осколков в зависимости от высоты полета, баллистических свойств и дальности до осколков; $V_0 = 2000 \dots 2500$ м/с – модуль вектора начальной скорости осколков; $V_u = 0 \dots 1200$ м/с – модуль вектора скорости цели; y – текущая высота полета ракеты; $\beta_0 = y_0^{-1}$, $y_0 = 8500$ м – постоянные коэффициенты; $\alpha_0 = 0,06 \dots 0,08$ – баллистический коэффициент осколков.

Выражение (1) получено при условии малости углов атаки в момент инициирования БЧ и постоянства скорости ракеты и цели. Соотношение для $\mathbf{v}_0(t_y)$ записывается в виде:

$$\begin{aligned} \mathbf{v}_1(t_y) = V_y(t_y) \mathbf{e}_1 - V_p(1 - k_y(t_y)), \quad k_y(t_y) = \frac{V_y(t_y)}{V_0}, \\ \mathbf{e}_1 = \left(\cos(\varphi_p) \ \cos(\varphi_p) \cos(\gamma_p) \ -\cos(\varphi_p) \sin(\gamma_p) \right)^T, \quad (2) \\ \gamma_0 = \arctg\left(\frac{v_{z0}}{v_{y0}}\right), \quad \gamma_p = -\text{if}\left(v_{y0} \neq 0, \text{if}\left(v_{y0} < 0, \gamma_0 - \pi \text{sign}\left(\frac{v_{z0}}{v_{y0}}\right), \gamma_0\right), \frac{\pi}{2} \text{sign}(r_{z0})\right). \end{aligned}$$

где $V_p = 400 \dots 1100$ м/с – скорость ракеты; γ_p – угол между осью OY СкСК ракеты и проекцией скорости полета на плоскость YOZ ; φ_p – угол наклона биссектрисы сектора (заданного направления) разлета осколков относительно вектора скорости ЗУР; $\text{if}(y, f_1(x), f_2(x))$ – функция выбора алгоритма расчета в зависимости от логического значения переменной или выражения y .

Вместо функциональной зависимости $V_0(t_y)$ и $\mathbf{v}_0(t_y)$ можно использовать зависимость $V_0(r_y)$ и $\mathbf{v}_0(r_y)$, не меняющую суть задачи и алгоритм ее решения:

$$\mathbf{r}_0 + \mathbf{v}_0(r_y)t_y = r_y(t_y), \quad \mathbf{v}_0(r_y) = \mathbf{v}_u + \mathbf{v}_1(r_y). \quad (3)$$

Возведя обе части выражения (1) в квадрат, получим уравнение относительно t_y , которое необходимо решать итерационным способом:

$$\begin{aligned}
\mathbf{r}_0 \mathbf{r}_0 + 2\mathbf{r}_0 \mathbf{v}_0 t_v + \mathbf{v}_0 \mathbf{v}_0 t_v^2 &= V_y(t_v)^2 t_v^2, \\
\left((\mathbf{v}_0)^2 - V_y(t_v)^2 \right) t_v^2 + 2\mathbf{r}_0 \mathbf{v}_0 t_v + (\mathbf{r}_0)^2 &= 0, \\
t_v(n) &= \frac{-\mathbf{r}_0 \mathbf{v}_0 \pm \sqrt{(\mathbf{r}_0 \mathbf{v}_0)^2 - \left((\mathbf{v}_0)^2 - V_y(t_v(n-1))^2 \right) (\mathbf{r}_0)^2}}{(\mathbf{v}_0)^2 - V_y(t_v(n-1))^2}.
\end{aligned} \tag{4}$$

Из двух корней необходимо выбрать тот, который удовлетворяет решению исходя из условий задачи (ограничение снизу и сверху времени полета осколков) и накладываемых ограничений (действительность и положительная определенность корней уравнения). Расчет выполняют до тех пор, пока не будет получена заданная ошибка сходимости.

Существует альтернативный алгоритм расчета момента инициирования БЧ, для которого направление вектора скорости сближения «осколок – цель» в заданном направлении фронта разлета осколков совпадает с линией визирования (ЛВ) «ракета – цель». При переменной скорости осколка рассматривается направление для усредненной за время полета скорости осколка. Расчетные соотношения для углов ЛВ «ракета (осколок) – цель» и ориентации вектора относительной скорости осколка в проекциях на оси СКС ракеты приведены ниже. Уравнения для расчета углов ориентации ЛВ «ракета – цель»:

$$\begin{aligned}
\varepsilon_1 &= \operatorname{arctg} \left(\frac{r_{y0}}{\sqrt{r_{x0}^2 + r_{z0}^2}} \right), \quad \zeta_0 = \frac{\pi}{2} \operatorname{sign}(r_{z0}), \\
\beta_1 &= \operatorname{arctg} \left(\frac{r_{z0}}{r_{x0}} \right), \quad \beta_1 = -\operatorname{if} \left(r_{x0} \neq 0, \operatorname{if} \left(r_{x0} < 0, \beta_1 - \pi \operatorname{sign} \left(\frac{r_{z0}}{r_{x0}} \right), \beta_1 \right), \zeta_0 \right),
\end{aligned} \tag{5}$$

где ε_1, β_1 – углы места и азимута цели в СКС ракеты.

Уравнения для расчета углов ориентации вектора относительной скорости «осколок – цель»:

$$\begin{aligned}
\theta_0 &= \operatorname{arctg} \left(\frac{v_{y0}}{\sqrt{v_{x0}^2 + v_{z0}^2}} \right), \quad \nu_0 = \frac{\pi}{2} \operatorname{sign}(v_{z0}), \\
\varphi_0 &= \operatorname{arctg} \left(\frac{v_{z0}}{v_{x0}} \right), \quad \varphi_0 = -\operatorname{if} \left(v_{x0} \neq 0, \operatorname{if} \left(v_{x0} < 0, \varphi_0 - \pi \operatorname{sign} \left(\frac{v_{z0}}{v_{x0}} \right), \varphi_0 \right), \nu_0 \right).
\end{aligned} \tag{6}$$

Компоненты вектора относительной скорости «ракета – осколок» \mathbf{v}_0 определяются следующими выражениями:

$$\begin{aligned}
\mathbf{v}_0 &= \mathbf{v}_1(t_v) - \mathbf{v}_c = \mathbf{v}_1(t_v) - M_0(\theta_c)^T (V_c \ 0 \ 0)^T, \\
\mathbf{v}_1 &= V_y(t_v) \mathbf{e}_1 - V_p(1 - k_v(t_v)), \quad k_v(t_v) = \frac{V_y(t_v)}{V_p}.
\end{aligned} \tag{7}$$

Момент инициирования БЧ определяется путем экстраполяции углового положения ЛВ «ракета (осколок) – цель» и углов ориентации вектора скорости сближения «осколок – цель». Время экстраполяции, для которого будет выполняться равенство соответствующих углов с заданной точностью, соответствует оптимальному времени упреждения $t_v = t_{\text{оп}}$ и обеспечивает согласование области разлета осколочного поля с текущим положением цели.

Время упреждения момента выдачи команды инициирования БЧ (команды K_3) Δt_v определяется следующими составляющими:

– периодом обмена (обновления) информации о параметрах взаимного движения цели и ракеты $\tau_0 = 30 \dots 60$ мс;

- временем перемещения фронта или центральной части осколочного поля к цели для заданного направления в пределах сектора разлета $\Delta\tau_0 = t_v$;
- временем задержки передачи данных между цифровыми устройствами наземной аппаратуры станции наведения ракет $\Delta\tau_1$;
- временем задержки срабатывания аппаратуры бортового дешифратора и исполнительных устройств боевого снаряжения ЗУР $\Delta\tau_2$.

Время начала расчетов по прогнозу времени упреждения определяется соотношениями:

$$\begin{aligned} \Delta r_{\text{рц}} &= (r_{\text{ц}} - r_{\text{р}}), \Delta \dot{r}_{\text{рц}} = (\dot{r}_{\text{ц}} - \dot{r}_{\text{р}}), \\ \Delta r_{\text{рц}} &= LIM(200, 2000, \Delta r_{\text{рц}}), \Delta \dot{r}_{\text{рц}} = \Delta \dot{r}_{\text{рц}} + \tau_0 \Delta \ddot{r}_{\text{рц}}, \\ \Delta \tau_m &= LIM\left(-100, 100, \frac{\Delta \dot{r}_{\text{рц}}}{\Delta \ddot{r}_{\text{рц}}}\right), k\tau_0 < \Delta \tau_m < (k+1)\tau_0, \end{aligned} \quad (8)$$

где $r_{\text{р}}, r_{\text{ц}}$ – радиальные дальности ракеты и цели; $\dot{r}_{\text{р}}, \dot{r}_{\text{ц}}$ – радиальные скорости ракеты и цели; $LIM(x_{\text{min}}, x_{\text{max}}, x)$ – функция ограничения в заданных пределах скалярной величины x ; k – номер текущего цикла обновления координатной информации.

Один цикл включает расчет траектории движения осколков до встречи с целью и выполняется за время $\tau_{\text{р}}$. Период расчета $\tau_{\text{р}}$ определяется допустимой величиной смещения цели по дальности:

$$\tau_{\text{р}} = \frac{\delta D_{\text{рц}}}{|D_{\text{рц}}|} = 1, 0 \dots 1, 5 \text{ мс}, \delta D_{\text{рц}} = 1, 5 \dots 2, 5 \text{ м}, |D_{\text{рц}}| = 1500 \dots 2000 \text{ м/с}, \quad (9)$$

где $\delta D_{\text{рц}}$ – изменение разности дальностей «ракета – цель» за период расчета; $D_{\text{рц}}$ – скорость сближения «ракета – цель».

Критерий окончания парциального цикла вычислений определяется максимально допустимой дальностью полета осколка и составляет

$$r_{\text{max}} = 2R_0 = 60 \text{ м}, \quad (10)$$

где $R_0 = 30 \text{ м}$ – радиус поражения цели осколочным полем с вероятностью 0,5.

Критерий полного окончания вычислений запишется в следующем виде:

$$\begin{aligned} \delta\gamma_{\text{min}} &> \sqrt{\varepsilon_3 (\Delta r)^2 + \beta_3 (\Delta r)^2}, \\ (\varepsilon_3, \beta_3) &= \text{euler}\left(M_0(\varepsilon_2, \beta_2)M_0(\varepsilon_1, \beta_1)^T\right), \\ r_3 &= (r_{\text{ц}} - r_{\text{оск}}) \leq r_{\text{min}}, \end{aligned} \quad (11)$$

где ε_3, β_3 – углы места и азимута цели в СК, связанной с ЛВ цели (относительно ЗУР); ε_2, β_2 – углы места и азимута осколка в скоростной СК ЗУР; $r_{\text{оск}}$ – радиальная дальность осколка; $M_0(\varepsilon_1, \beta_1)$ – матрица перехода от скоростной к связанной с ЛВ цели СК; $M_0(\varepsilon_2, \beta_2)$ – матрица перехода от скоростной к связанной с ЛВ осколка СК; $\text{euler}(M_0)$ – функция расчета углов ориентации объекта в выбранной СК по заданной матрице направляющих косинусов (матрице Эйлера – Крылова) $M_0 = M_0(\varepsilon, \beta)$; $\delta\gamma_{\text{min}} = 1 \dots 3$ град – минимальный пространственный угол между ЛВ цели и осколком, обеспечивающий согласование области разлета с условным центром цели; $\Delta r_{\text{min}} = (1 \dots 2) \text{ м}$ – контрольная разность дальностей цели и осколка.

Алгоритм расчета момента формирования команды инициирования определяется следующим образом:

$$\Delta\tau_v = \sum_{j=0}^2 \Delta\tau_j,$$

$$\tau_1 = \text{if}(\Delta\tau_v < \tau_0, \tau_0 + \Delta\tau_v, \tau_0),$$

$$K_3 = \text{if}(\Delta\tau_v < \tau_0, 1, 0). \quad (12)$$

Для оценки эффективности алгоритма выбора (расчета) оптимального времени подрыва необходимо провести имитационное математическое моделирование динамики движения (баллистики) осколочного поля в направлении цели после инициирования.

В качестве базовой будем использовать модель динамики движения осколка, описанную в [1, 2] с учетом технических характеристик исследуемой БЧ одной из ЗУР средней дальности. При описании движения осколка модифицируем базовую модель для более полного учета особенностей движения осколка с учетом вращения относительно центра масс.

Исследование баллистики осколков необходимо для получения достоверной оценки координатного распределения осколков в районе цели. Это связано с тем, что после подрыва БЧ осколки разлетаются не сплошным фронтом, а в виде поверхности тороидальной формы, так как из-за разброса начальных скоростей, углов разлета и параметров самих осколков происходит трехмерное рассеяние осколков. Изучение качественной и количественной картины распределения осколков в продольных и поперечных сечениях в районе цели позволит установить количественные характеристики области возможного поражения воздушной цели, определяющие эффективность предлагаемого алгоритма радиокомандного подрыва.

Математическая модель движения осколка относительно цели

Рассмотрим гипотетическую БЧ, состоящую из корпуса, боковая поверхность которого образована стальными осколками, имеющими форму параллелепипедов весом 4...6 г и скрепленными стеклопластиком, а также разрывного заряда с детонатором. Под действием продуктов детонации ВВ осколки приобретают некоторую начальную скорость. Так как воздушная среда оказывает сопротивление движению осколков, то с течением времени уменьшается их скорость, причем для каждого осколка по-разному. Перечислим основные факторы, влияющие на динамику движения осколка:

- различные начальные скорости движения осколков, обусловленные неравномерностью насечки на активном металле (ориентацией, размером, конфигурацией и весом готовых осколков), а также различное начальное давление внутри оболочки;
- вращательное движение осколков различной конфигурации, приводящее к переменному коэффициенту профильного сопротивления, зависящему от пройденного расстояния.

С учетом изложенного движение осколка с приемлемой для моделирования точностью можно описать системой уравнений движения материальной точки:

$$m_0 \ddot{x}(t) = -R_x - G_x,$$

$$m_0 \ddot{y}(t) = G_y, \quad (13)$$

где m_0 – масса осколка; R_x – сила лобового сопротивления; G_x, G_y – проекция силы тяжести на соответствующие оси.

