

ISSN 2224-1159

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ «ВОЕННАЯ АКАДЕМИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ»

ВЕСТНИК ВОЕННОЙ АКАДЕМИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

№ 4 (53) 20 декабря 2016 г.



ВОЕННЫЙ НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ВЕСТНИК ВОЕННОЙ АКАДЕМИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

№ 4 (53) 20 декабря 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 20.12.16 г.

Формат 60×84/8. Бумага писчая.

Гарнитура «Таймс». Печать

ризография. Усл. печ. л. 13,25.

Тираж 100 экз. Зак. 486.

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;

Лебёдкин 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

Епифанова Н. С., Акулинин В. Н. Преземпция и превенция в межгосударственной конфронтации: сравнительный анализ концепций «гибридной» и «холодной войны».....	3
Касинский В. А., Избаш М. Ю. Формирование частных методик прогнозирования времени восстановления боеспособности поражаемых объектов.....	11
Колодяжный В. В., Драгун В. Р., Посудевский А. А., Пальцев А. Н. Подход к определению времени пребывания подразделений ПВО в зоне наблюдения космических средств разведки.....	20
Лепешко Г. В., Майборода А. В., Попов С. В. Тенденции развития способов ведения боевых действий войсковыми формированиями тактического уровня в ходе современных военных конфликтов.....	29
Лямин Д. П. Анализ социального восприятия населением Вооруженных Сил Республики Беларусь.....	36
Михолап Д. А. Тенденции развития средств воздушно-космического нападения, форм и способов их применения в высокотехнологичных войнах.....	42
Рудозуб Г. И., Шевченко А. А. Управление силами обеспечения национальной безопасности в случае обострения обстановки в государстве, введения чрезвычайного и военного положения.....	48

Системный анализ и информационные технологии в военном деле

Денисенко И. Г., Надейко А. П. Методический подход к оценке устойчивости зенитной ракетной обороны объектов и войск с учетом степени защищенности зенитных ракетных дивизионов.....	56
Косачев И. М., Кулешов Ю. Е. Методология высокоточной оптимальной фильтрации случайных процессов, наблюдаемых в стохастических динамических системах со случайно изменяющейся структурой (часть 2).....	64
Потетенко С. В. Определение и компенсация систематических ошибок средств разведки воздушного пространства.....	74

Общетеоретические вопросы разработки и совершенствования вооружения и военной техники

Малкин В. А., Мелец А. Ф., Иванишин П. В., Сенько А. Я. Оптимальное управление аэродинамическим объектом по критерию максимальной дальности полета.....	84
Мороз А. Н., Шабан С. А., Сидорович О. В. Модель случайных погрешностей микромеханического гироскопа.....	91

Разработка, модернизация и эксплуатация вооружения и военной техники

Быков Р. В. Определение статистических характеристик многоканального обнаружителя широкополосных акустических сигналов при неравномерной спектральной плотности нормально распределенных помех.....	99
Менжинский А. Б., Малашин А. Н., Каледа А. Е., Сидяко О. В. Использование возвратно-поступательной схемы электрического генератора для повышения эффективности энергоустановок автономных образцов вооружения.....	108

ОСНОВЫ ВОЕННОЙ НАУКИ И ВОЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

УДК 327.8

ПРЕЭМПЦИЯ И ПРЕВЕНЦИЯ В МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЙ КОНФРОНТАЦИИ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОНЦЕПЦИЙ «ГИБРИДНОЙ» И «ХОЛОДНОЙ ВОЙНЫ»

Н. С. Епифанова, кандидат экономических наук, доцент;

В. Н. Акулинин, кандидат философских наук, доцент*

Статья посвящена анализу принципиально новых подходов в военном стратегическом планировании в рамках межгосударственного противостояния России и Запада. Ключевая идея статьи – доказать, что указанные подходы основываются на преэмптивных инструментах этого противодействия, в отличие от превентивных, имевших место в рамках «холодной войны».

This article analyzes the fundamentally new approaches in military strategic planning within the framework of interstate confrontation between Russia and the West. The key idea of the article is to prove that these approaches are based on preemption's instruments of combat, as opposed to preventive, that took place in the framework of the Cold War.

Обострение межгосударственных противоречий в современном глобальном геополитическом пространстве привело к дискуссиям в аналитической литературе о том, можно ли считать нынешнюю конфронтацию России и стран Запада, прежде всего США, продолжением «холодной войны», и если можно, то насколько логическим является это продолжение. В то же время в литературе появился такой термин, как «гибридная» война [1]. Весьма неоднозначными выступают проблема концептуализации понятий «холодная война» и «гибридная война», а также вопросы соотношения этих понятий между собой, и есть ли вообще между ними различия.

Цель данной статьи – доказать, что преэмптивный характер межгосударственной конфронтации пришел на смену превентивному, а также выявить их принципиальные стратегические различия. Слово «превенция» происходит от латинского *venio* – «прихожу», т. е. прихожу к цели раньше, или успеваю что-то сделать раньше намеченного времени, предотвращаю. Смысл превенции с позиций национального, военного и политико-экономического стратегического планирования, таким образом, заключается в предупреждении или недопущении превосходства противника, а также сдерживании агрессивных тактических шагов в геополитической плоскости.

Слово «преэмпция» происходит от латинского *emo* – покупаю, или покупаю наперед, заранее, завладеваю раньше других. Преэмптивные методы межгосударственной конфронтации состоят в принятии заранее определенных действий в отношении геополитического противника до того, как этот оппонент сможет или решит осуществить военный удар по нему.

Покажем, что в основе «холодной войны» лежала стратегия превенции, а в основе «гибридной войны» – стратегия преэмпции. При определении понятия «превентивная межгосударственная конфронтация» важно иметь в виду, что она предполагает в качестве цели опережение агрессивных действий в геополитическом противостоянии, когда совершенно очевидно, что конфликта не избежать, и необходимо лишить противника возможности изменить баланс сил в свою пользу. При рассмотрении преэмптивного характера межгосударственной конфронтации между субъектами глобального политического пространства мы будем исходить из понятия преэмпции, положенного в основу современной концепции преэмптивной войны, активно обсуждаемой в современных политологических и военных исследованиях. Преэмпция в данном случае трактуется как силовое воздействие на опережение формирования угроз национальной безопасности [см., например: 2, 4, 5]. Данная стратегия предполагает, что в качестве

противника в межгосударственном противоборстве выступает источник потенциальной, а не актуальной угрозы.

Сама по себе концепция «холодной войны» исходила от США. Термин «холодная война» впервые использовал в октябре 1945 г. Дж. Оруэлл в статье «Ты и атомная бомба», опубликованной в лондонской газете «Трибьюн». Он определил содержание этого понятия как постоянную борьбу между непобедимыми (из-за их ядерной мощи) государствами, ведущуюся на идеологической основе, т. е. в связи с различиями в мировоззрении, верованиях и социальной структуре, доминирующими в данном государстве [22].

В 1947 г. посол США в СССР Дж. Кеннан направил в адрес Госдепартамента США телеграмму, известную в истории как «длинная телеграмма» (около 8 тыс. слов), в которой он изложил свою концепцию «сдерживания», призвав США отказаться от «рузвельтовских» ожиданий и иллюзий доверительного партнерства с СССР. Главный вывод, сделанный Кеннаном в этом важном историческом документе, сводился к неизбежности растущей советской геополитической экспансии и необходимости бескомпромиссного противодействия любым попыткам СССР расширить зоны влияния. Именно концепция «сдерживания» Кеннана легла в основу внешней политики США по отношению к СССР на весь период «холодной войны». Она была с энтузиазмом воспринята всеми последующими идеологами «холодной войны», в частности, президентом США Г. Трумэном, который в своих посланиях Конгрессу США «сдерживание» определил в качестве главного инструмента спасения Европы от коммунистической экспансии и поддержания превосходства США.

Таблица 1. – Основные вехи в формировании концепции «холодной войны»

Когда?	Кто?	Где?	Что именно?
19 октября 1945 г.	Оруэлл Джордж	Статья «Ты и атомная бомба» (Tribune. GB: London. Oktober, 1945)	Термин и его содержание
22 февраля 1947 г.	Кеннан Джордж В.	«Длинная телеграмма» (телеграмма № 511 из Посольства США в Москве в Госдепартамент США)	«Архитектура» «холодной войны»
14 января 1946 г.	Трумэн Гэрри	Послание Конгрессу США	Программа «спасения» Европы от советской экспансии
05 марта 1946 г.	Черчилль Уинстон	«Фултонская речь» (речь в г. Фултон, штат Миссури, США)	Воспринята в СССР в качестве объявления «холодной войны». «железный занавес». идея европейской интеграции
12 марта 1947 г.	Трумэн Гэрри	Послание Конгрессу США («Доктрина Трумэна»)	Идея борьбы США за политико-идеологическую однополярность в мире
05 июня 1947 г.	Маршалл Джордж К.	Речь в Гарвардском университете («План Маршалла». «Программа восстановления послевоенной Европы»)	Усиление политико-экономического влияния капитализма США в Западной Европе (вмешательство США во внутренние дела стран Западной Европы) – основа для создания НАТО
18 августа 1948 г.	Совет национальной безопасности США	Меморандум № 20/1 «Задачи в отношении России» (подготовлен по запросу Министра обороны Дж. Форрестола)	Анализ долгосрочных целей политики США в отношении СССР. Основная цель – сокращение геополитического влияния СССР до таких пределов, в которых они больше не будут представлять угрозу интересам США
14 апреля 1950 г.	Совет национальной безопасности США	Директива № 68 (подготовлена по поручению Г. Трумэна)	Комплексный анализ долгосрочных целей внешней политики США в отношении СССР (основной концептуальный документ «холодной войны»)

Важной вехой в концептуализации ««холодной войны»» стала «Фултонская речь» У. Черчилля, которую отечественные историки считают начальной точкой в «холодной войне», поскольку в СССР речь Черчилля была воспринята как объявление ««холодной войны»» [6], в то время как в США долгое время она декларировалась как призыв к обороне от агрессивного усиления коммунистической экспансии. Позже идеологи «холодной войны» сами признавали тот факт, что речь Черчилля явилась началом «холодной войны». Так, Г. Киссинджер в своей работе 1994 г. «Дипломатия» пишет: «Черчилль снискал широчайшую признательность как человек, объявивший о начале ««холодной войны»» [3].

План Маршалла, официально объявленный как план развития послевоенной Европы в целях восстановления промышленности стран-реципиентов, предполагал такие политические критерии получения помощи европейскими странами, которые, по сути, отражали концептуальную преемственность плана с доктриной Трумэна. В частности, в качестве одного из начальных условий предоставления американских кредитов стало требование о выводе коммунистов из состава правительств стран, претендующих на финансовую помощь США. Кроме того, основными его целями являлись переход ФРГ в западный блок и переориентация экономик стран Восточной Европы со связей с СССР на связи с США. Именно в рамках реализации плана Маршалла были предприняты шаги в направлении масштабной европейской интеграции как на экономической основе (образование ЕС), так и на военно-политической (создание НАТО).

Еще два важных в концептуализации «холодной войны» документа – это директивы СНБ (Совета национальной безопасности) США № 20/1 и № 68, которые по своему содержанию отразили геополитические установки курса проводимой правительством США внешней политики по отношению к СССР в рамках «холодной войны». Директива СНБ № 68 от 30 января 1950 г., оставшаяся до 1975 г. секретной, является главным историческим документом, в котором изложены концепция, суть, причины и цели «холодной войны». Главная роль этого документа в формировании концепции «холодной войны» заключается в том, что идеи сдерживания и установления контроля над основными субъектами мирового геополитического пространства становятся основой целостной доктрины глобального лидерства США. Суть этой доктрины сводилась к необходимости реализации единой стратегии, нацеленной на создание нового мирового устройства, основанного на повсеместном контроле над производственными ресурсами и распространении «американских ценностей», соответствующих политико-идеологическим и социально-экономическим интересам США (так называемая «американская мечта»).

Таким образом, концептуализация ««холодной войны»» прошла несколько важных вех, сформировавших подход, основанный на собственном быстром наращивании военной, экономической и политической мощи США в превентивных целях (см. табл. 1). С развитием концепции ««холодной войны»» превентивные меры становятся более сложными. Так, в 80-е годы XX в. СССР оказывается втянутым в афганскую войну и интенсивную гонку вооружений, которые истощали советскую экономику.

В целом можно считать, что выбрав данную концепцию в качестве приоритетной, правительство США реализовало высокоэффективную возможность достижения поставленных целей, стратегически правильно воспользовавшись сложившимися тогда условиями геополитической и экономической конъюнктуры. Поскольку по сравнению с США в СССР принципиально отличались политико-экономическое устройство, форма общественных отношений, система ценностей, то именно коммунистическая система стала мишенью для США в «холодной войне» (табл. 2). Для того, чтобы добиться мирового лидерства и начать экономическую, политическую и культурную экспансию, нужна была соответствующая идеологическая база, подходящий «образ врага», который бы оправдывал эту экспансию. Таким врагом и стал СССР, создавший основу внешних угроз национальной безопасности США – угрозу распространения идей коммунизма.

Таблица 2. – Основные направления идеологического противостояния СССР и США в ходе «холодной войны»

Направления идеологического противостояния	США	СССР
Политика в отношении стран Европы	Усиление влияния	Использование в качестве союзных государств
Принцип политического устройства	«Двухпартийная политическая система»	«Народная демократия»
Принцип политического устройства	«Двухпартийная политическая система»	«Народная демократия»
Форма экономического устройства	Рыночная экономика	Плановая экономика
Система общественных отношений	Либерализм/Капитализм	Социализм/Коммунизм
Военная интеграция	НАТО-49	Варшавский договор-55
Нравственный приоритет	Частные интересы	Общественные интересы
Принцип взаимодействия личности и общества	Индивидуальная свобода	Подчиненное отношение правящей идеологии

Таким образом, утвердилось мнение, что «холодная война» представляла собой межгосударственное противостояние посредством борьбы идеологий. Данная борьба основывалась на идее сдерживания, которое реализовывалось правительством США через механизм устрашения и создания угрозы применения превентивных действий (т. е. через создание условий для опережающего удара по источнику угрозы). После завершения «холодной войны» в 1992 г.¹ в США началось десятилетие переосмысления и различных исследований концептуальных основ формирования системы национальной обороны. Появилось множество работ, посвященных различным концепциям войны: «Новые войны будущего», концепция 4GW (концепция войн четвертого поколения), теория сетевых войн (т. е. войн, основанных на достижении инфокоммуникационного превосходства) и др. Однако в 2002 г. появилась уже и официальная доктрина военных действий США в XXI в. Инициатором формирования этой доктрины считается президент Дж. Буш-младший, а основные положения изложены в документах: «Стратегия национальной безопасности США», «Национальная стратегия по борьбе с оружием массового поражения» (табл. 3). Главная идея доктрины Буша-младшего – «our best defense is a good offense» (лучший способ защитить себя – это нападение) – идея презэмпции или презэмптивной войны, т. е. войны на опережение или уничтожение противника опережающим образом как источника возможной угрозы, так и всего, что с ним связано (применительно к отдельно взятой стране стремление к смене режима, лишение национального суверенитета и строительство «новой нации») [подробнее см. 14, 24]. Именно эта доктрина была положена в основу военной стратегии Министерства обороны США в XXI в. в целом.

После окончания «холодной войны» и распада Советского Союза США также продолжили курс на достижение однополярного мира. Так, в «Стратегии национальной безопасности», подписанной Дж. Бушем в сентябре 2005 г., отмечается, что США является глобальным лидером и будет стремиться к распространению американских ценностей «на каждом континенте». В варианте стратегии 2008 г. заявлено не просто о необходимости поощрять распространение «демократических свобод и принципов», а о необходимости «демократизации» всего мира по американскому образцу в качестве базовой интенции внешней политики США.

¹ Совместная декларация России и США о завершении «холодной войны» была подписана 1 февраля 1992 года в Кэмп-Дэвиде.

В варианте «Стратегии национальной безопасности США» 2005 г. выделяется четыре формы угроз национальной безопасности: традиционные, иррегулярные, катастрофические и разрушительные. В поисках ответа на эти угрозы научные эксперты Министерства обороны США и его официальные представители сразу же вводят понятие иррегулярной войны [20], определение которой в дальнейшем было закреплено в отдельной директиве Министерства обороны США [16]². Идея иррегулярной войны легла в основу концепции «гибридной войны».

Таблица 3. Основные вехи в формировании концепции «гибридной войны»

Когда	Кто	Где	Что именно
17 сентября 2002 г.	Буш Джордж младший	Стратегия национальной безопасности США	Доктрина Буша (доктрина преземпции)
10 декабря 2002 г.		Национальная стратегия по борьбе с оружием массового поражения	
2005 г.	Министерство обороны США	Стратегия национальной безопасности США	Выделено четыре формы угроз национальной безопасности: традиционные, иррегулярные, катастрофические и разрушительные; «Америка – нация на войне («America is a nation at war»)
2007 г.	Ф. Хоффман ³	Научный центр при Министерстве обороны США	Концепция «гибридной войны»
2008 г.	Министерство обороны США	Стратегия национальной безопасности США	«Мы остаемся лучом света для тех, кто находится в темных местах» («We remain a beacon of light for those in dark places...»)
16 сентября 2009 г.	Министерство обороны США	Директива Министерства обороны (DoDD) № 3000.05	Стратегические военные планы носят гибридный характер
28 августа 2014 г.	Министерство обороны США	Директива Министерства обороны (DoDD) № 3000.05	Иррегулярные войны
Октябрь 2014 г.	НАТО	Декларация саммита	Необходимость обеспечить готовность членов альянса к участию в войнах нового типа – «гибридных войнах»
2015 г.	Б.Обама	Стратегия национальной безопасности	Усиление идей всех предшествующих вех и явный антироссийский акцент

В военно-политическом контексте под «гибридной войной» понимается такая форма ведения военных действий, которая предполагает использование разнообразных тактик

² Буквально: «...иррегулярная война используется в широком смысле как синоним неконвенциональных военных действий, асимметричных военных действий, десантно-диверсионных действий, партизанской войны, нетрадиционных военных действий, конфликтов малой интенсивности, контрповстанческой активности, восстаний и мятежей, гражданской войны, подрывной деятельности (insurrection), революционных действий, внутренней войны, подрывных войн (subversive war), войны среди населения, внутригосударственной войны, мер по обеспечению «внутренней обороны и развития» (internal defense and development), внутренней безопасности, внутренней обороны, стабилизации, законности и правопорядка, национального строительства, государственного строительства, малых войн, миротворческих операций, военных действий четвертого поколения (4GW), глобальной войны с террором» [16].

³ Американский теоретик в области военно-политической стратегии, сотрудник Министерства обороны США, методолог концепции «гибридной войны».

военной, политической и социально-экономической дестабилизации на территории противника. Так, Ф. Г. Хоффманн в своей работе «Конфликты XXI века: появление «гибридных войн» (2007) доказывает, что межгосударственные конфликты XXI века начинают и будут носить мультимодальный и многовариантный характер и представлять собой гибридное сочетание традиционных (конвенциональных) и иррегулярных (неконвенциональных) тактик, основанное на разнообразных простых и сложных технологиях [14, Р. 7].