С учетом того, что величина силы тяжести на участке полета продолжительностью 0,01...0,03 с, соответствующем эффективному радиусу поражения БЧ, значительно меньше полной силы лобового сопротивления, траекторию движения будем считать прямолинейной.

$$\begin{aligned} \dot{x} &= V, \\ m_0 \dot{V} &= -R_x - G_x, \\ R_x &= C_x q S_0, \quad q = 0,5 \rho_0 V^2, \end{aligned} \quad (14)$$

где C_x – аэродинамический коэффициент лобового сопротивления; S_0 – средняя площадь проекции осколка на плоскость, ортогональную вектору скорости осколка; q – скоростной напор; ρ_0 – плотность воздуха в точке подрыва БЧ; $m_0 = (4,5 \dots 5,5) 10^{-3}$ кг – масса осколка.

Результаты экспериментальных исследований движения осколков вдоль траектории движения показывают, что осколок в полете не стабилизируется относительно вектора скорости, а хаотически вращается относительно центра масс. Угол между вектором скорости и продольной осью осколка изменяется в двух плоскостях с переменным периодом, зависящим от пролетаемого расстояния. Динамический коэффициент лобового сопротивления при этом аппроксимируется следующим выражением [1, с. 42]:

$$C_x(t) = C_{x0} + \Delta C_x \sin\left(\frac{2\pi}{L(t)} + \varphi_0\right), \quad L(t) = L_0 + \Delta L_0 \frac{r(t)}{r_{\max}}, \quad (15)$$

где $C_{x0} = 0,8 \dots 0,9$ – среднее значение коэффициента сопротивления для заданной формы осколка; ΔC_x – случайная величина с нулевым средним и СКО $\sigma_x = 0,3 \dots 0,4$; L_0 – начальное значение периода вращения осколка; ΔL_0 – приращение периода вращения осколка, обусловленное изменением расстояния до осколка; φ_0 – случайная начальная фаза вращения, характеризующая начальную ориентацию осколка в момент подрыва.

Статистически средняя площадь осколка по результатам исследований аппроксимируется зависимостью [1, 2, 4]:

$$S_0 = 0,05 \sqrt[3]{m_0} \quad (16)$$

По результатам исследований установлено, что основная масса осколков разлетается в угле $36 \dots 40$ град, биссектриса сектора разлета ориентирована под углом $92 \dots 94$ град относительно продольной оси ЗУР. Зависимости среднего значения и СКО начальной скорости, а также угловой плотности осколков от угла разлета, отсчитываемого относительно нормали к продольной оси ЗУР, имеют вид:

$$V_\gamma(\delta\varphi) = V_0 \alpha_\gamma(\delta\varphi), \quad \alpha_\gamma(\delta\varphi) = 0,5 \left[k_0 + (1 - k_0) \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{\delta\varphi}{\delta\varphi_0}\right)^2\right) \right], \quad (17)$$

$$\sigma_\gamma(\delta\varphi) = (0,05 \dots 0,07) V_\gamma(\delta\varphi), \quad \delta\varphi_0 = 0,5, \quad k_0 = 0,1 \dots 0,9,$$

где $\delta\varphi = (\varphi_0 - \varphi_f)$ – отклонение вектора начальной скорости от биссектрисы сектора разлета (рад); $\varphi_0 = 1,58 \dots 1,64$ рад – положение биссектрисы сектора разлета относительно продольной оси ЗУР; $\varphi_f = (\varphi_0 \pm 0,3)$ рад – положение вектора скорости осколка относительно вектора скорости ЗУР.

Для исследования динамики движения осколков на основе (14) с учетом случайного характера начальных условий использовались методы численного интегрирования и статистического моделирования.

Статистическое исследование области возможного поражения цели

Для предварительной оценки эффективности предлагаемых алгоритмов радиокомандного подрыва БЧ ЗУР использовались оценки мгновенного промаха осколка – координаты осколка в картинной плоскости, ортогональной вектору относительной скорости «осколок – цель»:

$$\mathbf{h} = (h_x \ h_y \ h_z)^T = \frac{D}{|D|} [\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{D}], \quad \boldsymbol{\omega} = M(\boldsymbol{\theta}_3) \frac{\mathbf{D} \times \mathbf{D}}{\mathbf{D}^T \mathbf{D}}, \quad \boldsymbol{\theta}_3 = \text{eyler}(M_0(\boldsymbol{\theta}_2)M_0(\boldsymbol{\theta}_1)^T), \quad (18)$$

$$\mathbf{D} = |\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_0|, \quad \dot{\mathbf{D}} = |\dot{\mathbf{r}}_1 - \dot{\mathbf{r}}_0|,$$

где $\boldsymbol{\theta}_1 = (\boldsymbol{\varepsilon}_1, \boldsymbol{\beta}_1)$, $\boldsymbol{\theta}_2 = (\boldsymbol{\varepsilon}_2, \boldsymbol{\beta}_2)$, $\boldsymbol{\theta}_3 = (\boldsymbol{\varepsilon}_3, \boldsymbol{\beta}_3)$ – углы ориентации в различных СК; \mathbf{r}_0 – радиус-вектор цели относительно ракеты; \mathbf{r}_1 – радиус-вектор осколка относительно ракеты.

Методика оценки заключается в следующем. На основе приведенных выше соотношений с учетом начальных условий взаимного перемещения ракеты и цели, начальной скорости и угла разлета осколка выполняется расчет оптимального времени формирования команды подрыва БЧ. Затем, с учетом заданных статистических характеристик ошибки оценивания компонент радиуса-вектора «ракета – цель» и его производных выполняется последовательность из $N_0 = 500$ испытаний с регистрацией мгновенных значений мгновенного промаха. Оценка эффективности предлагаемых алгоритмов проводилась путем сравнительного анализа результатов статистического моделирования с оптимизацией времени инициирования и без оптимизации.

На рисунках 1...3 представлены результаты математического моделирования для следующих исходных данных (слева – при оптимальном времени инициирования, справа – без оптимизации времени инициирования).

Начальные условия для оценки распределения мгновенных промахов осколка выбраны следующим образом:

- угол отклонения вектора скорости осколка относительно вектора скорости ракеты 80, 90 и 100 град;
- радиус-вектор ракеты $\mathbf{r}_p = (r_{px} \ r_{py} \ r_{pz})^T = (15 \ 10 \ 10)^T$ м в СК, связанной с вектором скорости цели, скоростные углы тангажа и рыскания ЗУР $\theta = 0$, $\varphi = 0$;
- модуль вектора скорости ракеты $V_p = 500$ м/с и цели $V_u = 300$ м/с, СКО средней скорости осколка $\sigma_v = 100$ м/с;
- задержка момента инициирования относительно начала счета $\Delta t_1 = 0,014$ с, время моделирования процесса подлета ракеты к цели $\Delta t_0 = 0,04$ с;
- различные значения СКО оценки компонент радиуса-вектора линии визирования «ракета – цель» σ_r и ее производных $\sigma_{\dot{r}}$.

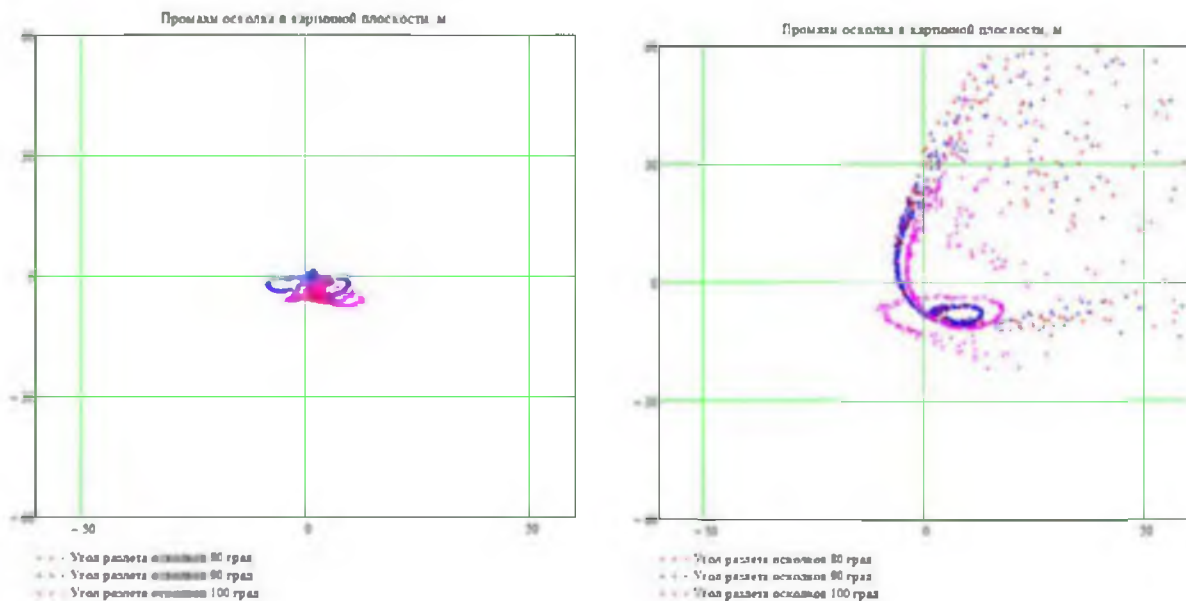


Рисунок 1. – Распределение промахов для $\sigma_r = 0$ м, $\sigma_{\dot{r}} = 1$ м/с

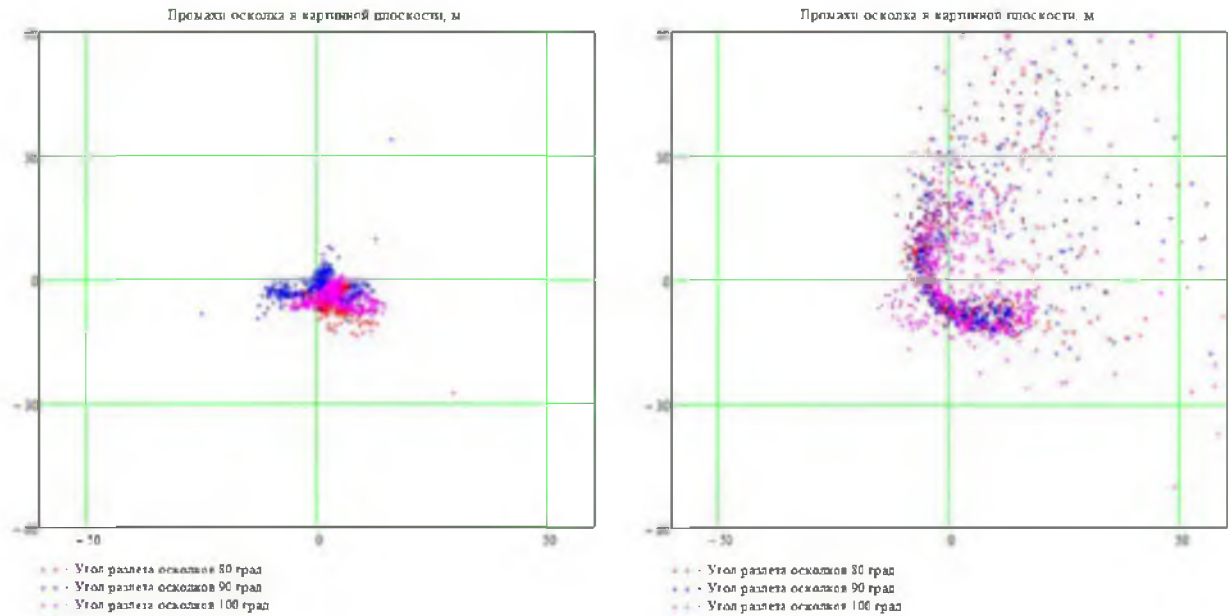


Рисунок 2. – Распределение промахов для $\sigma_r = 1$ м, $\sigma_v = 1$ м/с

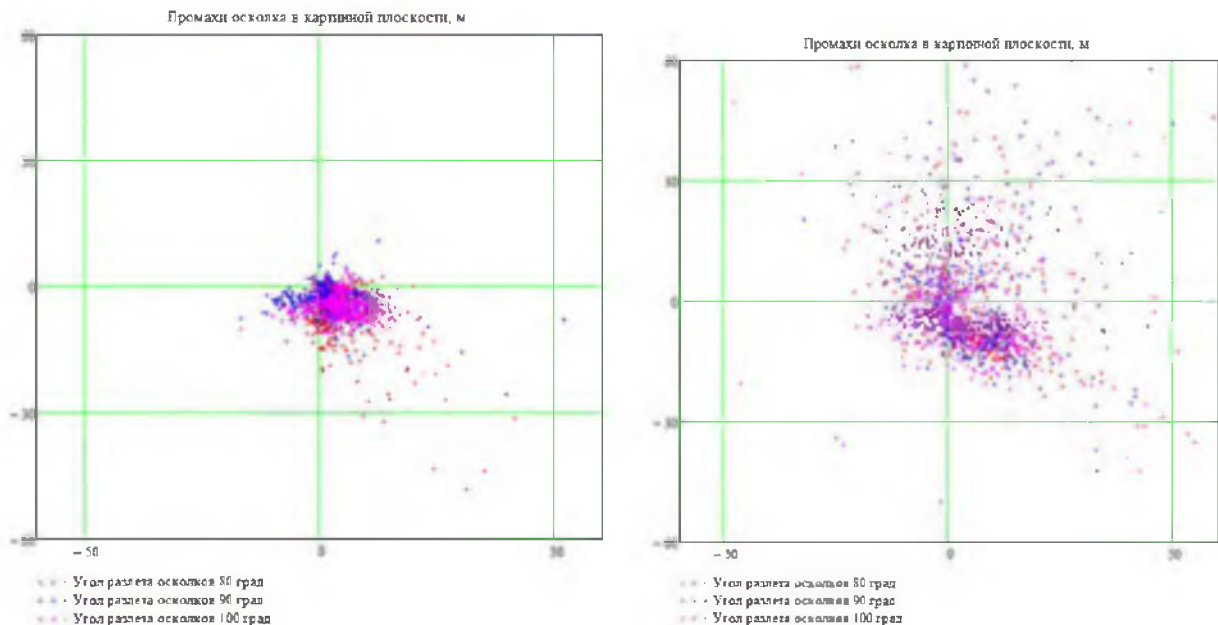


Рисунок 3. – Распределение промахов для $\sigma_r = 3$ м, $\sigma_v = 3$ м/с

Анализ результатов моделирования позволяет сделать следующие выводы:

- расчет оптимального времени подрыва позволяет реализовать среднее значение и СКО промаха осколков относительно цели в пределах $m_h = 2...4$ м, $\sigma_h = 1...3$ м при СКО оценки дальности и скорости $\sigma_r = 1...3$ м, $\sigma_v = 1...3$ м/с ;
- фиксированное время инициирования обеспечивает величину среднего значения и СКО промаха осколков $m_h = 9...12$ м, $\sigma_h = 6...10$ м при аналогичных ошибках оценивания координат, что в 3...4 раза хуже аналогичных показателей при согласованном инициировании боевой части.

Заключение

Рассмотренные алгоритмы оптимизации момента инициирования БЧ в радиокомандном режиме позволяют повысить точность согласования области разлета осколков с целью и минимизировать среднее отклонение центра осколочного поля максимальной плотности относительно цели.

Направлением дальнейших исследований являются:

- определение координатного закона поражения и оценок вероятности поражения цели для различных условий встречи на основе характеристик уязвимости конкретных типов летательных аппаратов;
- реализация предлагаемых алгоритмов в составе системного программного обеспечения модернизируемых зенитных ракетных комплексов (ЗРК) с оценкой их эффективности по результатам полигонных испытаний;
- выработка рекомендаций боевому расчету ЗРК по применению радиокомандного режима подрыва с оптимизацией момента инициирования в типовых тактических ситуациях.

Список литературы

1. Методы применения ЦВМ для исследования систем управления реактивным оружием. Т. 3. – М.: Оборонгиз, 1963. – 204 с.
2. Методы проектирования многоканальных РЛС управления реактивными зенитными снарядами. Т. 3 / под ред. Н. А. Лившица. – М.: Воениздат, 1958. – 315 с.
3. Исследование возможностей ЗРК по обстрелу целей, летящих на высотах менее 50 метров: отчет о НИР. – 1971. – 58 с.
4. Проектирование зенитных управляемых ракет: учеб. / под ред. В. Г. Светлова, И. С. Голубева. – М.: Изд. МАИ, 1999. – 728 с.

Сведения об авторе:

Маркевич Виталий Эдмундович.

ОАО «АЛЕВКУРП».

Статья поступила в редакцию 07.06.2016 г.

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ БОЕВОГО ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОКАНАЛЬНОГО ЗЕНИТНОГО РАКЕТНОГО КОМПЛЕКСА «ТОР-М2»

В. И. Ярмалкевич;

В. М. Берикбаев, кандидат технических наук, доцент*

В статье предложена аналитическая модель боевого применения многоканального зенитного ракетного комплекса малой дальности «Тор-М2», учитывающая особенности построения ЗРК, а также возможность нанесения удара средствами воздушного нападения, имеющими различные параметры и действующими с различных направлений.

In article the analytical model of fighting application of a multichannel anti-aircraft rocket complex of small range the «Tor-M2» is offered, considering features, and also possibility of drawing of blow by means of an air attack, having various parametres and from various directions.

Принятие на вооружение в нашей стране современного зенитного ракетного комплекса (ЗРК) «Тор-М2», который предназначен для поражения большинства существующих воздушных целей [1], обусловило особую актуальность вопроса оценки эффективности боевого применения данного ЗРК в различных ситуациях.

В настоящее время при оценке эффективности многоканальных ЗРК ведущее место занимает математическое моделирование их боевого применения. Существует большое количество аналитических математических моделей, с помощью которых можно производить оценку показателей боевой эффективности многоканальных ЗРК [2–4]. Большинство таких моделей реализовано в виде систем массового обслуживания (СМО). В них для анализа боевого функционирования многоканального ЗРК используются как марковские, так и немарковские случайные процессы.

Практически все рассмотренные аналитические модели разрабатывались под определенные типы многоканальных ЗРК (в основном «С-300»). В связи с этим в данных моделях не реализованы некоторые присущие ЗРК «Тор-М2» особенности боевого применения. В качестве одной из таких особенностей можно отметить то, что данный комплекс является автономным [5], т. е. ведение боя может осуществляться только одной боевой машиной (БМ). При этом каждая БМ имеет в своем составе всю необходимую аппаратуру как для осуществления поиска и обнаружения средств воздушного нападения (СВН) [1, 5], так и для допоиска целей в определенном секторе по данным целеуказания от командного пункта. При ведении современного противовоздушного боя этот аспект является важным фактором, так как СВН в первую очередь стремятся подавить средства управления системы ПВО. Отсюда следует, что оценка эффективности ЗРК в случае самостоятельного ведения боя может рассматриваться как одна из приоритетных задач.

Еще одной особенностью рассмотренных математических моделей является то, что при оценке показателей боевой эффективности ЗРК основное внимание уделяется особенностям боевого функционирования самого комплекса (учитываются многоканальность, надежность целевого и ракетного каналов, повторный обстрел цели и т. д.), при этом описание противной стороны осуществлено с большой долей упрощений и допущений. Так, даже в моделях, в которых для анализа эффективности боевого функционирования использована теория немарковских случайных процессов, рассматриваются варианты налетов однотипных целей, т. е. СВН, имеющих одинаковые параметры (скорость, высота, курсовой параметр).

При осуществлении оценки эффективности боевого применения ЗРК «Тор-М2» с помощью существующих аналитических моделей, не учитывающих вышеприведенные особенности, значения полученных показателей боевой эффективности не будут в полной мере отражать реальные возможности ЗРК по поражению СВН.

Таким образом, целью данной статьи является рассмотрение аналитической математической модели боевого функционирования ЗРК «Тор-М2», в которой отражены особенности ведения боя данным ЗРК. Прежде всего, речь идет об учете функционирования собственного средства разведки и обнаружения целей, а также применении СВН, которые рассредоточены по параметрам (скорость, высота и курсовой параметр) и наносят удар с различных направлений в рамках определенного сектора [5] станции наведения ЗРК.

При разработке модели в качестве базовой для усовершенствования выбрана математическая модель многоканального ЗРК, представленная в виде двухфазной СМО смешанного типа с ограничением на продолжительность времени ожидания начала обслуживания [4].

Такую модель можно представить в виде графа состояний и интенсивностей переходов между ними (рисунок 1), где введены следующие обозначения:

$N_{ц}$ – количество целей, которые могут находиться в зоне пуска;

$N_{ц}^*$ – реальное количество целей, находящихся в зоне пуска, или ограниченное количеством стрельб ЗРК;

N_k (N_k) – количество исправных (задействованных) целевых каналов (ЦК);

λ – интенсивность налета целей;

$\mu_{1(2,3,4)}$ – интенсивность обслуживания целей на первой фазе с учетом занятости ЦК;

μ_2 – интенсивность обслуживания целей на второй фазе;

ν – интенсивность выхода целей из зоны пуска ЗРК.

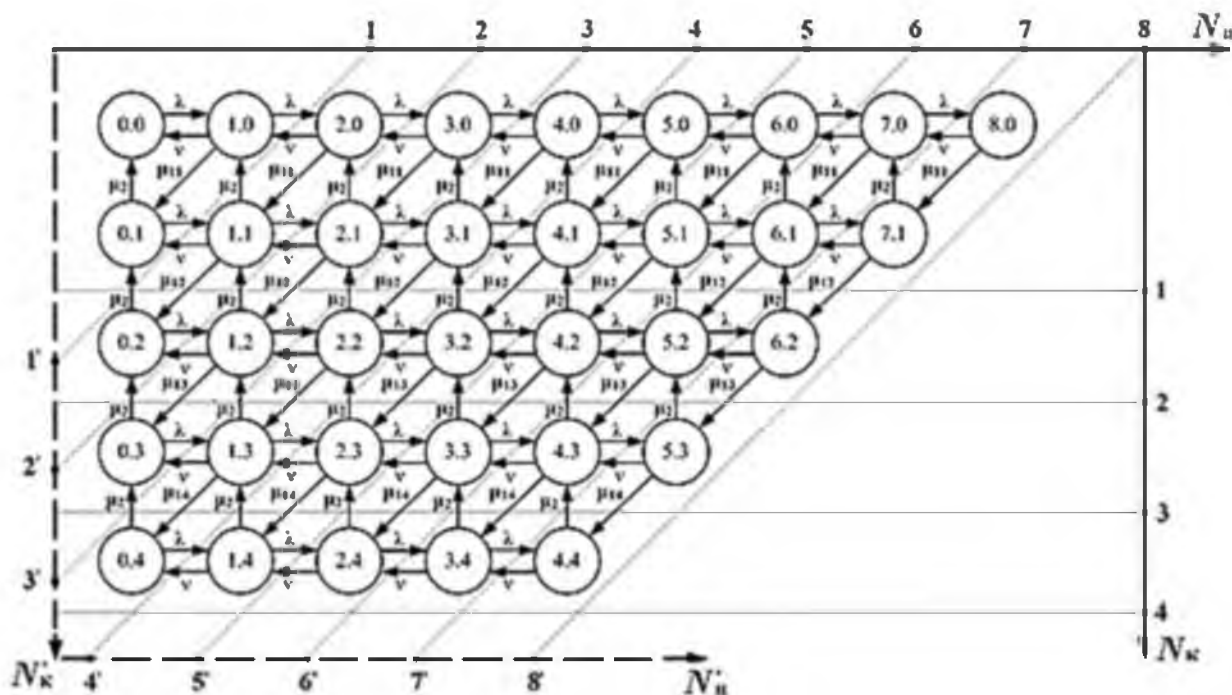


Рисунок 1. – Граф состояний и интенсивностей переходов многоканального ЗРК «Тор-М2»

При этом граф соответствует максимально возможному количеству целей из состава налета, одновременно находящихся в зоне пуска ЗРК $N_{ц} = 8$, и максимально возможному числу исправных целевых каналов $N_k = 4$. Если в налете количество целей меньше восьми или боезапас зенитных управляемых ракет (ЗУР) не позволяет обстрелять все цели в зоне пуска, то граф усекается косыми линиями, а при уменьшении исправных ЦК – горизонтальными прямыми линиями.

Первая фаза обслуживания в СМО отражает этап подготовки обстрела цели от начала обзора пространства до момента обнаружения и захвата цели на автоматическое сопровождение (АС). Вторая фаза учитывает этап стрельбы, состоящий из оценки исходных данных для стрельбы, включения ракет на подготовку и определения типа огня, пуска ЗУР, наведения ракет на цель и оценки результатов стрельбы.

Состояние ЗРК на рисунке 1 в произвольный момент времени обозначим парой индексов (i, j) . Состояние (i, j) означает, что $i+j$ целей находятся в зоне пуска ЗРК, причем i целей – на первой фазе обслуживания, а j целей – на второй фазе. Например, состояние (2.2) означает, что четыре цели находятся в зоне огня. Две из них ЗРК сопровождает станцией обнаружения целей (СОЦ), а по третьей и четвертой производится стрельба. Из этого состояния возможно перейти в ряд других состояний системы. Например, переход в состояние (2.1) осуществляется после завершения обстрела и оценки результатов стрельбы по одной из целей.

Учет отмеченных выше особенностей построения модели боевого применения ЗРК «Тор-М2» будем осуществлять следующим образом. Для учета рассредоточенности целей по параметрам, во-первых, необходимо выбрать соответствующее распределение заявок во входном потоке и длительности времени обслуживания в СМО. В качестве такого распределения предлагается использовать гиперэрланговское распределение, которое представляет собой аддитивную смесь нормированных распределений Эрланга [6]. Функция распределения интервалов времени ($F_\lambda(t)$) между СВН, участвующими в налете, имеет вид

$$F_\lambda(t) = 1 - \sum_{i=1}^{N_k} p_{\text{вх}i} e^{-k_i \lambda t} \sum_{m=0}^{k_i-1} \frac{(k_i \lambda t)^m}{m!}, \quad (1)$$

где $p_{\text{вх}i}$ – вероятность входа i -й цели в зону пуска;

k_i – порядок распределения i -й цели.

Далее начинается обслуживание цели на первой фазе СМО. Функция распределения длительности времени обслуживания на первой фазе ($F_1(t)$) рассчитывается по формуле

$$F_1(t) = 1 - \sum_{j=1}^{N_k} p_{1j} e^{-k_j \mu_1 t} \sum_{m=0}^{k_j-1} \frac{(k_j \mu_1 t)^m}{m!}, \quad (2)$$

где p_{1j} – вероятность обслуживания j -й цели на первой фазе обслуживания.

Цель, обслуженная в первой фазе, поступает затем для обслуживания на второй фазе СМО. Функция распределения времени обслуживания цели на второй фазе ($F_2(t)$) определяется следующим образом:

$$F_2(t) = 1 - \sum_{j=1}^{N_k} p_{2j} e^{-k_j \mu_2 t} \sum_{m=0}^{k_j-1} \frac{(k_j \mu_2 t)^m}{m!}, \quad (3)$$

где p_{2j} – вероятность обстрела j -й цели.

Если все целевые каналы ЗРК заняты, то в соответствии с количеством назначаемых на цель ЗУР и боезапасом ракет на БМ возможны два варианта дальнейшей работы модели. При наличии ЗУР на БМ предполагается, что цель не покидает СМО, а становится в очередь. Время ожидания в очереди ограничивается временем пребывания цели в зоне пуска ЗРК. В случае полного израсходования ЗУР цели для обслуживания на первой фазе больше не принимаются.

Рассмотрим дальнейшую работу СМО на первой фазе. При этом функция распределения времени ожидания цели ($F_v(t)$) имеет вид

$$F_v(t) = 1 - \sum_{i=1}^{N_k} p_{\text{вых}i} e^{-k_i \nu t} \sum_{m=0}^{k_i-1} \frac{(k_i \nu t)^m}{m!}, \quad (4)$$

где $p_{\text{вых } i}$ – вероятность выхода i -й цели из зоны пуска.