Следует отметить, что и в рамках ««холодной войны»» США часто использовали манипуляции гибридного характера в различных сферах в целях достижения определенных политико-идеологических целей [8]. Еще в начале 60-х гг. Министерство обороны США ввело такой термин как «специальные военные действия», «специальность» которых предполагала применение неконвенциональных военных тактик и методы «пси-войны» [10].

В последние годы принципы «гибридной войны» излагаются и в официальных документах правительства США. Так, в директиве Министерства обороны США № 3000.05 от 16 сентября 2009 г. «Операции стабильности» утверждается, что основу военной миссии США составляют операции по поддержанию стабильности, в связи с чем Министерство обороны США должно быть готово проводить операции по достижению стабильности на всех этапах конфликта в различных диапазонах как в условиях боевых действий, так и небоевых, используя для достижения поставленных целей различные рычаги экономического, социального, политического и военного давления [23]. Таким образом, стратегические военные планы носят гибридный характер, охватывая целый спектр элементов национальной мощи.

В директиве № 3000.07 от 28 августа 2014 г. (обновленный вариант, предыдущий – 2008 г.), которая так и называется «Иррегулярные войны», подчеркивается, что иррегулярная война является не менее важной в военной стратегии, чем обычная война, может вестись как в комбинации, так и независимо от регулярной войны [16]. Более того, в этой директиве особо оговаривается, что активность в рамках иррегулярной войны, несмотря на то, что она может вестись параллельно или в рамках обычной войны, носит преобладающий характер [16, с. 2]. К данной директиве прилагается словарь используемых терминов, в котором описаны основные понятия концепции «гибридной войны». Так, термин «иррегулярный» подразумевает характеристику ведения военных действий, в которых участники могут использовать такие нетрадиционные методы, как партизанская война, терроризм, саботаж, подрывная деятельность, использование протестных движений, а также сил негосударственных агентов (от международных вооруженных формирований до международных некоммерческих организаций). Термин «неконвенциональная война» в данной директиве предполагает мероприятия, проводимые для организации движения сопротивления в целях давления на правящий режим страны-противника с помощью вспомогательных методов.

В настоящее время помимо активных научных исследований «гибридных войн» в США, важность этого типа войн в межгосударственном противоборстве отмечается и в официальных рабочих документах НАТО. В одной из последних деклараций саммита НАТО впервые на высшем официальном уровне открыто заявляется о необходимости обеспечить готовность членов военного альянса к участию в войнах нового типа – «гибридных войнах»⁴. В связи с этим в рамках основных положений плана действий по обеспечению готовности противостоять «гибридным войнам» НАТО создает в Латвии

⁴ П. 15 декларации гласит «Мы сделаем так, чтобы НАТО была способна эффективно преодолевать конкретные вызовы, возникающие в связи с угрозами «гибридной войны», при ведении которой применяется широкий ряд тесно взаимосвязанных открытых и скрытых военных, военизированных и гражданских мер. Принципиально важно, чтобы у Североатлантического союза были инструменты и процедуры, необходимые для эффективного сдерживания угроз «гибридной войны» и реагирования на них, а также потенциалы для усиления войск (сил) государств» [7].

аккредитованный центр передового опыта по стратегическим коммуникациям, в основные задачи которого входят обзор и систематизация работы по «гибридным войнам».

В настоящее время концепция «гибридной войны» составляет основу доктрины военных действий, она пришла на смену концепции ««холодной войны»». «Холодная война» представляла собой военно-геополитическое противостояние, одной из базовых составляющих которого являлась идеологическая борьба. Основные признаки «холодной войны» – открытый характер конфронтации, нацеленность на доминирование в геополитической сфере, гонка обычных и ядерных вооружений. В отличие от «холодной войны» «гибридная война» может носить скрытый характер (в связи с чем даже появился термин «необъявленная война»), в основе ее причин чаще лежит передел политико-экономических сфер влияния, и интервенция на территории противника с целью свергнуть то или иное правительство может осуществляться невоенным путем. Принципиальное отличие концепций «холодной» и «гибридной» войн заключается в следующем: «холодная война» имеет превентивный характер, а «гибридная война» основывается на идее преземпции (упреждения) и предполагает конфронтацию и устранение не актуальных угроз, а потенциальных.

Таким образом, идея преземпции пришла на смену превенции (парадигме сдерживания) периода ««холодной войны»», исходит из необходимости действовать опережающим образом в отношении не только очевидной, но и гипотетической угрозы. В военно-политическом сообществе США произошло существенное обновление парадигмы военного стратегического планирования. Обновился категориально-понятийный аппарат. Вместе с преземпцией появились такие термины, как «предварительная самооборона» (anticipatory self-defence), «появляющиеся угрозы до того, как они окончательно сформировались» (emerging threats before they are fully formed) и т. п. Основная цель преземптивной парадигмы состоит в кардинальном перераспределении геополитического влияния в регионах мира, наиболее важных для США, в смене режима и строительстве «новых наций» и «современных государств» в понимании военно-политического руководства США. Это означает, что захват и овладение суверенитетом других стран являются основополагающими задачами преземптивной стратегии и составляют одну из ключевых угроз национальной безопасности современной России и союзных государств.

Список литературы

1. Акулинин, В. Н., Епифанова Н. С. Концепция гибридной войны в практике межгосударственного противостояния / В. Н. Акулинин, Н. С. Епифанова // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2015. – № 36. – С. 53–60.
2. Ивашов, Л. Г. Состояние системы международной безопасности на современном этапе / Л. Г. Ивашов // Известия Уральского федерального университета. Сер. 3, Общественные науки. – 2013. – № 3 (118). – С. 6–18.
3. Киссинджер, Г. Дипломатия / Г. Киссинджер; пер. с англ. В. В. Львова. – М., Ладомир, 1997. – С. 419.
4. Комлева, Н. А. Преземптивная война как технология ресурсного передела мира / Н. А. Комлева // Пространство и время. – 2012. – № 2. – С. 28–33.
5. Кочнев, И. П. Концепция преземптивной войны и пограничная безопасность государства / И. П. Кочнев, В. В. Шумов // XII Всерос. совещание по проблемам упр. ВСПУ-2014. – М.: ИПУ РАН, 16–19 июня 2014. – С. 6213–6219.
6. Кутепов, С. В. Фултонская речь Черчилля: суть и подтексты / С. В. Кутепов, С. В. Рыбаков // Омский науч. вестн. – 2013. – № 3 (119). – С. 17–20.
7. Пресс-релиз НАТО. – Заявление по итогам встречи на высшем уровне в Уэльсе, 2014. [Электронный ресурс]. URL: http://www.nato.int/cps/ru/natohq/official_texts_112964.htm – Дата доступа: 27.09.2016
8. Сондерс, Ф. С. ЦРУ и мир искусств. Культурный фронт «холодной войны» / Ф. С. Сондерс. – М.: Кучково поле, 2014. – 416 с.

9. Bond, M. S. Hybrid war: a new paradigm for stability operations in failing states / M. S. Bond // Carlisle Barracks, U.S. Army War College, 2007. – P. 25.
10. Field Manual # 31–15 Irregular Forces (31 May 1961); 48 pages, 5 illus. U.S. Department of Defense, 1961.
11. Financial, Market Outlook. Global Economic Prospects. Washington DC: The World Bank Group, 2014. – P. 8–11.
12. Freeman, K. D. Economic Warfare Risks and Responses / K. D. Freeman // Analysis of twenty-first century risks in light of the recent market collapse. Cross consulting and services LLS. – 2009. – 110 p.
13. Haass, R. N. Economic Sanction and American Diplomacy (Critical America) / R. N. Haass // Council on Foreign Relations. – 1998. – 236 p.
14. Hoffmann, F. G. Conflict in the 21st century: the rise of hybrid wars / F. G. Hoffmann. – Arlington: Potomac Institute for Policy Studies, – 2007. – P. 72.
15. Hoffmann, F. G. Hybrid vs. Compound War: The Janus Choice of Modern War: Defining Today's Multifaceted Conflict / F. G. Hoffmann // Armed Forces Journal. – October 2009.
16. Irregular War. U.S. Department of Defense Directive # 3000.07. August 28, 2014. – P. 1. – U.S. Department of Defense, 2014.
17. Kar, D., Illicit Financial Flows from developing countries: 2003–2012 / D. Kar, J. Spanjers // Washington DC: Global Financial Integrity, 2014. – 68 p.
18. Kraatz, S. The Russian Embargo: Impact on the Economic and Employment Situation in the EU. / S. Kraatz // Policy Department A: Economy and Scientific Policy. European Parliament, 2014. PE 536.291. – P. 10.
19. McDonald, S. Efficacy of Economic Sanction: North Korea and Iran Case Study / S. McDonalds // U.S. Army War College, 2011. – 40 p.
20. Miller, A. F. Irregular warfare – perhaps not so «irregular» / A. F. Miller // U.S. Army War College: USAWC Strategy Research Project, 2005. – 15 p.
21. Nichol, J. Russian Political, Economic, and Security Issues and U.S. Interests / J. Nichol // Congressional Research Service. Washington DC, March 31, 2014. – 89 p.
22. Orwell, G. You and the atomic bomb / G. Orwell // Tribune. – GB, London. – 19th October, 1945.
23. Stability Operations. U.S. Department of Defense Instruction # 3000.05. September 16, 2009. P. U.S. Department of Defense, 2009.
24. Zajac, D. L. The best deffence is a good offence: preemption, ramification for the Department of Deffense / D. L. Zajac // U.S. Army War College: USAWC Strategy Research Project, 2003. – 38 p.

*Сведения об авторах:

Епифанова Наталья Сергеевна,
 Сибирский институт управления-филиал РАНХ и ГС;
 Акулинин Владимир Николаевич,
 Новосибирский государственный университет.
 Статья поступила в редакцию 27.04.2016 г.