Для учета рассредоточенности целей по параметрам необходимо, во-вторых, интенсивность потока выхода целей из зоны пуска ЗРК представить в виде

$$v = \sum_{a=1}^{N_a} \sum_{i=1}^a p_{ai} v_i, \quad (5)$$

где $v_i = \frac{1}{t_{\text{пр } i}}$ – интенсивность выхода i -й цели из зоны пуска.

В свою очередь, для i -й цели рассчитывается время пребывания в зоне пуска ЗРК $t_{\text{пр } i}$, по следующей формуле:

$$t_{\text{пр } i} = \left[\frac{(L_{\text{д } i} - L_{\text{б } i})}{V_{\text{ц } i}} \right] + t_{\text{р.д } i} - t_{\text{р.б } i}, \quad (6)$$

где $L_{\text{д } i(\text{б } i)}$ – значение курсовой дальности до дальней (ближней) границы зоны поражения;

$V_{\text{ц } i}$ – скорость цели;

$t_{\text{р.д } i(\text{р.б } i)}$ – время полета ракеты до дальней (ближней) границы зоны поражения.

Интенсивность обслуживания цели на второй фазе представим в следующем виде:

$$\mu_2 = \sum_{a=1}^{N_a} \sum_{j=1}^a p_{aj} \mu_{2j}, \quad (7)$$

где $\mu_{2j} = \frac{1}{t_2}$ – интенсивность обслуживания j -й цели на второй фазе;

$$t_2 = t_{\text{пр}} + t_{\text{сх}} + t_{\text{ПП}} + t_{\text{н}}(n_{\text{р}} - 1) + t_{\text{ТВ } j} + t_{\text{оц}};$$

$t_{\text{пр}}$ – время принятия решения на обстрел цели;

$t_{\text{сх}}$ – время схода ракеты;

$t_{\text{ПП}}$ – время решения задачи прибором пуска;

$t_{\text{н}}$ – интервал между пусками ЗУР;

$n_{\text{р}}$ – количество ЗУР в очереди;

$t_{\text{ТВ } j}$ – время полета ЗУР до точки встречи с j -й целью;

$t_{\text{оц}}$ – время оценки результатов стрельбы.

Для учета работы СОЦ, во-первых, в формулу расчета работного времени ЗРК ($t_{\text{ЗРК}}$) добавим время поиска цели ($t_{\text{п}}$):

$$t_{\text{ЗРК}} = t_{\text{п}} + t_{\text{с.ц}} + t_{\text{ОГП}} + t_{\text{ПП}} + t_{\text{пр}}, \quad (8)$$

где $t_{\text{с.ц}}$ – время захвата цели на сопровождение;

$t_{\text{ОГП}}$ – время определения государственной принадлежности цели.

Во-вторых, интенсивность обслуживания целей на первой фазе СМО (μ_{1j}) будем рассчитывать с учетом времени поиска и вероятности обнаружения цели ($P_{\text{обн}}$):

$$\mu_{1j} = \frac{P_{\text{обн}}}{t_{\text{н}} + t_{\text{сн}} + t_{\text{отп}} + t_{\text{всп}}^{1-2}}, \quad (9)$$

где $t_{\text{всп}}$ – среднее время, характеризующее переход от одного ЦК к другому.

Значения параметров, входящих в формулы (5) – (9), могут быть взяты из [7].

Высота, скорость, курсовой параметр и эффективная отражающая поверхность цели используются при определении значений дальней и ближней границ зоны поражения для каждого СВН из состава налета. Однако для ряда целей (малоразмерных, низковысотных, постановщиков помех или прикрытых помехами) дальность обнаружения может не обеспечивать обстрел СВН на дальней границе зоны поражения. При этом время пребывания цели в зоне пуска также будет зависеть не от $L_{\text{д}}$, а от реализуемой дальности стрельбы ($D_{\text{стр } i}$), которая рассчитывается по формуле

$$D_{\text{стр } i} = \frac{D_{\text{обн } i} - V_{\text{ц } i} |t_{\text{ЗРК}} + (n_{\text{р}} - 1)t_{\text{н}}|}{1 + V_{\text{ц } i} / V_{\text{р.ср}}}, \quad (10)$$

где $D_{\text{обн } i}$ – дальность обнаружения i -й цели [8, 9];

$V_{\text{р.ср}}$ – средняя скорость ракеты.

В случае необнаружения цели после первого обзора пространства осуществляется повторный поиск цели, что приводит к уменьшению расчетной дальности обнаружения на величину, которую СВН преодолет за время повторного поиска цели. Соответственно от общего времени, затрачиваемого на поиск цели, зависит и значение интенсивности обслуживания целей в первой фазе СМО (μ_{1j}).

Для представленного на рисунке 1 графа состояний при заданных ограничениях в соответствии с методикой расчета вероятностей состояний методом вложенных цепей Маркова [10] определяются:

вероятности переходов между состояниями ($P_{x,y}$);

средние времена пребывания системы в отдельных состояниях (\bar{t}_x);

стационарные вероятности состояний вложенной марковской цепи (π_x);

средняя продолжительность одного перехода (\bar{t});

вероятности нахождения системы в каждом из состояний (P_x).

Вывод обобщенных аналитических выражений для расчета вероятностей состояний с использованием метода вложенных цепей Маркова при использовании нормированного распределения Эрланга был осуществлен в [11]. Для рассматриваемого распределения по методике, изложенной в [11], были получены выражения для нахождения вероятностей переходов между состояниями графа ($P_{x,y}$) и средних времен пребывания системы в ее состояниях (\bar{t}_x). В последующих формулах индекс x соответствует одному из состояний (i,j), а y – состоянию, в которое система может перейти. Например (рисунок 1), из состояния (2.2) система может перейти в состояния (1.3), (1.2), (2.1), (3.2):

$$\begin{aligned}
P_{x,y} = & \sum_{n=0}^{k_n-1} \sum_{m=0}^{k_m-1} \dots \sum_{z=0}^{k_z-1} \left[\frac{\left(\sum_{a=1}^j \sum_{b=1}^a p_b v_b^{x,y} \right) (k_n - n)(k_m - m) \dots (k_z - z) \left(k_n \left(\sum_{a=1}^j \sum_{b=1}^a p_b v_b^{x,y} \right) \right)^n}{k_n \dots k_z n! m! \dots z!} \times \right. \\
& \times \frac{\left(k_m \left(\sum_{a=1}^j \sum_{b=1}^a p_b v_b^{x,y+1} \right) \right)^m \dots \left(k_z \left(\sum_{a=1}^j \sum_{b=1}^a p_b v_b^{x,y+f} \right) \right)^z (n+m+\dots+z)!}{\left(k_n \left(\sum_{a=1}^j \sum_{b=1}^a p_b v_b^{x,y} \right) + k_m \left(\sum_{a=1}^j \sum_{b=1}^a p_b v_b^{x,y+1} \right) + \dots + k_z \left(\sum_{a=1}^j \sum_{b=1}^a p_b v_b^{x,y+f} \right) \right)^{n+m+\dots+z+1}} - \\
& - \sum_{n=0}^{k_n-1} \sum_{m=0}^{k_m-1} \dots \sum_{z=0}^{k_z-1} \left[\frac{n(k_n - n)(k_m - m) \dots (k_z - z) \left(k_n \left(\sum_{a=1}^j \sum_{b=1}^a p_b v_b^{x,y} \right) \right)^n}{k_n k_m \dots k_z n! m! \dots z!} \times \right. \\
& \times \frac{\left(k_m \left(\sum_{a=1}^j \sum_{b=1}^a p_b v_b^{x,y+1} \right) \right)^m \dots \left(k_z \left(\sum_{a=1}^j \sum_{b=1}^a p_b v_b^{x,y+f} \right) \right)^z (n+m+\dots+z-1)!}{\left(k_n \left(\sum_{a=1}^j \sum_{b=1}^a p_b v_b^{x,y} \right) + k_m \left(\sum_{a=1}^j \sum_{b=1}^a p_b v_b^{x,y+1} \right) + \dots + k_z \left(\sum_{a=1}^j \sum_{b=1}^a p_b v_b^{x,y+f} \right) \right)^{n+m+\dots+z}} \Big]; \quad (11)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\bar{t}_x = & \sum_{n=0}^{k_n-1} \sum_{m=0}^{k_m-1} \dots \sum_{z=0}^{k_z-1} \left[\frac{(k_n - n)(k_m - m) \dots (k_z - z) \left(k_n \left(\sum_{a=1}^j \sum_{b=1}^a p_b v_b^{x,y} \right) \right)^n}{k_n k_m \dots k_z n! m! \dots z!} \times \right. \\
& \times \frac{\left(k_m \left(\sum_{a=1}^j \sum_{b=1}^a p_b v_b^{x,y} \right) \right)^m \dots \left(k_z \left(\sum_{a=1}^j \sum_{b=1}^a p_b v_b^{x,y+f} \right) \right)^z (n+m+\dots+z)!}{\left(k_n \left(\sum_{a=1}^j \sum_{b=1}^a p_b v_b^{x,y} \right) + k_m \left(\sum_{a=1}^j \sum_{b=1}^a p_b v_b^{x,y+1} \right) + \dots + k_z \left(\sum_{a=1}^j \sum_{b=1}^a p_b v_b^{x,y+f} \right) \right)^{n+m+\dots+z+1}} \Big]. \quad (12)
\end{aligned}$$

В формулах (11), (12) введены следующие обозначения:

n, m, z – параметры распределения Эрланга, которые могут принимать значения от 0 до $(k_{n(m,z)} - 1)$;

a – количество сопровождаемых или обстреливаемых на текущий момент целей (в зависимости от рассматриваемого перехода);

b – количество вариантов обслуживания целей;

p_b – вероятность наступления определенного события из состава полной группы, например при переходе из состояния (0.2) в (0.1), т. е. при осуществлении обстрела одной из двух имеющихся целей, возможен обстрел либо первой, либо второй цели с определенной вероятностью;

$v_b^{i,j}$ – интенсивность перехода для конкретной цели; для предыдущего примера это интенсивность обстрела для первой либо второй из имеющихся целей.

Далее определяются стационарные вероятности состояний вложенной марковской цепи. Для расчета всех стационарных вероятностей состояний вложенной марковской цепи необходимо составлять систему уравнений по количеству состояний графа. Так как граф, представленный на рисунке 1, состоит из относительно большого количества состояний, то расчет такой системы целесообразно проводить путем ее представления в матричном виде.

На основании выражений для расчета стационарных вероятностей состояний вложенной марковской цепи, представленных в [11], вычисляется средняя продолжительность одного перехода:

$$\bar{t} = \sum_{x=1}^{N_c} \pi_x \bar{t}_x. \quad (13)$$

Затем определяются стационарные вероятности P_x состояний исследуемой системы:

$$P_x = \frac{\pi_x \bar{t}_x}{\bar{t}}. \quad (14)$$

По вероятностям состояний рассчитывается пропускная способность ЗРК (μ_0):

$$\mu_0 = \sum_{j=1}^{N_k} \mu_{2j} \sum_{i=0}^{N_u-j} P_{ij}. \quad (15)$$

Осуществлена программная реализация модели, которая позволяет в короткий промежуток времени получить значение показателя боевой эффективности ЗРК, например времени, необходимого для обстрела целей ($T_{\text{обстр}}$), а также оценить, как будет меняться величина данного показателя под влиянием различных факторов. Рисунок 2 иллюстрирует результаты моделирования для различных интенсивностей налета целей.

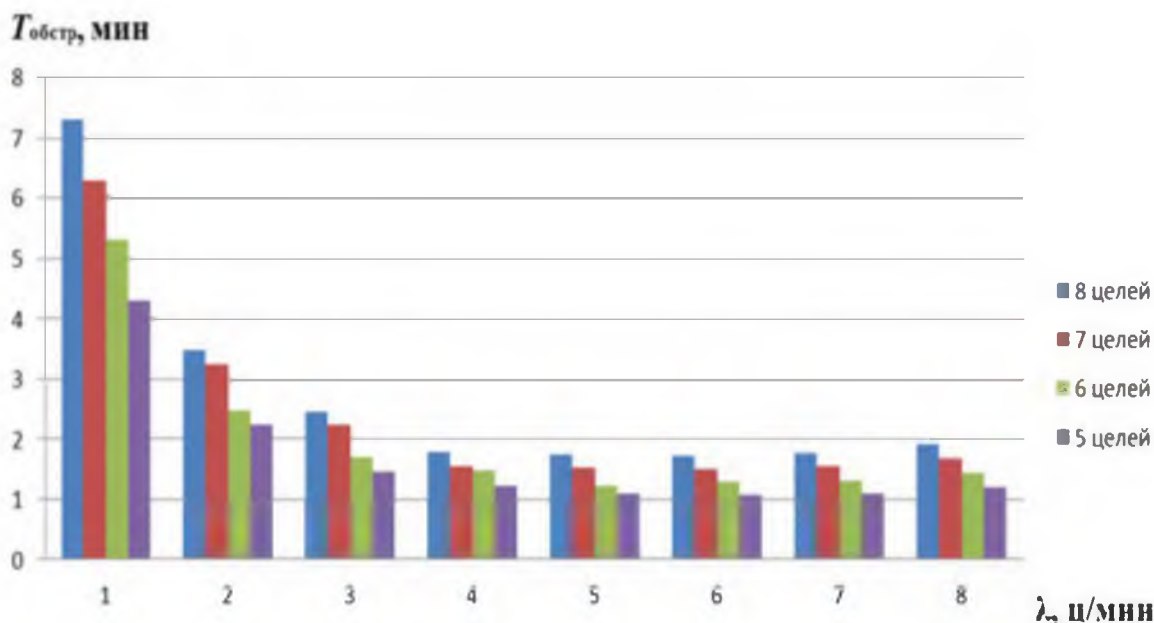


Рисунок 2. – Зависимость времени, необходимого для обстрела целей, от интенсивности налета

Таким образом, в данной статье предложена аналитическая математическая модель боевого функционирования ЗРК «Тор-М2», являющаяся дальнейшим усовершенствованием представленных в [2–4] моделей. В данной модели осуществляется: учет собственного средства разведки и обнаружения целей, который позволяет оценить полный временной цикл боевого функционирования ЗРК «Тор-М2»; учет рассредоточенности целей, что более полно отражает реальное формирование налета СВН и соответственно позволяет осуществлять расчет границ зон обнаружения и поражения для каждой из целей. Расчет модели осуществляется путем применения методики расчета вероятностей состояний системы методом вложенных цепей Маркова. В результате были получены выражения для вероятностей переходов между состояниями и средних времен пребывания системы в отдельных состояниях с учетом гиперэрланговского распределения длительности времени обслуживания в СМО. Это позволило «уйти» от фиксированных значений интенсивностей переходов между состояниями системы (однотипности целей) и осуществлять расчеты с учетом различных параметров СВН.