ФОРМИРОВАНИЕ ЧАСТНЫХ МЕТОДИК ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕНИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ БОЕСПОСОБНОСТИ ПОРАЖАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

В. А. Касинский, кандидат военных наук, доцент;
М. Ю. Избаш, кандидат военных наук, доцент*

В статье приведены результаты поиска показателей и критериев восстановления боеспособности типовых объектов после нанесения им огневого поражения. Из подобранных расчетных методов сформированы методики определения времени восстановления работоспособности вооружения и военной техники (ВВТ) и времени восстановления работоспособности системы управления поражаемых объектов, что позволяет решить важную прикладную задачу – определение общего времени восстановления боеспособности объектов поражения.

In article results of search of indicators and criteria of restoration of combat capacity of typical objects after reception of fire defeat. From the chosen settlement methods techniques of definition of time of restoration of working capacity of arms and the military technics and time of restoration of working capacity of a control system of amazed, what allows to solve the important applied problem – definition of summary time of restoration of combat capacity of objects of defeat.

Введение

Оценка результата вооруженного противоборства во многом зависит от корректности решения задач по прогнозу изменений обстановки и невозможна без учета особенностей сложных динамических процессов взаимодействия конфликтующих сторон [1]. При этом, если процесс нанесения ущерба противнику достаточно широко исследован [2, 4, 6, 7], то описание процессов восстановления функционирования различных объектов противостоящих группировок после нанесения им поражения не нашло должного отражения в научных публикациях. А ведь без учета этих процессов невозможно достигнуть требуемого уровня адекватности работы так необходимых в современных условиях систем поддержки принятия решений в органах военного управления и войсках. Этим и обусловлена актуальность рассматриваемых в статье вопросов.

Основная часть

Считается, что групповой объект теряет часть боеспособности, когда доля пораженных элементарных объектов из его состава $C_{об}$ достигает 30 % и более [2]. Превышение значения данного показателя дает основание учитывать при планировании огневого поражения время, необходимое для восстановления его боеспособности. Однако при уничтожении объекта, когда средний уровень его элементарных потерь превышает 70 %, объект полностью теряет свою способность к самовосстановлению. Таким образом, учет времени самовосстановления боеспособности объекта актуален при условии, что

$$30 \% \leq C_{об} < 70 \% . \quad (1)$$

Для проведения расчета времени восстановления боеспособности объекта необходимо выбрать соответствующие показатели, существенно влияющие на этот процесс. Анализ существующих подходов [3–5] показывает, что расчеты восстановления боеспособности объекта в целом как боевой единицы проводятся на основе определения перечня необходимых мероприятий, объема выполняемых работ и норм времени на их выполнение, а также построения сетевых графиков и определения критического пути выполняемых работ.

Различают следующие основные мероприятия по восстановлению боеспособности объектов:

восстановление работоспособности образцов вооружения, определяющих боеспособность объекта поражения;

восстановление нарушенного управления;
восстановление боеспособности личного состава.

Общее время восстановления боеспособности с учетом проведения мероприятий параллельным методом может быть определено по наиболее длительному из них.

Очевидно, что методы расчета времени, затрачиваемого на каждое мероприятие, будут различаться и потребуют разработки соответствующих частных методик. При этом объемы выполняемых работ и нормы затрачиваемых на них ресурсов могут быть определены исходя из типовых нормативов для соответствующих объектов или по опыту предыдущих действий.

Используя известные методы, последовательно сформируем частные методики расчетов в перечисленном выше порядке.

1. Определение времени восстановления образцов ВВТ объекта

Элементарные объекты из состава группового – это образцы ВВТ, определяющие боеспособность объектов, и их расчеты (например, 155-мм СГ включает собственно самоходную гаубицу и ее расчет). Вероятность восстановления работоспособности образцов ВВТ, подвергшихся поражающему воздействию, из [6] зависит от вида ремонта (например, текущего, среднего, капитального), проведение которого необходимо для восстановления их работоспособности, а также от возможности его проведения. Там же величину этой вероятности на момент времени t предлагается рассчитывать по формуле

$$\delta_3(t) = 1 - \sum_{r=1}^{n_{\text{рем}}} [1 - q_{\text{вр}}(t)] P_{\text{вр}}, \quad (2)$$

где $n_{\text{рем}}$ – количество видов ремонта, который может проводиться для восстановления работоспособности пораженных образцов ВВТ, шт.;

$q_{\text{вр}}(t)$ – вероятность того, что подсистема технического обеспечения способна провести r -й вид ремонта образцов ВВТ на момент времени t ;

$P_{\text{вр}}$ – относительная часть (доля) образцов ВВТ объекта противника, для восстановления работоспособности которых необходимо проведение r -го вида ремонта.

Величина $P_{\text{вр}}$ зависит от вероятности нанесения образцам ВВТ каждого из возможных типов поражения. Типы поражения различают по виду ремонта, который необходимо провести для восстановления работоспособности образцов ВВТ.

Зададимся типовыми нормами трудозатрат на каждый из видов ремонта. Используя в качестве примера подход, приведенный в [7], условимся, что относительная часть ВВТ из состава объекта, получившего поражение со степенью «подавление» (1), распределена по типам ремонта следующим образом:

- безвозвратные потери $\approx 5\%$;
- капитальный ремонт (более 200 чел.-ч) $\approx 5\%$;
- средний ремонт (от 100 до 200 чел.-ч) $\approx 10\%$;
- текущий ремонт (до 100 чел.-ч) $\approx 20\%$.

Значение $q_{\text{вр}}(t)$ определяется временем и объемом работ, необходимых для проведения r -го вида ремонта, а также возможностями подсистемы технического обеспечения группировки и объектов, в состав которых входят пораженные образцы техники и вооружения. Эта величина, при условии равной вероятности восстановления работоспособности всех имеющих одинаковый тип поражения образцов ВВТ, в [6] определяется по формуле

$$q_{\text{вр}}(t) = \min \left\{ \frac{Q_{\text{стор}}(t - t_{\text{опш}})}{Q_{\text{вр}}}, q_r(t) \right\}, \quad r = \overline{1, n_{\text{рем}}}, \quad (3)$$

где $Q_{\text{стор}}$ – потенциальные суточные возможности подсистемы технического обеспечения по проведению r -го вида ремонта, чел.-ч/сут;

Q_{Br} – объем работ, необходимых для проведения r -го вида ремонта пораженных образцов ВВТ объекта, чел.-ч;

$t_{\text{ОПП}}$ – время начала ОПП;

$q_{tr}(t)$ – вероятность того, что продолжительность ремонта r -го вида не превышает продолжительности времени от момента поражения образца ВВТ до момента времени t .

Потенциальные суточные возможности подсистемы технического обеспечения $Q_{\text{СТОр}}$ принято [2] выражать объемом работ (количеством человеко-часов), который она может реализовать при проведении каждого вида ремонта пораженных образцов ВВТ в течение одних суток. Величина этих возможностей определена на основе следующих положений:

боееспособные подразделения (объекты) всегда способны к проведению штатных видов (текущего) ремонта образцов ВВТ, входящих в их состав. Соответственно, ремонтные формирования осуществляют текущий ремонт только тех образцов ВВТ, которые входят в состав небоеспособных объектов;

для проведения в формировании противника технического обеспечения его система управления должна быть боееспособной;

при восстановлении пораженных образцов ВВТ первыми будут восстанавливаться те образцы, чье время ремонта минимально.

В соответствии с этими положениями величина $Q_{\text{СТОр}}$ равна:

$$Q_{\text{СТОр}} = \max \left\{ \sum_{j=1}^{m_{p\phi}} \sum_{\mu=1}^{\alpha} q_{c\phi j\mu} \delta_{t\mu} \delta_{p\phi j\mu} Q_{p\phi jr} - \sum_{\xi=0}^{r-1} \frac{Q_{Br\xi}}{t - t_{\text{ОПП}}}, 0 \right\}, \quad r = \overline{1, n_{\text{рем}}}, \quad (4)$$

при условии, что при $\xi = 0$

$$Q_{Br\xi} = 0, \quad (5)$$

где $m_{p\phi}$ – количество ремонтных формирований в группировке, шт.;

$q_{c\phi j\mu}$ – вероятность боееспособности на μ -м интервале времени системы управления формирования, в состав которого входит j -я ремонтная часть (подразделение);

$\delta_{p\phi j\mu}$ – степень боееспособности j -й ремонтной части (подразделения) на μ -м интервале времени;

$Q_{p\phi jr}$ – возможности j -й ремонтной части (подразделения) по проведению ремонта r -го вида при ее нахождении в штатном составе, чел.-ч/сут;

$Q_{Br\xi}$ – объем работ, необходимых для проведения ξ -го, менее трудоемкого, чем r -й, вида ремонта пораженных образцов ВВТ, чел.-ч.

По аналогии с [2] для типовых объектов в целях проведения расчетов определим следующие потенциальные суточные возможности подсистемы технического обеспечения по проведению ремонта $Q_{\text{СТОр}}$: в роте (батарее) – до 10 чел.; в батальоне (дивизионе) – до 50 чел.; в полку (бригаде) – до 100 чел.

Объем работ, необходимых для проведения каждого r -го вида ремонта Q_{Br} , равен:

$$Q_{Br} = Q_r P_{Br} \sum_{i=1}^b X_{oi} k_i, \quad r = \overline{1, n_{\text{рем}}}, \quad (6)$$

где Q_r – средний объем работ при проведении r -го вида ремонта образца ВВТ, чел.-ч;

X_{oi} – индикатор поражения r -го объекта на интервале времени $(t_{\text{ОПП}}, t)$;

k_i – количество образцов ВВТ в i -м объекте противника, ед.

Согласно [7] предлагаем *среднюю величину* объема работ, необходимого для проведения каждого вида ремонта Q_r : текущий ремонт – 30 чел.-ч; средний ремонт – 100 чел.-ч.

Индикатор X_{oi} поражения r -го объекта на интервале времени $(t_{\text{ОПП}}, t)$ при проведении расчетов для степени «подавление» сохраняет свою постоянную величину и в целях упрощения вычислений может быть приравнен к единице и исключен.

Тогда выражение (6) можно записать:

$$Q_{Br} = Q_r P_{Br} \sum_{i=1}^b k_i, \quad r = \overline{1, n_{\text{рем}}}. \quad (7)$$

Количество образцов ВВТ, определяющих боеспособность i -го объекта противника k_i , зависит от его организационно-штатной структуры и боевого состава. В интересах решения типовой задачи примем: для роты (батареи) – 10 ед.; для батальона (дивизиона) – 35 ед.; для полка (бригады) – 110 ед.

Вероятность $q_{ir}(t)$ принимается равной единице, если промежуток времени от момента поражения образца ВВТ до момента времени t равен или превосходит максимальную продолжительность восстановления его работоспособности (по опыту ранее проводимых с подразделениями учений), и нулю – в противном случае. При наличии данных только о максимальной и минимальной продолжительности ремонта образцов ВВТ в [7] принимается допущение, что эта продолжительность подчиняется закону равномерного распределения. С учетом данного допущения величина $q_{ir}(t)$ определяется по формуле

$$q_{ir} = \min \left\{ \frac{\max[(t - t_{\text{по}} - t_{r1}), 0]}{(t_{r2} - t_{r1})}, 1 \right\}, \quad r = \overline{1, n_{\text{рем}}}, \quad (8)$$

где $t_{\text{по}}$ – время поражения объекта противника;

t_{r1} – минимальная продолжительность проведения ремонта r -го вида, ч;

t_{r2} – максимальная продолжительность проведения ремонта r -го вида, ч.

2. Определение времени восстановления системы управления объекта

Вероятность работоспособности системы управления формирования, в состав которого входит j -й ремонтный орган (подразделение), равна вероятности того, что хотя бы один из пунктов управления, которые способны управлять этим формированием, является боеспособным. В исключительных случаях объект способен полностью реализовать свои боевые возможности и при нарушенной системе управления, например опорный пункт при непосредственной угрозе атаки. В этом случае из [2] боеспособность объекта равна боеспособности живой силы

$$C_o(t) = C_6(t), \quad (9)$$

где $C_o(t)$ – функция боеспособности объекта;

$C_6(t)$ – функция боеспособности живой силы.

В настоящее время, учитывая сложность структуры и многообразие элементарных объектов поражения из состава группового, функцию боеспособности объектов, которые не способны реализовать свои боевые возможности при нарушенной системе управления, представляют в виде

$$C_o(t) = C_6(t) [F_y(t) + K_y(1 - F_y(t))], \quad (10)$$

где $F_y(t)$ – функция восстановления работоспособности системы управления;

$K_y(t)$ – доля боевых возможностей, которую может реализовать объект при не функционирующей системе управления.

Если объект способен полностью реализовать свои боевые возможности и при нарушенной системе управления, то $K_y = 1$ и формула (10) обращается в (9). Если объект полностью не способен реализовать свои боевые возможности при нарушенной системе управления, то $K_y = 0$ и формула (10) принимает вид

$$C_o(t) = C_6(t) F_y(t). \quad (11)$$

Методика определения K_y к настоящему времени не разработана, однако в ряде случаев удастся определить его приближенное значение исходя из тактической обстановки. Например, если в мотопехотном подразделении в состав резерва выделено 25 % имеющихся сил и средств, то в этом случае можно принять $K_y = 0,75$.

Для проведения расчетов по формуле (11) необходимо найти метод определения функции восстановления работоспособности системы управления $F_y(t)$.

Восстановление работоспособности системы управления начинается с восстановления боеспособности живой силы органов управления и подчиненных подразделений. На пунктах управления после восстановления боеспособности живой силы (в первую очередь лиц, ответственных за организацию управления) принимаются меры к восстановлению системы связи, перераспределению обязанностей между должностными лицами группы управления и определению уровня боеспособности подчиненных звеньев управления и объектов. В дальнейшем принимается решение на восстановление боеспособности объекта как боевой единицы, ставятся задачи подчиненным на восстановление боеспособности, осуществляется руководство и контроль выполнения мероприятий по ликвидации последствий огневого поражения.

В зависимости от трудоемкости, порядка выполнения работ и имеющегося числа исполнителей, мероприятия по ликвидации последствий поражения и восстановлению боеспособности объекта выполняются последовательно или параллельно. Время выполнения всего комплекса работ зависит от структуры объекта, величины нанесенных потерь и рассчитывается с использованием сетевых графов.

В таблице 1 приведены среднее значение времени восстановления работоспособности системы управления (m_t), а также его среднее квадратическое отклонение (σ_t). Эти величины взяты из [8], поэтому таблица 1 может служить только временным источником сведений, а описание алгоритмов и исходных данных для расчетов m_t и σ_t является задачей по дальнейшему совершенствованию формируемой методики.

Числовые значения m_t и σ_t определены с учетом безвозвратных и временных потерь, но для упрощения пользования таблицей входом в нее являются безвозвратные потери. При этом предполагается, что потери примерно одинаковы в живой силе пунктов управления и управляемых объектах, а система управления может находиться только в двух состояниях: либо она функционирует нормально, либо управление нарушено полностью.

Таблица 1. – Среднее время восстановления работоспособности системы управления объектов (группировки) после огневого поражения (m_t) и его среднее квадратическое отклонение (σ_t), ч

Наименование объекта	Числовые характеристики, ч	Величина безвозвратных потерь, %			
		10	30	50	70
Взвод	m_t	0,1	0,35	0,7	1,9
	σ_t	0,017	0,03	0,09	0,12
Рота (батарея)	m_t	0,17	0,5	1,2	2,7
	σ_t	0,03	0,06	0,14	0,17
Батальон, дивизион	m_t	0,25	0,7	1,7	3,8
	σ_t	0,04	0,09	0,18	0,24
Бригада, полк	m_t	0,35	1,0	2,2	5,2
	σ_t	0,06	0,13	0,22	0,32
Дивизия	m_t	0,45	1,4	3,0	7,2
	σ_t	0,09	0,17	0,28	0,42
КПАК	m_t	0,55	1,8	3,8	9,7
	σ_t	0,12	0,21	0,36	0,54

Определив числовые характеристики времени восстановления работоспособности системы управления, необходимо установить вид аппроксимирующего закона. Процесс восстановления управления связан с выполнением ряда операций (работ), на каждую из которых затрачивается случайное время. Поэтому вполне естественно считать, что

суммарное время восстановления управления распределено по нормальному закону. Однако при нормальном законе случайная величина может принимать как положительное, так и отрицательное значение. Время не может быть отрицательным. Поэтому для аппроксимации закона распределения времени восстановления работоспособности системы управления в [8] предлагается использовать усеченный нормальный закон вида

$$F_y(t) = \frac{\theta}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{(t-m_t)^2}{2\sigma_t^2}} dt, \quad (12)$$

где σ_t – среднее квадратическое отклонение, характеризующее разброс времени восстановления управления;

m_t – математическое ожидание времени, затрачиваемого на восстановление управления;

θ – коэффициент усечения, значения которого приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Значения коэффициента θ в зависимости от соотношения m_t и σ_t

$\frac{m_t}{\sigma_t}$	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
θ	2,0	1,446	1,188	1,072	1,023	1,006	1,001	1,000

В общем случае m_t и σ_t нормального закона и усеченного нормального закона не одинаковы, но при $\frac{m_t}{\sigma_t} \geq 3$ это различие не существенно. Анализ данных таблицы 2

показывает, что это условие выполняется. Поэтому для аппроксимации закона распределения времени восстановления работоспособности системы управления можно использовать нормальный закон с числовыми характеристиками, представленными в таблице 1. Наряду с усеченным нормальным законом для аппроксимации функции восстановления управления может применяться смещенное экспоненциальное распределение и другие способы аппроксимации.

При этом численные значения $F_y(t)$ можно определять по заранее рассчитанной таблице. По физическому смыслу функция $F_y(t)$ характеризует вероятность восстановления системы управления и выполнения комплекса работ по восстановлению способности управления объектом в целом к заданному времени.

Таким образом, для построения функции восстановления боеспособности объекта $C_o(t)$ необходимо сначала рассчитать функцию восстановления боеспособности живой силы $C_6(t)$, затем по формуле (12) функцию восстановления системы управления $F_y(t)$ и провести расчеты по формуле (11) для определения ее численных значений.

Расчет общего времени восстановления боеспособности объекта

Учет времени восстановления боеспособности живой силы объекта (при применении обычных средств поражения) особо важен при поражении противодействующих объектов и прежде всего при поражении объектов атаки. В остальных случаях им можно пренебречь и строить прогноз относительно расчетов времени на восстановление нарушенного управления и восстановление образцов вооружения, определяющих боеспособность объекта поражения.

В силу равной важности для боеспособности объекта обоих показателей и проведения данных мероприятий параллельным методом за полное время восстановления боеспособности объекта логично принимать величину показателя, имеющего наибольшее значение

$$C_o(t) = \max\{\delta_3(t), F_y(t)\}. \quad (13)$$

В таблице 3 приведены результаты расчета практического примера восстановления ВВТ типовых объектов поражения на интервале времени от 2 ч и далее для различного количества ВВТ, нуждающегося в текущем и среднем ремонте.