Предлагаемая модель позволяет рассчитать показатели боевой эффективности ЗРК «Тор-М2» при его автономном применении и дает возможность достаточно точно оценить значение данных показателей при взаимодействии двух БМ в режиме «Звено». Имеется принципиальная возможность, при небольших изменениях, использования представленной аналитической модели для расчетов не только ЗРК «Тор-М2», но и других многоканальных ЗРК.

Список литературы

1. Шунков, В. Н. Армия современной России / В. Н. Шунков. – Минск: Харвест, 2012. – 304 с.: ил.
2. Ковтуненко, А. П. Основы построения и моделирования функционирования сложных систем вооружения / А. П. Ковтуненко, Н. А. Шершнева. – Харьков: ВИРТА, 1992.
3. Военная кибернетика: методология обоснования направлений развития зенитного ракетного вооружения и синтеза зенитных ракетных систем / под ред. А. С. Сумина, Ю. И. Арепина. – М.: ВИМИ, 1997. – 399 с.
4. Бабарыкин, Е. А. Модель многоканального ЗРК / Е. А. Бабарыкин, А. А. Степанов // Сб. воен.-науч. ст. ВА РБ. – 1998. – № 2. – С. 168–170.
5. Правила стрельбы и управления огнем, боевая работа на зенитном ракетном комплексе 9К331МК – Минск: Командование ВВС и войск ПВО, 2013. – 212 с.
6. Бронштейн, И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – М.: Наука, 1986. – 544 с.
7. Временные нормативы зенитным ракетным войскам Военно-воздушных сил и войск противовоздушной обороны, зенитная ракетная батарея «Тор-М2». – Минск: Командование ВВС и войск ПВО, 2012. – 19 с.
8. Неупокоев, В. Ф. Противовоздушный бой / В. Ф. Неупокоев. – М.: Воениздат, 1989. – 262 с.
9. Справочник офицера Военно-воздушных сил и войск противовоздушной обороны. – Минск: Командование ВВС и войск ПВО, 2009. – 511 с.
10. Волков, Л. И. Управление эксплуатацией летательных комплексов / Л. И. Волков. – М.: Радио и связь, 1987. – 368 с.
11. Вывод обобщенных аналитических выражений для вероятностей перехода между состояниями системы с использованием метода вложенных цепей Маркова ЗРК / А. А. Степанов [и др.] // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2010. – № 4. – С. 47–51.

*Сведения об авторах:

Ярмалкевич Василий Иосифович.

Берикбаев Владимир Мурзатаевич.

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 19.05.2016 г.

СИСТЕМА КОРРЕКЦИИ КАЧЕСТВА ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО АКТИВНОГО ФИЛЬТРА

С. А. Чумаков, А. Н. Малашин, Ю. В. Суходолов*

Разработана простая и эффективная система коррекции качества питающего напряжения на основе параллельного активного фильтра. Предложен способ реализации системы управления. Построена модель системы в программной среде Matlab 6.5 и приведены результаты моделирования ее работы.

The simple and effective control system of the parallel active filter is developed. The way of realisation of the developed control system is offered by the parallel active filter. The model of the parallel active filter with the offered control system is constructed and results of modelling of its work on is active-capacitor loading are resulted.

Введение

Система электроснабжения (СЭС) является неотъемлемой частью автономного образца вооружения (АОВ), без которой его функционирование невозможно. Ее задачей как функциональной системы образца вооружения является бесперебойное обеспечение потребителей электрической энергией с требуемым качеством во всех режимах работы.

В состав оборудования АОВ входят различного рода нелинейные электромагнитные нагрузки. Главная особенность таких нагрузок – потребление ими несинусоидального тока. Доля нелинейных нагрузок в составе функционального оборудования современных АОВ достигает 80 %. При сравнимых мощностях СЭС переменного тока и импульсной (нелинейной) нагрузки неизбежно искажается форма кривой напряжения [1]. Данные искажения оказывают отрицательное влияние на оборудование АОВ, которое выражается в сокращении срока службы изоляции электрических машин и аппаратов электрооборудования, в увеличении потерь на гистерезис и вихревые токи в магнитопроводе и обмотках трансформаторов, в снижении коэффициента мощности и электромагнитного момента на валу асинхронных двигателей, в ложном срабатывании ответственной управляющей и защитной аппаратуры, в нарушении работы специальной вычислительной техники, в повышении вероятности возникновения резонансных явлений в СЭС [1–3].

Достижения силовой электроники позволяют создавать системы коррекции качества питающего напряжения на основе параллельных активных фильтров [4–8]. Принцип работы таких систем заключается в генерации в сеть в точке подключения высших гармоник тока в противофазе с существующими. Основное отличие разрабатываемых систем заключается в применяемых алгоритмах определения параметров тока компенсации, которые зачастую имеют высокую стоимость технической реализации и сложную систему управления. Качество компенсации зависит от применяемого метода формирования задающих воздействий на силовую часть.

Материалы исследований

Активный фильтр представляет собой преобразователь напряжения с дросселями на стороне переменного тока преобразователя и обеспечивает компенсацию высших гармонических составляющих тока сети путем генерирования высших гармонических составляющих тока в сеть в противофазе с высшими гармоническими составляющими тока сети. Управление компенсацией токов высших гармонических составляющих сети осуществляется путем слежения за токами в сети до точки включения АФ.

Известно несколько основных способов управления системами коррекции качества питающего напряжения на основе АФ, разработанных в разное время. Все они могут быть представлены как ряд простых действий, выполняемых теми или иными узлами системы управления, и могут быть в итоге сведены к следующему:

- 1) вычисление тока задания АФ, представляющего собой «идеальный» ток, т. е. ток, в составе которого отсутствуют высшие гармонические составляющие;
- 2) преобразование полученного тока задания АФ в закон переключения силовых вентилей АФ.

Методы вычисления пассивной составляющей мгновенного тока сети условно можно разделить на две группы: временные и частотные.

Наиболее широко используемыми временными методами являются метод «мгновенной мощности» (или « p - q теория») и метод управления в синхронной системе координат, основанный на прямом и обратном преобразовании Парка – Горева [4, 9].

Метод «мгновенной мощности» основан на вычислении мощности нагрузки с использованием токов и напряжений нагрузки в стационарной ортогональной системе координат. Переход к этой системе координат от трехфазной системы координат осуществляется посредством преобразования Кларка (abc - $\alpha\beta$ преобразование). Затем вводятся понятия действительной $p(t)$ и мнимой $q(t)$ мгновенных мощностей в α - β координатах.

Среднее значение действительной составляющей мгновенной мощности $p(t)$ соответствует активной мощности в традиционном представлении. В то же время мнимая мгновенная мощность $q(t)$ не соответствует традиционной реактивной мощности. Поскольку составляющие мгновенных мощностей p и q , соответствующие активной и реактивной мощности, являются величинами постоянными (или медленно меняющимися в динамических режимах работы), то упрощается их выделение. Постоянные величины \bar{p} и \bar{q} выделяются посредством информационных фильтров нижних частот (ФНЧ). Эти значения являются мощностью задания компенсатора (p^*, q^*).

Токи задания компенсатора определяются по найденным значениям мощности компенсатора и напряжению сети в точке его подключения.

Метод управления в синхронной системе координат основан на прямом и обратном преобразовании Парка – Горева. Прямое преобразование заключается в нахождении проекций обобщенного вектора тока или напряжения на оси ортогональной системы координат, вращающейся синхронно с вектором напряжения сети.

Переменные составляющие проекций i_d и i_q (\bar{i}_d, \bar{i}_q) соответствуют высшим гармоническим составляющим и обратной последовательности токов. Для выделения постоянных составляющих, несущих информацию об активной и реактивной мощности, применяются фильтры низких частот (ФНЧ), как в методе «мгновенной мощности».

В основе частотных методов лежит математический аппарат спектрального анализа, главным образом быстрого преобразования Фурье (БПФ) или рекуррентного быстрого преобразования Фурье (РБПФ). Посредством БПФ (РБПФ) производится получение изображения тока нагрузки в частотной области (пофазно). После этого производится коррекция вектора первой гармонической составляющей тока в целях устранения квадратурной составляющей и обеспечения выполнения баланса мощности.

Недостатками рассмотренных методов являются:

1. Непосредственное использование в методе, основанном на теории «мгновенной мощности» переменных u_α, u_β в операции вычисления токов задания. Это приводит к низкой помехоустойчивости этой системы управления, так как при прохождении случайного импульса по каналу получения информации о напряжении сети будет неправильно рассчитан ток задания компенсатора. Это может привести к колебательному переходному процессу выходного тока и напряжения компенсатора, так как преобразователь компенсатора является нелинейной импульсной системой.

2. Наличие фильтров низких частот, которые вносят запаздывание в процесс вычисления тока задания.

3. Необходимость синхронизации с напряжением сети эталонных единичных сигналов ($\cos\theta$ и $\sin\theta$). Реализация предполагает использование системы фазовой автоподстройки частоты.

4. Реализация частотных методов требует 5–10 периодов сетевой частоты, а также существенных аппаратных затрат для осуществления вычислений. Это не обеспечивает необходимое быстродействие в условиях резкопеременного характера нагрузки АОВ и особенностях САЭС.

5. Невозможность применения рассмотренных временных способов к однофазным системам САЭС – АОВ.

Резкопеременный характер нагрузки АОВ, нестабильность вращения вала приводного двигателя первичного источника энергии САЭС и, как следствие, нестабильность параметров напряжения не позволяют применить существующие способы управления коррекцией качества питающего напряжения на основе АФ к системам САЭС – АОВ.

Теоретический анализ

Для анализа системы САЭС – АОВ в программной среде Matlab 6.5 был смоделирован процесс влияния на питающую сеть распространенного типа нелинейной нагрузки АОВ – вентиляльного преобразователя. Анализ влияния проведен для неуправляемого однофазного мостового выпрямителя, работающего на активно-емкостную нагрузку (блок питания ПЭВМ). В качестве САЭС смоделирован первичный источник мощностью 1 кВ·А. Напряжение первичного источника, ток, потребляемый выпрямителем, представлены на рисунке 1.

Встроенные возможности среды моделирования позволяют оценить уровень искажений кривой тока с помощью параметра THD (суммарное гармоническое искажение). Его аналог в отечественной литературе – коэффициент гармонического искажения кривой тока (напряжения).

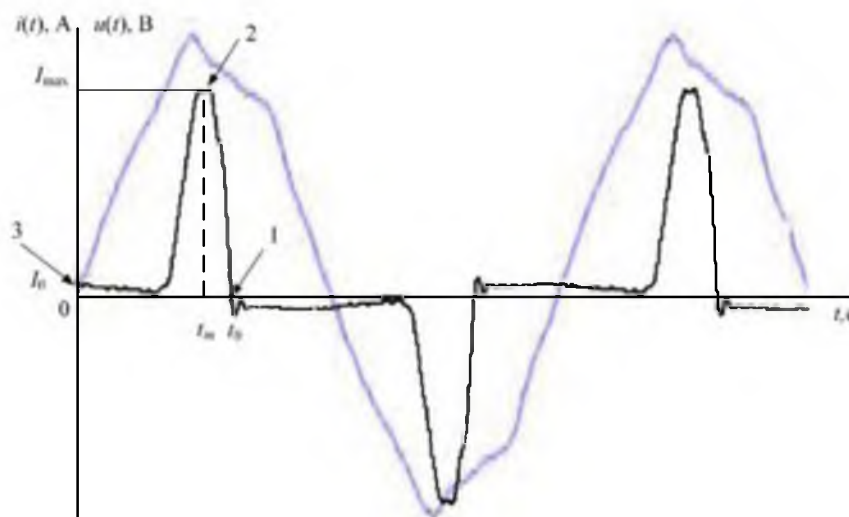


Рисунок 1. – Напряжение первичного источника, ток, потребляемый выпрямителем

Согласно анализу гармонического состава тока, суммарное гармоническое искажение составляет 122,47 %.

Для устранения гармонических искажений тока предлагается СККН на основе параллельного АФ, в которой реализуется принципиально новый метод получения «идеального» тока, т. е. тока, в составе которого отсутствуют высшие гармонические составляющие. Формирование управляющих импульсов для силовой части автономного инвертора напряжения СККН предлагается осуществлять методом широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Схема подключения СККН к системе СЭС – АОВ представлена на рисунке 2.

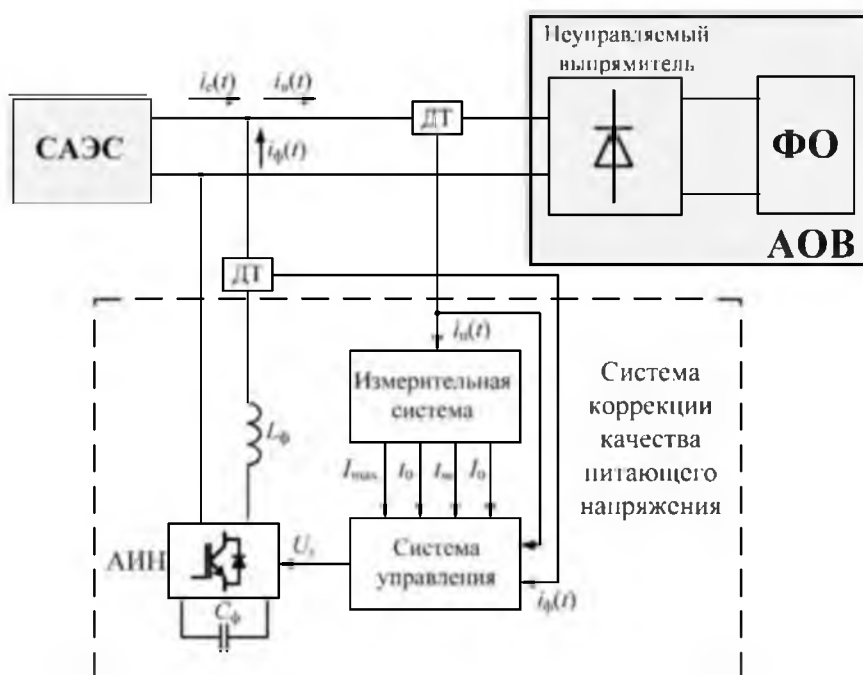


Рисунок 2. – Схема подключения СККН к системе САЭС – АОВ

Принцип работы предложенной системы управления СККН заключается в компенсации разницы между мгновенными значениями «идеального» и реального токов нагрузки преобразователя. «Идеальный» ток, потребляемый из сети, определим, основываясь на анализе кривой тока в характерных точках [10].

Анализ кривой тока показывает, что в ее форме можно выделить несколько характерных точек:

точка 1 – значение кривой тока $i(t)$ в момент времени $t = t_0$.

точка 2 – значение I_{\max} кривой тока $i(t)$ в момент времени $t = t_m$;

точка 3 – значение I_0 кривой тока $i(t)$ в момент времени $t = 0$.

Известно, что любая периодическая кривая может быть представлена рядом Фурье в тригонометрической форме:

$$i(t) = \sum_{n=1}^{\infty} I_{mn} \sin(n\omega t + \psi_n), \quad (1)$$

где I_{mn} – амплитуды гармонических составляющих;

ψ_n – начальные фазы гармонических составляющих;

n – номер гармонических составляющих;

ω – угловая частота.

В точке 1 значение кривой тока $i(t)$ в момент времени $t = t_0$ равно нулю:

$$i(t_0) = 0; \quad \sum_{n=1}^{\infty} I_{mn} \sin(n\omega t_0 + \psi_n) = 0. \quad (2)$$

В точке 2 кривая тока $i(t)$ имеет максимум в момент времени $t = t_m$. Следовательно:

$$i(t_m) = I_{\max}; \quad \sum_{n=1}^{\infty} I_{mn} \sin(n\omega t_m + \psi_n) = I_{\max}. \quad (3)$$

Кроме того, первая производная функции, описывающей кривую тока, в момент времени $t = t_m$ равна нулю:

$$\frac{di(t_m)}{dt} = 0; \quad \sum_{n=1}^{\infty} nI_{mn} \cos(n\omega t_m + \psi_n) = 0.$$

Так как $t_m = T/4 = \pi/2\omega$, то

$$\sum_{n=1}^{\infty} n I_{mn} \cos(n\omega t_m + \psi_n) = 0; \quad \sum_{n=1}^{\infty} n I_{mn} \cos\left(n\frac{\pi}{2} + \psi_n\right) = 0. \quad (4)$$

В точке 3 значение кривой тока $i(t)$ в момент времени $t = 0$ равно I_0 :

$$i(0) = I_0; \quad \sum_{n=1}^{\infty} I_{mn} \sin(n\omega t_0 + \psi_n) = I_0. \quad (5)$$

Кроме того, точка 3 является точкой перегиба. Следовательно, вторая производная функции, описывающей кривую тока, в момент времени $t = 0$ равна нулю:

$$\frac{di^2(t)}{dt} = 0; \quad -n^2\omega^2 \sum_{n=1}^{\infty} I_{mn} \sin(n\omega t + \psi_n) = 0 \quad \text{или}$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} n^2 I_{mn} \sin \psi_n = 0. \quad (6)$$

Выражения (2)–(6) представляют собой систему уравнений, связывающих временные параметры кривой тока с параметрами гармонических составляющих:

$$\begin{cases} \sum_{n=1}^{\infty} I_{mn} \sin(n\omega t_0 + \psi_n) = 0; \\ \sum_{n=1}^{\infty} I_{mn} \sin(n\omega t_m + \psi_n) = I_{\max}; \\ \sum_{n=1}^{\infty} n I_{mn} \cos\left(n\frac{\pi}{2} + \psi_n\right) = 0; \\ \sum_{n=1}^{\infty} I_{mn} \sin(n\omega t_0 + \psi_n) = I_0; \\ \sum_{n=1}^{\infty} n^2 I_{mn} \sin \psi_n = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Решение данной системы уравнений относительно амплитуд гармонических составляющих тока с введением дополнительных эмпирических поправок для $n = 1$ дает результат [13]:

$$I_1 = \frac{2\pi I_{\max} \sin\left(0,95\left(\frac{\pi t_0}{2 t_m} - \frac{\pi}{4}\right)\right)}{\left(\frac{\pi t_0}{2 t_m} - \frac{\pi}{4}\right) \left(\frac{1}{9,314 \cdot 10^3 t_m^2 \left(\frac{t_0}{t_m} - \frac{1}{2}\right)^2} - \frac{\pi^2}{t_m^2 4 \cdot 1,017 \cdot 10^5}\right)} \quad (8)$$

Решение системы уравнений (7) относительно начальных фаз высших гармонических составляющих [10, 11] дает результат:

$$\psi_n = \arctg \frac{2 \sin n\omega t_0 \sin \psi_1 - n \sin(\omega t_m (n-1)) \sin(\omega t_0 + \psi_1)}{n(n + \cos(\omega t_m (n-1))) \sin(\omega t_0 + \psi_1) - 2 \cos n\omega t_0 \sin \psi_1} + \frac{1 + (-1)^{\frac{n+1}{2}}}{2} \pi. \quad (9)$$

В выражении (9) для определения значений начальных фаз высших гармонических составляющих тока используется значение начальной фазы первой гармонической составляющей.

В результате экспериментальных исследований установлено, что значение кривой тока $i(t)$ и первой гармонической составляющей $i_1(t)$ в момент времени $t=0$ равны с точностью 1,7 %. Следовательно, можно принять, что

$$i_1(t) = I_{m1} \sin(\omega t + \psi_1), \quad i_1(0) = I_{m1} \sin \psi_1 = I_0, \quad \psi_1 = \arcsin \frac{I_0}{I_{m1}} \approx \frac{I_0}{I_{m1}}. \quad (10)$$

Экспериментальная часть

Система управления СККН построена с использованием выражений (8), (10). На вход системы управления (рисунок 3) поступают измеренные значения I_{\max} , I_0 , t_0 , t_m , на основе которых вычисляются значения амплитуды и начальной фазы «идеального» тока задания СККН. Сформированный таким образом ток задания $i_{\text{зад}}(t)$ вычитается из мгновенного значения потребляемого от САЭС тока $i_{\text{н}}(t)$. Значения разницы токов вместе с сигналами обратных связей по току активного фильтра $i_{\text{ф}}(t)$ поступают на блок широтно-импульсного модулятора. В ходе работы происходит постоянное сравнение разницы между мгновенными значениями «идеального» и реального токов нагрузки преобразователя с мгновенным значением тока активного фильтра.

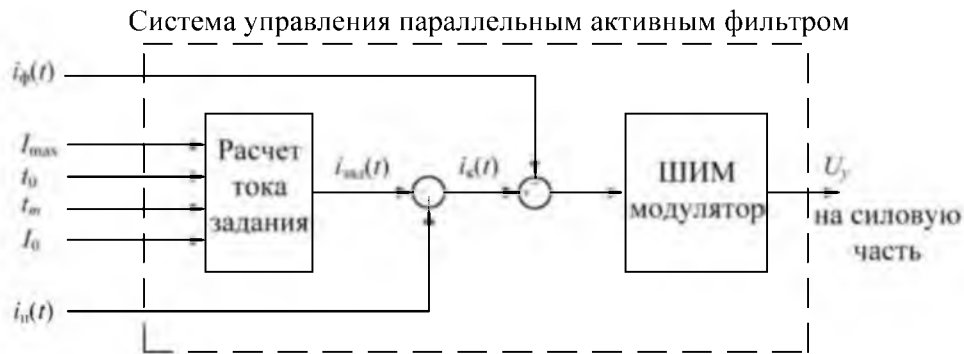


Рисунок 3. – Система управления АФ

В результате этого сравнения на выходе блока широтно-импульсного модулятора формируются сигналы управления U_{γ} автономным инвертором напряжения (АИН) таким образом, чтобы мгновенное значение текущего тока активного фильтра в каждый момент времени находилось как можно ближе к значению разницы между мгновенными «идеальным» током и реальным током оборудования АОВ. Эти сигналы поступают на вход АИН и формируют на его выходе мгновенные значения тока СККН, компенсирующие несинусоидальность тока нагрузки. В результате работы СККН на основе АФ оборудованием АОВ от САЭС будет потребляться ток с формой, максимально приближенной к синусоиде.

Физически формирование тока фильтра происходит путем накопления либо отдачи энергии на накопительном конденсаторе C_{ϕ} посредством АИН. На основе полученных теоретических сведений авторами в программной среде Matlab 6.5 была создана модель системы САЭС – АОВ с СККН на основе параллельного АФ.

Результаты работы СККН на основе параллельного АФ в виде графиков мгновенных значений тока, потребляемого нагрузкой АОВ $i_{\text{н}}(t)$, тока, потребляемого от САЭС нагрузкой АОВ $i_{\text{с}}(t)$, напряжения ПИ САЭС $u_{\text{с}}(t)$, полученные в ходе моделирования, представлены на рисунке 4.

Из графиков видно, что до начала работы СККН ток, потребляемый от САЭС нагрузкой АОВ $i_{\text{с}}(t)$, имеет ярко выраженный импульсный характер и напряжение ПИ САЭС $u_{\text{с}}(t)$ искажено. С началом работы СККН в момент времени $t=0,03$ с потребляемый от САЭС ток и напряжение ПИ становятся синусоидальными.

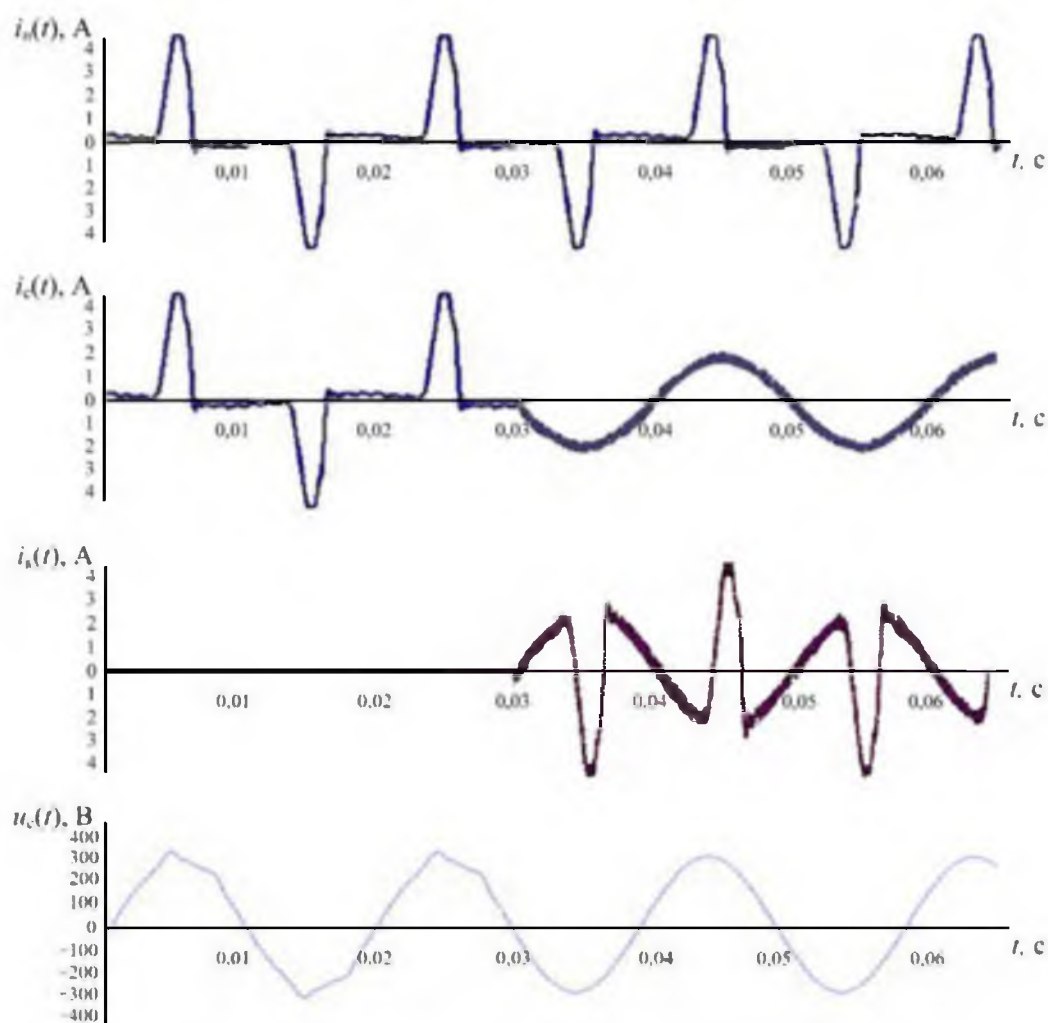


Рисунок 4. – Работа СКН на основе параллельного АФ

Из результатов исследования гармонического анализа тока, потребляемого от САЭС после включения СКН, следует, что уровень суммарных гармонических искажений составляет 1,94 %, что соответствует требованиям ГОСТ 13109-97.

Результаты

Разработана концепция построения системы управления СКН, которая позволяет добиться качественной компенсации высших гармонических составляющих тока, потребляемого АОВ. Следовательно, применение такой СКН позволит добиться существенного улучшения электромагнитной совместимости нелинейных потребителей АОВ с САЭС, что будет оказывать положительное влияние на качество электроэнергии и нормальное безаварийное функционирование ФО АОВ в целом.