Таблица 3. – Динамика восстановления ВВТ объектов для различных интервалов времени, %

Типовые объекты	Доля ТекРем СрРем	Заданное время после поражения объекта, ч				
		2–3	4–7	8–15	16–24	> 1 сут
Рота	2/1	70	76	80	85	90
Батальон	8/4	60	68	75	80	90
Полк	22/11	60	65	70	80	90

Анализ результатов проведенных расчетов показывает: среднее время восстановления боеспособности ВВТ для роты (батареи) – 2–4 ч, для батальона (дивизиона) – 6–8 ч, для полка (бригады) – 8–15 ч.

При этом доля поврежденных образцов, подлежащих среднему ремонту, не оказывает значительного влияния на общую боеспособность ВВТ объекта.

На графиках (рисунки 1–3) приведены результаты практического расчета функции восстановления работоспособности системы управления поражаемых объектов.

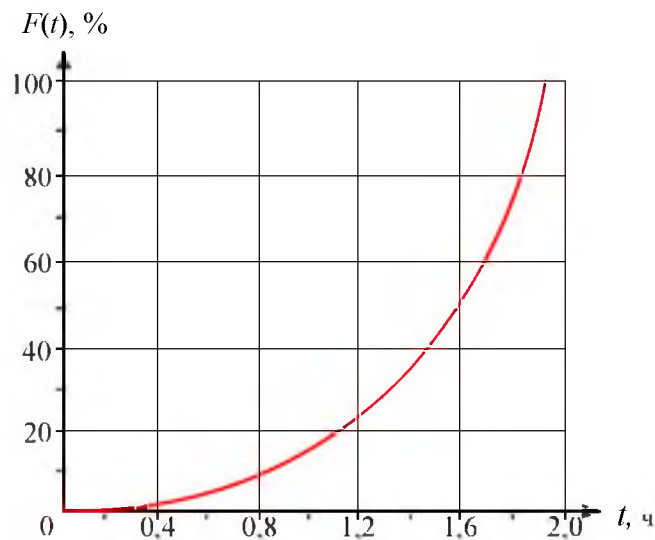


Рисунок 1. – Динамика восстановления системы управления типового объекта «рота (батарея)»



Рисунок 2. – Динамика восстановления системы управления типового объекта «батальон (дивизион)»

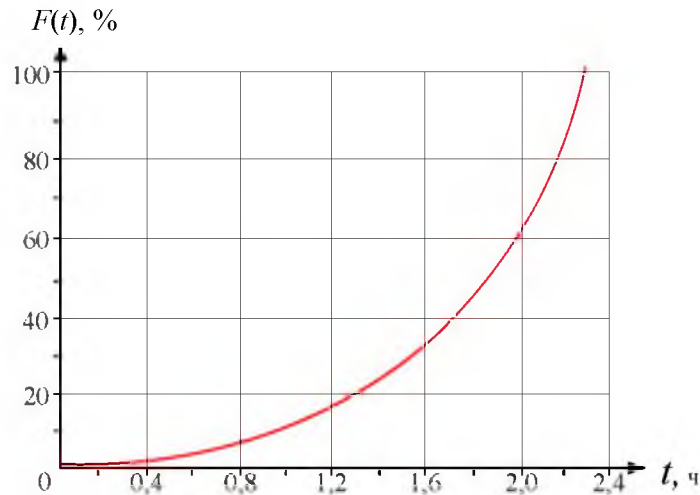


Рисунок 3. – Динамика восстановления системы управления типового объекта «полк (бригада)»

Анализ результатов проведенных расчетов показывает:

Среднее время восстановления работоспособности системы управления типовых объектов составляет: «рота» – 1,8 ч; «батальон» – 2,1 ч; «полк» – 2,2 ч, «КП АК» – 2,4 ч.

Тогда, используя выражение (11), полное время восстановления боеспособности типового объекта C_0 :

для роты (батареи) $C_0(t) = \max\{3; 1,8\} = 3$ ч;

для батальона (дивизиона) $C_0(t) = \max\{7; 2,1\} = 7$ ч;

для полка (бригады) $C_0(t) = \max\{11; 2,2\} = 11$ ч.

Полученные данные полностью соответствуют рекомендациям, изложенным в [8], что позволяет сделать вывод об адекватном отражении в представленной методике реальных процессов восстановления боеспособности объектов.

Выводы

Таким образом, в статье проведен выбор групп показателей, характеризующих время восстановления боеспособности поражаемых объектов: время восстановления работоспособности ВВТ, работоспособности системы управления, боеспособности живой силы и их числовые характеристики. Определен критерий актуальности их учета $C_{об}$. На основе анализа существующих методов расчета отдельных показателей сформированы методики расчета времени восстановления работоспособности ВВТ в зависимости от $\delta_3(t)$, работоспособности системы управления в зависимости от $F(t)$ и общего времени восстановления объекта от $C_0(t)$. Представлены результаты расчетов, демонстрирующие возможность применения данных методик для решения задач прогнозирования времени восстановления боеспособности поражаемых объектов. Вместе с тем авторы подчеркивают, что материал статьи является пока частной точкой зрения и заранее благодарят других ученых за высказанные замечания, направленные на совершенствование полученных результатов.

Возможность прогнозирования времени восстановления боеспособности объектов позволяет корректно оценивать процессы противоборства сторон, адекватно учитывать состояние боевых возможностей группировок войск в различных условиях обстановки. Такой подход дает органам военного управления возможность в ходе планирования операции рационально распределять ресурсы огневого поражения и выполнять задачи в более короткие сроки, а также своевременно уточнять текущий потенциал группировки противника в операции и организовывать ее эффективное поражение, которое достигается только в том случае [1], когда интенсивность снижения ее боевых возможностей превышает интенсивность их восстановления.

Список литературы

1. Булойчик, В. М. Возможные подходы к формированию системы обеспечения принятия решений в ходе подготовки и ведения военных действий / В. М. Булойчик, М. Ю. Избаш // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2015. – № 4. – С. 10–14.
2. Ефимов, Н. Е. Оценка состояния боеспособности объектов группировки войск противника после их огневого поражения / Н. Е. Ефимов, В. С. Калинин, В. А. Малыш. – Л.: ВАА, 1987. – 38 с.
3. Глод, И. В. Пути решения проблемы обеспечения устойчивого управления войсками (силами) / И. В. Глод, Г. С. Казаков // Наука и воен. безопасность. – 2009. – № 1. – С. 2–9.
4. Уколов, В. А. Управление войсками в современных и перспективных операциях / В. А. Уколов. – М.: ВА ГШ, 2004. – 352 с.
5. Глод, И. В. Пути восстановления управления войсками (силами) в современных условиях / И. В. Глод, В. К. Синявский // Наука и воен. безопасность. – 2009. – № 3. – С. 8–14.
6. Бобриков, А. А. Оценка эффективности огневого поражения ударами ракет и огнем артиллерии / А. А. Бобриков. – СПб.: Галея Принт, 2006. – 424 с.
7. Барковский, А. Ф. Основы оценки эффективности и выработки рекомендаций по поражению целей огнем артиллерии: учеб. пособие / А. Ф. Барковский. – СПб.: МВАА, 2001. – 376 с.
8. Барковский, А. Ф. Теоретические основы управления ударами и огнем ракетных войск и артиллерии: учеб. / А. Ф. Барковский. – СПб.: МВАА, 2005. – 460 с.

*Сведения об авторах:

Касинский Владимир Александрович.

Избаш Михаил Юрьевич.

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 19.09.2016 г.

УДК 623.618.2

ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВРЕМЕНИ ПРЕБЫВАНИЯ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ПВО В ЗОНЕ НАБЛЮДЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ РАЗВЕДКИ

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

В. Р. Драгун, кандидат военных наук;

А. А. Посудевский;

А. Н. Пальцев, кандидат технических наук, доцент*

В статье рассматривается подход к определению времени нахождения подразделений ПВО в зоне наблюдения космических средств разведки, который может быть использован при выполнении оперативно-тактических расчетов, позволяющих оценивать обстановку и обосновывать решения по противодействию средствам разведки противника и повышению живучести подразделений ПВО.

The article deals with the methods of definition of time parameters of air defense units actions in the area of observation of space reconnaissance means that can be used to perform operational calculations to evaluate the situation and defend the decisions to counter enemy reconnaissance means and to increase the survival ability of the air defense units.

Как известно, одна из основных составляющих успеха действий авиации в локальных конфликтах последних десятилетий – наличие высокоэффективных средств разведки, а также умелая организация и комплексное ведение разведки всеми имеющимися средствами. В современных операциях свыше 85 % [1] разведывательной информации добывается техническими средствами радиоэлектронных комплексов, размещенных на наземных, воздушных и космических носителях, поэтому высокоэффективные средства разведки космического и воздушного базирования стали одним из главных звеньев разведывательно-ударных комплексов и систем, используемых для огневого подавления средств ПВО.

Большая обзорность околоземного космического пространства позволяет осуществлять глобальное наблюдение космическими средствами разведки (КСР) за всеми районами земной поверхности и воздушным пространством практически в реальном масштабе времени. Например, спутники радиолокационной разведки «Лакросс» и оптико-электронной разведки «Кихоул» (КН-11, КН-12) ведут разведку 4 раза в сутки и передают информацию в режиме реального времени с точностью 0,3–0,9 м [1]. Это дает возможность реагировать на любое изменение обстановки в районе ведения боевых действий. Не случайно, по мнению американских специалистов, в подготовительный период с помощью КСР удается получать до 70 % информации о потенциальном противнике [2].

Так, в ходе войны в Ираке 2003 г. задействованная орбитальная группировка содержала, по данным открытых источников, 50–59 военных космических аппаратов различного целевого назначения, 28 аппаратов системы GPS и большое число космических аппаратов связи и дистанционного зондирования Земли [3].

Таким образом, противодействие средствам разведки противника является одной из основных задач, обеспечивающих живучесть подразделений ПВО обороняющейся стороны.