Таким образом, система управления СКН с ШИМ модуляцией имеет достоинства, выражаемые в более простой, надежной и эффективной системе управления, которая обеспечивает получение мгновенного значения тока компенсации по измеренным значениям кривой тока нагрузки в характерных точках. Вычисления возможно проводить за половину периода сетевой частоты с последующим уточнением на следующем периоде. Вычислительный алгоритм формирования тока задания не требует реализации векторных преобразований, цифровых фильтров нижних частот, большого массива цифровых отсчетов измеряемых величин тока и напряжения для осуществления быстрого преобразования Фурье. Это дает возможность оперативно реагировать на динамические изменения нагрузки, что характерно для работы ФО АОВ. Количество вычислительных операций не требует

высокопроизводительных цифровых аппаратных средств и позволяет реализовать процесс вычислений в реальном масштабе времени.

Реализация изложенных принципов построения СККН на основе параллельного АФ обеспечит невысокую себестоимость фильтра и упрощение его реализации и эксплуатации, что в сочетании с предлагаемым методом получения «идеального» тока позволяет создать эффективную СККН на основе АФ для системы САЭС – АОВ.

Список литературы

1. Чумаков, С. А. Обеспечение качества электрической энергии в системах электроснабжения автономных объектов / С. А. Чумаков, А. Н. Малашин, Ю. В. Суходолов // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2015. – № 2(47). – С. 151–161.
2. Жежеленко, И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения пром-предприятий / И. В. Жежеленко. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 331 с.: ил.
3. Аррилага, Дж. Гармоники в электрических системах / Дж. Аррилага, Д. Брэдли, П. Боджер; пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.: ил.
4. Зиновьев, Г. С. Силовая электроника: учеб. пособие для бакалавров / Г. С. Зиновьев. – 5-е изд., испр. и доп. – М.: Юрайт, 2012. – 667 с.
5. Агунов, А. В. Управление качеством электроэнергии при несинусоидальных режимах / А. В. Агунов. – СПб.: СПбМТУ, 2009. – 134 с.
6. Розанов, Ю. К. Компенсация реактивной и искажающей мощностей в судовых и корабельных электроэнергетических системах / Ю. К. Розанов, Т. Ф. Льюнг // Электротехника. – 2008. – № 10. – С. 36–40.
7. Шрейнер, Р. Т. Активный фильтр как новый элемент энергосберегающих систем электропривода / Р. Т. Шрейнер, А. А. Ефимов // Электричество. – 2000. – № 3. – С. 46–54.
8. Волков, А. В. Компенсация мощности искажений и реактивной мощности посредством активного фильтра с прогнозируемым релейным управлением / А. В. Волков, В. А. Волков // Электротехника. – 2008. – № 3. – С. 2–10.
9. Akagi, H. The theory of instantaneous power in three-phase four-wiresystems: a comprehensive approach / H. Akagi, H. Kim, S. Ogasawara // IEEE-IAS Annual Meeting 1999 Conference Record. – 1999. – Vol. 1. – P. 431–439.
10. Чумаков, С. А. Определение начальных фаз высших гармонических составляющих тока нелинейной электромагнитной нагрузки / С. А. Чумаков, Ю. В. Суходолов, А. Н. Малашин // Вест. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2016. – № 1(50). – С. 144–152.
11. Чумаков, С. А. Определение начальных фаз высших гармоник тока нелинейной электромагнитной нагрузки / С. А. Чумаков, Ю. В. Суходолов, А. Н. Малашин, С. А. Шпак // Actualscience. – 2015. – Т. 1. – № 5 (5). – С. 70–72.
12. Способ определения начальных фаз высших гармонических составляющих периодического сигнала: пат. 16873 Респ. Беларусь, МПК G 01 R 23/16 / Ю. В. Суходолов, С. А. Чумаков, А. Л. Сицко; заявитель Воен. акад. Респ. Беларусь. – № а20110540; заявл. 27.04.2011; опубл. 30.12.2012 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 1 (90). – С. 119–120.
13. Способ спектрального анализа квазипериодического электрического сигнала: пат. 19875 Респ. Беларусь, МПК G 01 R 23/16 / Ю. В. Суходолов, Л. П. Крученюк, С. А. Чумаков, Н. В. Пушкарева; заявитель Воен. акад. Респ. Беларусь. – № а20130997; заявл. 19.08.2013; опубл. 30.04.2015 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2016. – № 1 (108). – С. 121–122.

*Сведения об авторах:

Чумаков Сергей Алексеевич.

Малашин Андрей Николаевич.

Суходолов Юрий Викторович.

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 22.04.2016

ПРОБЛЕМЫ ВОЕННОЙ ПЕДАГОГИКИ, ВОИНСКОГО ОБУЧЕНИЯ И ВОСПИТАНИЯ

УДК 355.233.22

ПРОФЕССИОГРАФИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ОРГАНИЗАЦИИ ФИЗИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ВОЕННООБЯЗАННЫХ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ВОЙСК

С.М. Кизино*

В статье описан авторский подход к организации физической подготовки военнообязанных территориальных войск. Сущность разработки основывается на дифференцированном подходе к формированию психофизических качеств в зависимости от исходного уровня физической подготовленности, функционального состояния военнообязанных и соответствующей специфики выполняемых задач. Приведены профессиографические характеристики деятельности по выполнению задач территориальной обороны, логика реализации дифференцированного подхода к организации физической подготовки, содержание контрольно-оценочной деятельности при распределении военнообязанных в группы физической подготовки: базовой, направленной или специальной.

The article describes the author's approach to the organization of physical training of reservists of the territorial army. The essence of the design is based on a differentiated approach to the formation of a psychophysical qualities depending on the initial level of physical preparedness, functional status of reservists and corresponding specificity of performed tasks. The job analysis characteristics of the activities to perform the tasks of territorial defense, the logic implementation of a differentiated approach to organization of physical training, the content of monitoring and evaluation activities in the allocation of reservists in groups of physical training: basic, directed or special, are given.

Введение

Актуальность разработки системы физической подготовки военнообязанных, составляющих кадровый потенциал для организации территориальной обороны (ТО) в нашей стране, обусловлена рядом сложившихся к настоящему периоду объективных предпосылок.

В целом необходимость создания высокоорганизованной и эффективной системы ТО, направленной на защиту военных и государственных объектов, сформировалась исторически. Мирная политика нашего государства, отсутствие необходимости содержания многочисленных вооруженные сил, а также современные патриотические убеждения предопределяют участие граждан нашей страны в обеспечении ее обороноспособности. В составе вооруженных сил развитых стран созданы и уже в течение продолжительного времени функционируют в различных организационных формах территориальные войска [1].

Процесс организации ТО начался в Республике Беларусь (РБ) сравнительно недавно – в 2001 году. Отличительной особенностью формирующейся отечественной системы ТО помимо различных организационных, структурных и функциональных характеристик является быстрота восстановления боеспособности ее подразделений за счет локальных ресурсов. Территориальные войска (ТВ) комплектуются путем призыва на службу граждан из числа военнообязанных [2]. В их функции входит выполнение задач по обеспечению ряда мероприятий, входящих в систему вооруженной защиты государства:

охрана и оборона объектов территориальной обороны;
борьба с десантно-диверсионными силами противника и незаконными вооруженными формированиями;

ведение вооруженной борьбы на временно оккупированной противником территории;

участие в усилении охраны участков Государственной границы РБ;

участие в ликвидации последствий применения противником оружия;

участие в выполнении мероприятий по обеспечению поддержания режима военного положения;

участие в выполнении других мероприятий по обороне Республики Беларусь.

В настоящее время ведется активная работа по совершенствованию системы ТО [2]. Современные тенденции изменения содержания и характера вооруженной борьбы наряду с развитием теории предполагают совершенствование форм применения и способов действий различных сил при выполнении задач территориальной обороны [1]. В этой связи необходимо отметить, что при разработке путей решения соответствующих организационных и стратегических задач необходимо уделить особое внимание объективным факторам, обуславливающим эффективность ТО. Одним из таких факторов, играющим ключевую роль в эффективности деятельности ТВ, их готовности к выполнению перечисленных задач, играет уровень психофизической подготовленности военнообязанных. В этой связи актуальным является вопрос организации системы физической подготовки (ФП) войск ТО, учитывающей их функциональное назначение, особенности контингента и скорость мобилизации.

Цель представленной работы – теоретически обосновать организацию физической подготовки военнообязанных в соответствии с решаемыми задачами территориальной обороны.

На начальном этапе исследования была сформулирована гипотеза, основанная на том, что различный характер деятельности, осуществляемой при выполнении задач ТО, неодинаковые условия работы обуславливают дифференциацию требований к психологическим характеристикам личности военнообязанного и физическому состоянию его организма. Такого рода дифференцированный подход также необходим с учетом различий контингента по возрасту, состоянию здоровья, характеру профессиональной деятельности.

Данное положение определяет задачи исследования:

описать критерии дифференциации групп ФП военнообязанных в зависимости от выполняемых задач ТО;

выявить специфику уровня физической подготовленности, психофизических качеств и двигательных навыков военнообязанных для разработки критериев первичного отбора и распределения по группам ФП.

Исследование проводилось путем изучения и систематизации литературных источников, описывающих последние достижения военной науки в области организации ТО в Республике Беларусь, странах СНГ и дальнего зарубежья, нормативной документации по ФП военнообязанных, организации и проведению тестирования физической подготовленности и функционального состояния организма лиц различных возрастных категорий.

Разработка концепции дифференцированного подхода к физической подготовке военнообязанных

В большинстве стран мира – Австрии, Бельгии, Великобритании, Германии, Дании, Италии, Литве, Латвии, Нидерландах, Норвегии, Польше, Франции, Швеции, Финляндии и многих других наряду с регулярной армией в военное время функционируют ТВ. Аналогично военнообязанным ТО нашей страны граждане этих государств регулярно принимают участие в плановых мероприятиях боевой подготовки [4].

Комплектование подразделений территориальных войск РБ личным составом осуществляется путем призыва граждан на военную службу по территориальному принципу. Контингент военнообязанных представляет собой граждан, имеющих различную

подготовку: прошедших службу в военно-морском флоте, пограничных и внутренних войсках, подразделениях МЧС, а также офицеры, прапорщики, сержанты и солдаты запаса. Они назначаются на штатные воинские должности, на которых проходили военную службу, либо должности, соответствующие их гражданской специальности.

При этом, помимо перечисленных характеристик их воинской квалификации, весьма важными являются объективные показатели подготовленности военнообязанных к участию в боевых действиях и различных видах деятельности, относящихся к кругу задач ТО. К таким показателям относятся: функциональное состояние организма (особенно систем, лимитирующих адаптацию к физическим нагрузкам, – сердечно-сосудистой, внешнего дыхания и транспорта кислорода), физическая подготовленность и владение военно-прикладными навыками. Количественные характеристики перечисленных показателей подготовленности военнообязанного вытекают из профессиографических характеристик каждого вида деятельности, осуществляемого при выполнении конкретной задачи ТО. Согласно специфике типов деятельности и уровня требований к физической и военно-прикладной подготовленности военнообязанного система ФП подразделяется на следующие направления и соответствующие им группы (таблица 1):

- базовая ФП;
- направленная ФП;
- специальная ФП.

Согласно литературным данным, достаточно информативными тестами, позволяющими оценить указанные функциональные характеристики, являются проба Штанге (с учетом частоты сердечных сокращений (ЧСС)), определение общего гемодинамического показателя (ОГП) и проба Руфье (таблица 2). С помощью функциональной пробы с задержкой дыхания на вдохе (проба Штанге) проводится оценка устойчивости организма к гипоксии. До проведения пробы подсчитывается ЧСС. Дыхание задерживается на неадекватном вдохе, который делается после трех дыханий. Нос зажимают пальцами. Время задержки регистрируется по секундомеру. Сразу после возобновления дыхания проводится подсчет пульса. Об уровне устойчивости к гипоксии говорит также показатель реакции частоты сердечных сокращений, который определяется величиной отношения ЧСС после окончания пробы к исходному уровню. ОГП является, по мнению кардиологов и спортивных медиков, универсальным экспресс-индексом для количественной оценки гемодинамики. Он учитывает показатели артериального давления и ЧСС в покое [5]. Проба Руфье на сегодняшний день является наиболее часто применяемой нагрузкой при массовых исследованиях. Измеряют ЧСС в положении сидя, затем испытуемый выполняет 30 приседаний в течение 30 с, после чего подсчитывают пульс стоя, а затем – через 1 мин отдыха [6]. В отличие от ОГП ее значение является однофакторным (зависит только от показателей ЧСС) и в некоторых случаях требует учета динамики ЧСС и АД при нагрузке. Также необходимо учитывать, что на значение индекса Руфье в значительной степени влияет эмоциональный фактор [5].

Оценка физической подготовленности проводится после исследования функциональных показателей при помощи двигательных тестов и в соответствии с оценочными шкалами, описанными в Положении о Государственном физкультурно-оздоровительном комплексе РБ [7]. При неудовлетворительном значении хотя бы одного из функциональных показателей оценка физической подготовленности не проводится. В начало тестирования выносят тестовые задания, отнесенные к группе базовой ФП, затем направленной и специальной ФП (таблица 2). Оценка военно-прикладных навыков проводится на завершающем этапе в той же последовательности усложнения тестовых заданий. Методика проведения тестирования описана в Инструкции о порядке организации и проведения физической подготовки в Вооруженных Силах [8].