Вероятность разведки противником активных средств ПВО является монотонно возрастающей функцией времени разведки КСР и нахождения подразделений ПВО на позиции, зависит от степени маскировки средств, развернутых на основной позиции, от количества и правдоподобия оборудованных ложных позиций и описывается усовершенствованным выражением [4]

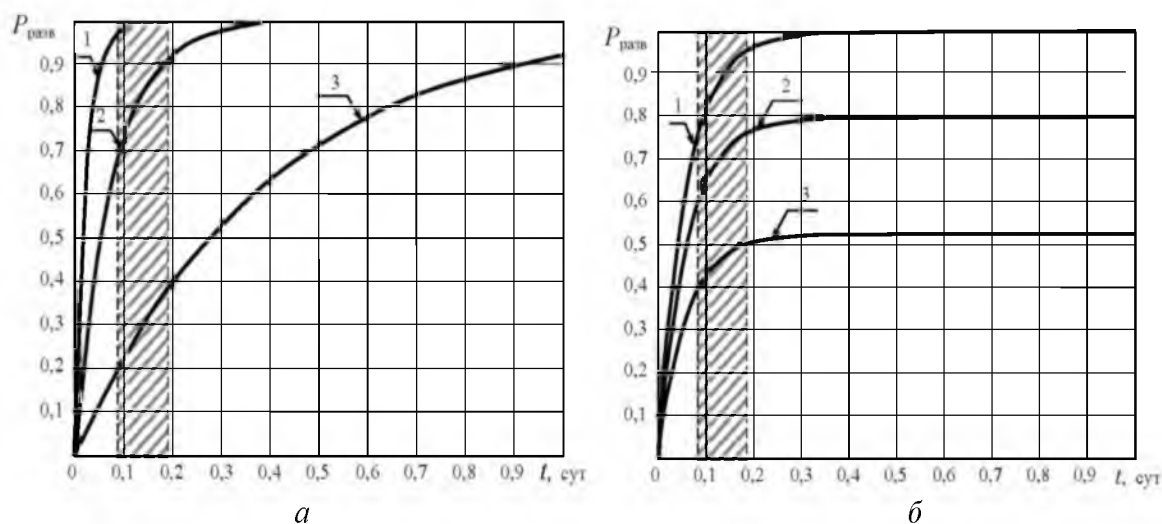
$$P_{\text{разв}}(t) = \frac{1 - (1 - W(1 - K_{\text{маск}}))^t}{1 + \sum_{i=1}^m N_{\text{лр}} \cdot L_i}, \quad (1)$$

где $K_{\text{маск}}$ – коэффициент, характеризующий степень маскировки основной позиции;
 W – вероятность обнаружения активных средств ПВО комплексной системой разведки ($W = 0,94...0,98$ [5]);

$N_{\text{лп}}$ – количество ложных позиций i -го типа;

L_i – коэффициент, характеризующий правдоподобие ложной позиции i -го типа.

Зависимость вероятности разведки противником активных средств ПВО от времени нахождения на позиции для различных степеней их маскировки, количества ложных позиций и их правдоподобия представлена, соответственно, на рисунке 1.



а – от времени и различной степени их маскировки:

1 – при $K_{\text{маск}} = 0.2$; 2 – при $K_{\text{маск}} = 0.6$; 3 – при $K_{\text{маск}} = 0.9$;

б – от времени, наличия ложных позиций и степени их правдоподобия:

1 – при $N_{\text{лп}} = 0, L = 0$; 2 – при $N_{\text{лп}} = 1, L = 0.25$; 3 – при $N_{\text{лп}} = 2, L = 0.9$

Рисунок 1. – Зависимость вероятности разведки противником активных средств ПВО

Расчеты показывают, что применение в подразделении ПВО эффективной маскировки ($K_{\text{маск}} = 0,9$), а также двух ложных позиций, оборудованных с высокой степенью правдоподобия ($L \geq 0,5$), может снизить вероятность обнаружения активных средств ПВО за время 2–4 ч до величины 0,1–0,2.

Таким образом, в современных условиях значимость мероприятий по обеспечению живучести подразделений ПВО возрастает и они являются неотъемлемой частью организации боевых действий. При этом качество планирования и осуществления данных мероприятий непосредственно зависит от наличия и полноты информации о возможностях противника по ведению разведки позиций подразделений ПВО. К такой информации можно отнести конфигурацию, местоположение и параметры зоны разведки (наблюдения) для каждого средства разведки, размещенного на космическом аппарате противника. На основе данной информации можно рассчитать период и длительность нахождения подразделений ПВО в этой зоне. Эти временные параметры, в свою очередь, являются исходными данными для выполнения оперативно-тактических расчетов, позволяющих оценивать обстановку и обосновывать решение по противодействию средствам разведки противника и повышению живучести подразделений ПВО.

Авторами статьи предлагается подход к определению возможного времени нахождения подразделений ПВО в зоне наблюдения КСР, который ориентирован на проведение расчетов с использованием вычислительных средств и при наличии информации о местоположении и параметрах движения спутника (рисунок 2).

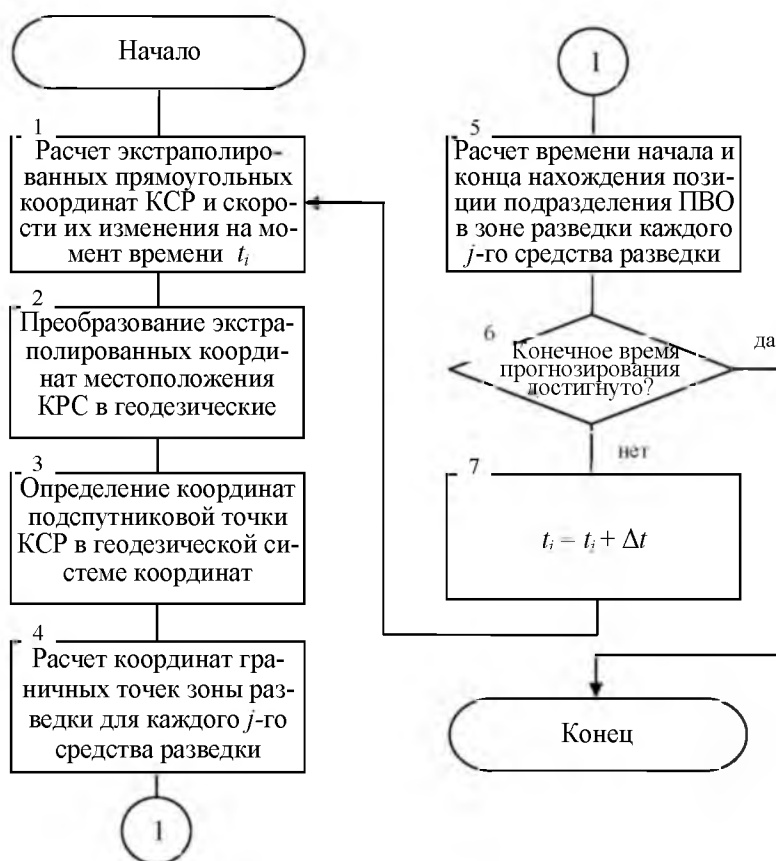


Рисунок 2. – Последовательность расчета времени нахождения позиций подразделений ПВО в полосе разведки космических спутников

Экстраполяция прямоугольных пространственных координат местоположения КСР и скорости их изменения на момент времени t_i проводится путем решения системы дифференциальных уравнений движения КСР по методике, описанной в [6].

Начальными условиями являются измеренные прямоугольные пространственные координаты (гринвичские) КСР в геоцентрической системе координат $(X_{ПЗ}, Y_{ПЗ}, Z_{ПЗ})$ и составляющие вектора скорости КСР $(\dot{X}_{ПЗ}, \dot{Y}_{ПЗ}, \dot{Z}_{ПЗ})$, которые пересчитываются в абсолютную $0X_0Y_0Z_0$ по известным формулам, описанным в [2].

Полученные на момент времени t_i в абсолютной системе координат $0X_0Y_0Z_0$ координаты КСР $x_0(t_i), y_0(t_i), z_0(t_i)$ и его составляющие вектора скорости $Vx_0(t_i), Vy_0(t_i), Vz_0(t_i)$ преобразуются в прямоугольную пространственную (гринвичскую) систему координат по формулам, описанным в [7], а затем в геоцентрическую систему координат $(B_{ПЗ}, L_{ПЗ}, H_{ПЗ})$ по формулам, описанным в [8].

Порядок определения истинного звездного времени описан в [9].

Координаты подспутниковой точки P космического средства разведки в геоцентрической системе координат на момент времени экстраполяции t_i рассчитываются по методике, описанной в [6].

Координаты граничных точек зоны разведки рассчитываются для каждого j -го средства разведки, установленного в КСР, на момент времени экстраполяции t_i в геоцентрической системе координат.

Под граничными точками зоны разведки КСР понимаются точки A и B (рисунок 3), лежащие на поверхности Земли, удаленные на расстояние d_A и d_B , соответственно, от подспутниковой точки и принадлежащие дуге, ортогональной вектору полета КСР.