По результатам тестирования военнообязанный может быть отнесен к одной из групп ФП для организации подготовки к выполнению соответствующих задач ТО (рисунок)

Таблица 1. – Профессиографические характеристики деятельности военнообязанных по выполнению задач территориальной обороны

Задача ТО	Преобладающие типы деятельности	Условия выполнения задач ТО	Психофизические характеристики деятельности	Профессионально значимые качества военнообязанного	Группа по ФП
Охрана и оборона объектов территориальной обороны	<ul style="list-style-type: none"> • обход охраняемого объекта; • осуществление операций по удержанию или защите территории; • анализ фактов и конъюнктуры в целях оценки возможной опасности; • работа чаще индивидуальная 	<ul style="list-style-type: none"> • вне помещения и в помещении; • рабочая поза попеременная; • возможны вредные условия, перепады температуры, промокание одежды 	<ul style="list-style-type: none"> • повышенные требования к зрительному и слуховому анализаторам; • умеренный уровень требований к психофизическим качествам; • эмоциональное состояние от комфортного до стресса; • тяжесть труда умеренная 	<ul style="list-style-type: none"> • способность анализировать и сопоставлять факты; • общая выносливость; • способность к волевому саморегулированию; • психическая и эмоциональная устойчивость; • устойчивость внимания; • способность четко действовать в экстремальных ситуациях; • зрительная память; • интуиция, умение разбираться в людях 	Базовая ФП
Усиление охраны участков Государственной границы					
Выполнение мероприятий по обеспечению поддержания режима военного положения	<ul style="list-style-type: none"> • обеспечение общественного порядка; • выявление условий и принятие мер по устранению факторов, влияющих на рост преступности на обслуживаемой территории; • анализ фактов и конъюнктуры в целях оценки возможной опасности; • работа коллективная или индивидуальная. 	<ul style="list-style-type: none"> • вне помещения; • мобильный; • вредные условия, перепады температуры, промокание одежды 	<ul style="list-style-type: none"> • не предъявляются повышенные требования к зрительному и слуховому анализаторам; • средний уровень требований к психофизическим качествам; • эмоциональное состояние от комфортного до стресса; • тяжесть труда средняя 	<ul style="list-style-type: none"> • способность быстро принимать решения в зависимости от ситуации; • общая выносливость, сила; • психическая и эмоциональная устойчивость 	Направленная ФП
Ликвидация последствий применения противником оружия	<ul style="list-style-type: none"> • ликвидация возгораний; • обеспечение безопасности населения, спасение людей и имущества; • проведение строительно-восстановительных работ; • работа коллективная 				
Ведение вооруженной борьбы на оккупированной территории	<ul style="list-style-type: none"> • анализ фактов и конъюнктуры в целях оценки и обнаружения возможной опасности; • работа коллективная или индивидуальная 	<ul style="list-style-type: none"> • вне помещения; • мобильный; • экстремальный, опасный 	<ul style="list-style-type: none"> • повышенные требования к зрительному и слуховому анализаторам, вестибулярному аппарату, психофизическим качествам; • наличие риска и опасности; • нагрузка на уровне пограничных возможностей организма 	<ul style="list-style-type: none"> • способность быстро принимать решения в зависимости от ситуации; • быстрота реакции; • общая и специальная выносливость, сила; • психическая и эмоциональная устойчивость, воля, смелость, решительность; • координация движений 	Специальная ФП
Борьба с десантно-диверсионными силами противника и незаконными вооруженными формированиями					

Таблица 2. – Содержание контрольно-оценочной деятельности военнообязанных

Профессионально значимые физические качества		Тест	Дифференциация соответствия нормативу по группам ФП		
			Базовая ФП	Направленная ФП	Специальная ФП
Функциональное состояние организма	Устойчивость к гипоксии	Проба Штанге (с учетом ЧСС)	не менее 39 с (прирост ЧСС не выше 20 %)	40–49 с (прирост ЧСС не выше 20 %)	выше 50 с (прирост ЧСС не выше 20 %)
	Функциональное состояние сердечно-сосудистой системы	Общий гемодинамический показатель	Не выше 155	135–145	Ниже 135
		Проба Руфье	Не выше 15	5–8	1–4
Физическая подготовленность	Выносливость	6-минутный бег, м	Не менее 1000	Не менее 1130	Не менее 1200
		Бег на 3 км, мин. с	–	–	Не более 14.00
	Силовые способности	Подтягивание на перекладине, кол-во раз	4	6	9
		Поднимание туловища из положения лежа на спине, кол-во раз/мин	38	42	48
	Скоростные способности	Бег 30 м.с	6,0	5,6	5,2
	Координационные способности	Челночный бег 4×9 м, с	12,5	11,6	11,0
Военно-прикладные навыки	Передвижение по пересеченной местности	Марш-бросок в составе подразделения на 5 км, мин. с	–	–	28.30
	Передвижение по пересеченной местности на лыжах	Лыжная гонка на 5 км, мин. с	42.00	36.00	31.00
	Преодоление естественных и искусственных препятствий	Контрольное упражнение на единой полосе препятствий, мин. с	–	–	2.45
	Военно-прикладное плавание	Плавание на 50 м, мин. с	Без учета времени	Без учета времени	1.00
	Метание гранаты	Метание гранаты на дальность, м	–	–	28

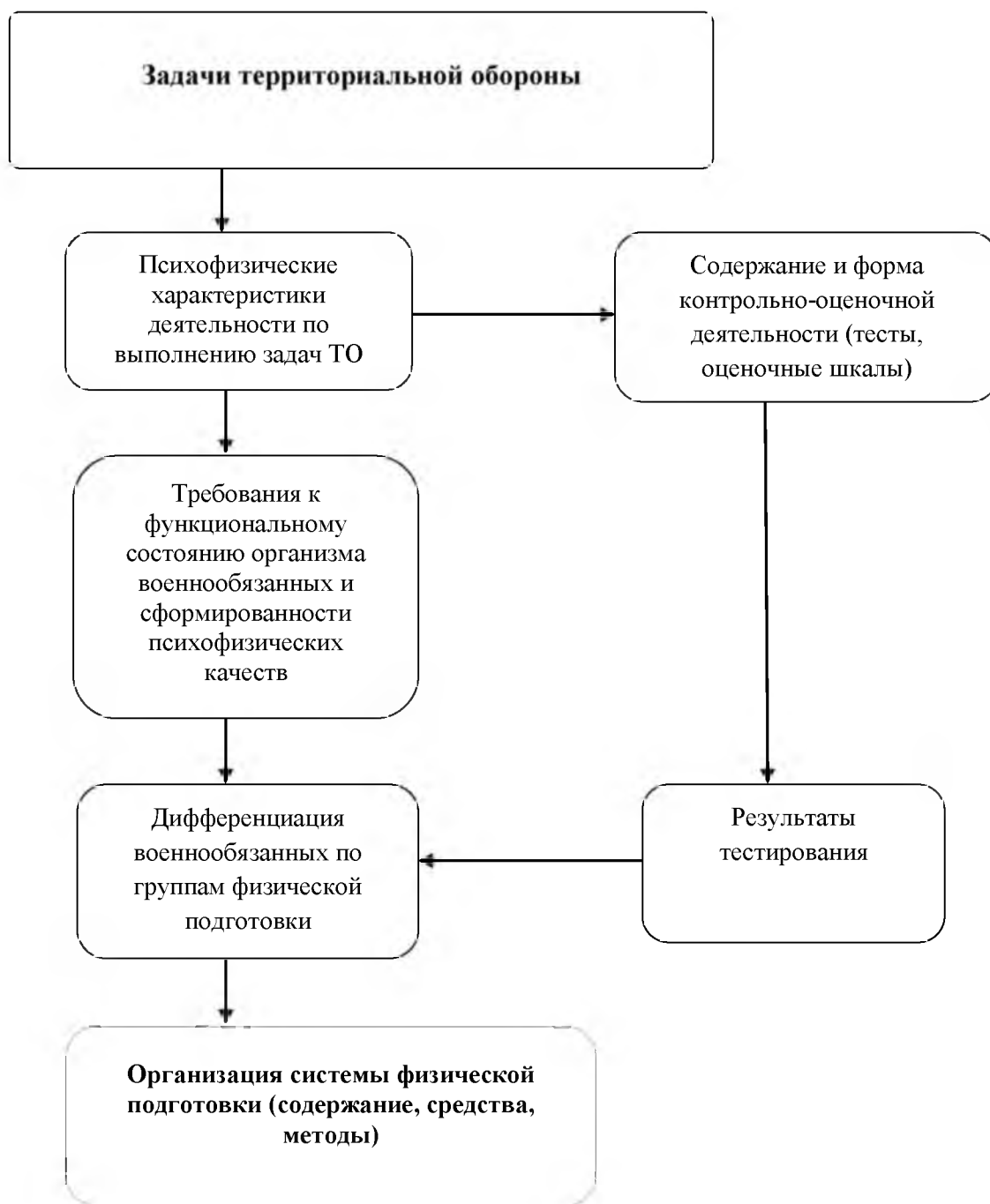


Рисунок. – Схема реализации дифференцированного подхода к организации системы физической подготовки военнообязанных территориальных войск

Выводы

1. Изменения, которые необходимо внести в организацию физической подготовки военнообязанных ТО, в первую очередь должны быть направлены на усиление ее дифференцированности.

2. На начальном этапе организации физической подготовки военнообязанных существует объективная необходимость тестирования функционального состояния, физической подготовленности и уровня владения военно-прикладными навыками.

3. Результаты тестирования являются основанием для распределения военнообязанных ТО в соответствующую группу физической подготовки: базовой, направленной, специальной.

4. Дальнейшую подготовку военнообязанных необходимо осуществлять в каждой группе физической подготовки по дифференцированной программе.

Список литературы

1. Кардаш, И. Л. Анализ исторического опыта и современных взглядов на организацию и ведение территориальной обороны страны, роль и место внутренних войск МВД России в достижении ее целей / И. Л. Кардаш // Воен. мысль. – 2009. – №. 12. – С. 31–40.

2. Об обороне: Закон Респ. Беларусь от 3 нояб. 1992 г. в ред. Закона Респ. Беларусь от 17 июля 2002 г. // Ведамасці Вярхоўнага Савета Рэсп. Беларусь. – 1992. – № 28. – Ст. 493.

3. Кардаш, И. Л. О совершенствовании системы территориальной обороны / И. Л. Кардаш // Воен. мысль. – 2014. – № 2. – С. 3–10.

4. Мальцев, Л. С. Территориальная оборона в системе национальной безопасности / Л. С. Мальцев // Белорусская военная газета. Во славу Родины. – 2011. – 25 нояб.

5. Загородный, Г. М. Программа комплексного тестирования спортсменов: метод. указания для спортивных врачей [Электронный ресурс] / Г. М. Загородный [и др.]. – 2003. – Режим доступа: <http://belmapo.by>. – Дата доступа: 20.05.2016.

6. Дубровский, В. И. Спортивная медицина: учеб. для студ. вузов / В. И. Дубровский. – М.: ВЛАДОС, 1998. – 480 с.

7. Об утверждении Положения о Государственном физкультурно-оздоровительном комплексе Республики Беларусь и признании утратившим силу постановления Министерства спорта и туризма Республики Беларусь от 24 июня 2008 г. № 17 : Постановление Министерства спорта и туризма Республики Беларусь, 2 июля 2014 г., № 16 // Нац.правовой интернет-портал Респ. Беларусь. – 09.09.2014. – 8/29060.

8. Инструкция о порядке организации и проведения физической подготовки в Вооруженных Силах: приказ Министра обороны Респ. Беларусь № 1000 от 19 сент. 2014 г.

*Сведения об авторе:

Кизино Сергей Михайлович.

Белорусский государственный университет.

Статья поступила в редакцию 16.06.2016 г.

**Требования к статьям, представляемым для опубликования
в военном научно-теоретическом журнале
«Вестник Военной академии Республики Беларусь»**

Представляемые в редакцию материалы должны отражать оригинальные результаты исследований авторов по актуальной тематике в области военных наук, технических наук (радиотехника, связь, электроника и микроэлектроника, информатика, вычислительная техника и управление, вооружение и военная техника), педагогических наук (воинское обучение и воспитание, военная педагогика). Статья должна быть посвящена решению важной самостоятельной теоретической или прикладной задачи, характеризоваться научной новизной, цельностью, последовательностью и логичностью изложения материала.

Рекомендуется в каждой из статей выделять:

введение с характеристикой состояния дел в соответствующей области исследования, актуальности рассматриваемой задачи, а также изложением общего подхода к ее решению;

основную часть, отражающую используемый метод исследования и его результаты в сопоставлении с известными ранее;

выводы, характеризующие обобщения и умозаключения авторов, непосредственно вытекающие из представленного в основной части материала, а также возможные направления и перспективы использования полученных результатов.

К опубликованию не принимаются материалы, представляющие собой компиляцию известных результатов исследований других авторов, а также статьи публицистического характера, не связанные с решением конкретной научной задачи.

В конце статьи приводится список литературных источников, на которые даются ссылки при изложении основного текста. Автор несет ответственность за достоверность цитирования, а также отсутствие плагиата.

Требования к оформлению статей:

общий объем – 6...8 страниц формата А4; в исключительных случаях общий объем может быть аргументированно увеличен до 12 страниц;

текстовый редактор Word for Windows версии 6.0 или выше;

редактор формул MathType версий 6.0 – 6.7;

поля 2 см (со всех сторон);

шрифт Times New Roman Cyr, 12 pt;

межстрочное расстояние 1 интервал.

Основной текст статьи должны предварять:

название (шрифт полужирный; буквы прописные, выравнивание по центру);

инициалы, фамилия, ученая степень и ученое звание автора (-ов) (выравнивание по центру);

УДК (выравнивание по левой стороне);

аннотация на русском и английском языках (курсив, отступ первой строки 1,25 см, выравнивание по ширине).

Форматирование основного текста: отступ первой строки 1,25 см; выравнивание по ширине. Форматирование подписей к рисункам: шрифт светлый; выравнивание по центру. Форматирование заголовков таблиц: шрифт светлый; выравнивание по левому краю таблицы. Форматирование формул: выравнивание по центру, последовательная нумерация (по правому краю, в скобках).

Промежутки между структурными элементами статьи (название, авторы, УДК, аннотация, основной текст, список литературы) по вертикали – 6 пт.

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

Текст статьи (в распечатанном и электронном вариантах) вместе с выпиской из протокола заседания кафедры (НИЛ), рекомендующей ее к опубликованию, направляется в редколлегию. Если авторы статьи являются сотрудниками внешней организации, дополнительно требуется представить экспертное заключение о возможности опубликования материалов в открытой печати.