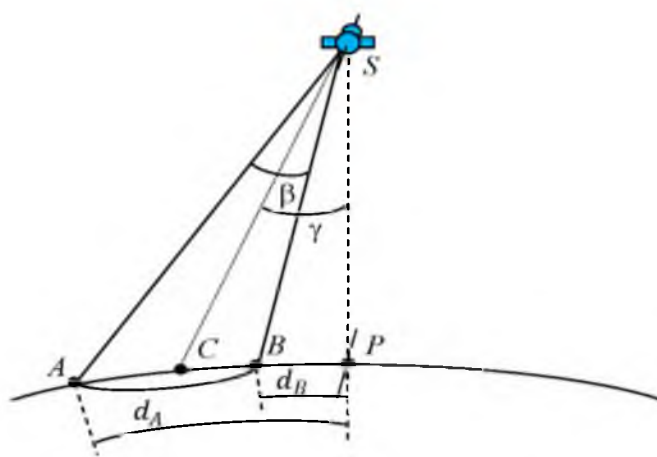


Рисунок 3. – Граничные точки зоны разведки КСР

Расчет координат граничных точек зон разведки КСР на момент времени экстраполяции t_i в геоцентрической системе координат осуществляется последовательно для каждого отдельного j -го средства разведки, размещенного на КСР:

1. Определяется ширина диаграммы направленности для j -го средства разведки [6].
2. Определяются координаты граничной точки A :
 - а) определяется значение угла отклонения поля зрения средства разведки при повороте его визирной оси на максимальный угол по формулам (рисунок 4):

$$\begin{cases} \varphi = \gamma_{\max j} + \frac{\beta}{2}, & \text{при } \gamma_{\max j} \geq 0; \\ \varphi = \gamma_{\max j} - \frac{\beta}{2}, & \text{при } \gamma_{\max j} < 0, \end{cases} \quad (2)$$

где $\gamma_{\max j}$ – угол поворота визирной оси j -го средства разведки на максимальный угол;
 β – угол поля зрения средства разведки, рад;

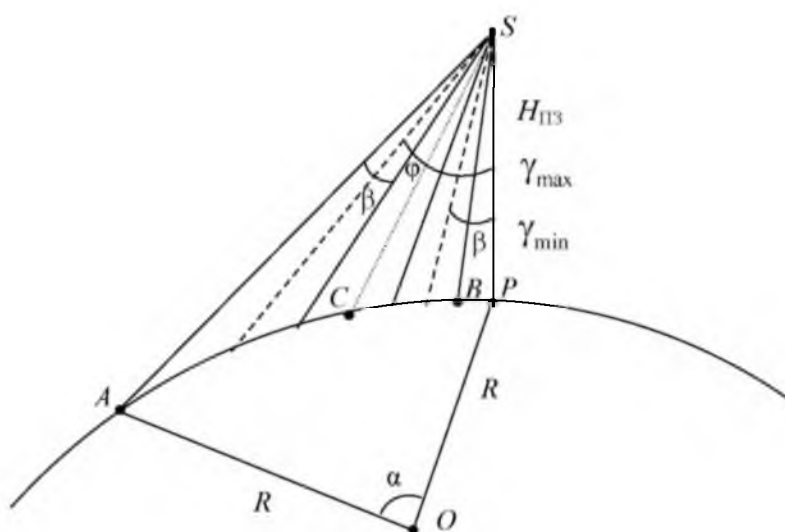


Рисунок 4. – К расчету угла отклонения поля зрения средства разведки при повороте его визирной оси

б) рассчитывается длина дуги отклонения граничной точки A от подспутниковой точки по формуле

$$d = R\left(\pi - \arcsin\left(\frac{R \sin\left(|\gamma_{\max}| + \frac{\beta}{2}\right)}{R + H_{\text{ПЗ}}}\right) - \left|\gamma_{\max}| + \frac{\beta}{2}\right.\right), \quad (3)$$

где R – радиус сферы, $R = 6371,032$ км;

$H_{\text{ПЗ}}$ – геодезическая высота местоположения КСР на момент времени экстраполяции t_i , км;

в) определяются составляющие вектора перемещения от подспутниковой точки в направлении к граничной точке A :

$$\begin{aligned} \dot{B} &= \dot{L}_{\text{ПЗ}} \text{ и } \dot{L}_A = -\dot{B}_{\text{ПЗ}}, \text{ если } \varphi \geq 0; \\ \dot{B} &= -\dot{L}_{\text{ПЗ}} \text{ и } \dot{L}_A = \dot{B}_{\text{ПЗ}}, \text{ если } \varphi < 0, \end{aligned} \quad (4)$$

где $\dot{L}_{\text{ПЗ}}$ и $\dot{B}_{\text{ПЗ}}$ – скорость изменения геодезических долготы и широты местоположения КСР (подспутниковой точки) на момент времени экстраполяции t_i .

Далее устанавливается значение $t_i = 1$ с;

г) рассчитываются координаты промежуточной точки $A1$ по формулам:

$$\begin{aligned} B_{A1}(t_d) &= B_{\text{ПЗ}} + \dot{B}_A t_d; \\ L_{A1}(t_d) &= L_{\text{ПЗ}} + \dot{L}_A t_d, \end{aligned} \quad (5)$$

где $B_{\text{ПЗ}}$ и $L_{\text{ПЗ}}$ – геодезические координаты местоположения КСР (подспутниковой точки) на момент экстраполяции t_i , рад;

\dot{B}_A и \dot{L}_A – скалярные величины составляющих вектора положения граничной точки A относительно подспутниковой точки КСР, рад/с;

t_d – время дискретизации внутри цикла;

д) рассчитывается расстояние l (м) между точкой $A1$ и подспутниковой точкой КСР по формуле сферической тригонометрии [10]:

$$l = R \left[\arccos(\sin B_{\text{ПЗ}} \sin B_{A1} + \cos B_{\text{ПЗ}} \cos B_{A1} \cos(L_{A1} - L_{\text{ПЗ}})) \right]; \quad (6)$$

е) если значение $l \geq d$, то сохраняются координаты

$$\begin{aligned} B_A &= B_{A1}(t_d); \\ L_A &= L_{A1}(t_d), \end{aligned} \quad (7)$$

и расстояние от подспутниковой точки до точки A : $d_A = l$, если $\varphi \geq 0$, и $d_A = -l$, если $\varphi < 0$. В противном случае $t_i = t_i + \Delta t$ и осуществляется переход к пункту z .

3. Определяются геодезические координаты (B_B, L_B) граничной точки B .

Вначале рассчитывается значение угла отклонения поля зрения средства разведки при повороте его визирной оси на минимальный угол $\gamma_{\min j}$ по формулам:

$$\begin{cases} \varphi = \gamma_{\min, j} - \frac{\beta}{2}, & \text{при } \gamma_{\min, j} \geq 0; \\ \varphi = \gamma_{\min, j} + \frac{\beta}{2}, & \text{при } \gamma_{\min, j} < 0. \end{cases} \quad (8)$$

Затем расчет осуществляется по формулам пунктов б–е для нахождения координат граничной точки A .

Расчет времени начала ($t_{\text{нач}}$) и конца ($t_{\text{кон}}$) нахождения позиций подразделений ПВО в полосе разведки космического спутника может быть построен на следующих принципах (рисунок 5):

определяется момент времени t_n , для которого расстояние между подспутниковой точкой P и местоположением позиции подразделения ПВО будет минимальным;

с использованием данных о ширине зоны разведки КСР принимается решение о попадании или не попадании в нее местоположения позиции подразделения ПВО в момент времени t_n ;

при попадании местоположения позиции подразделения ПВО в зону разведки в момент времени t_n осуществляется определение времени $t_{\text{нач}}$ и $t_{\text{кон}}$ с использованием данных о размере зоны разведки на текущей высоте полета КСР и средней скорости перемещения подспутниковой точки, которая рассчитывается с фиксированной дальности, зависящей от размеров зоны разведки;

расчеты проводятся для всех средств разведки, установленных на КСР.

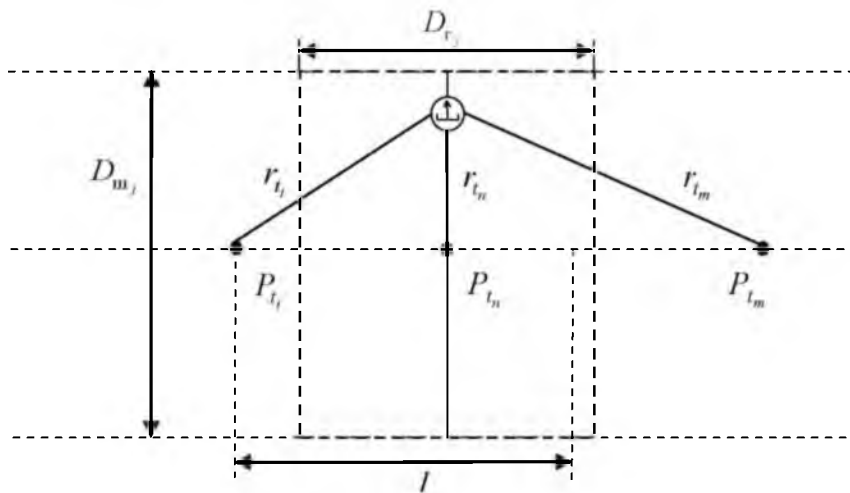


Рисунок 5. – К расчету времени начала и времени конца нахождения местоположения подразделения ПВО в зоне разведки КСР

Непосредственно расчет времени начала и конца нахождения позиций подразделений ПВО в полосе разведки космического спутника производится в указанной последовательности:

1. Рассчитывается расстояние от подспутниковой точки КСР до местоположения подразделения ПВО в момент времени экстраполяции t_i по формуле сферической тригонометрии [10]:

$$r = R \left[\arccos(\sin B_T \sin B_{\text{ПВО}} + \cos B_T \cos B_{\text{ПВО}} \cos(L_{\text{ПВО}} - L_T)) \right], \quad (9)$$

где R – средний радиус Земли, $R = 6371,032$ км;

B_T , L_T – геодезические координаты местоположения КСР (подспутниковой точки) на момент экстраполяции t_i , рад;

$B_{\text{ПВО}}, L_{\text{ПВО}}$ – геодезические координаты местоположения подразделения ПВО, рад.

2. Рассчитывается расстояние от подспутниковой точки КСР в момент времени экстраполяции t_{i-1} до подспутниковой точки КСР в момент времени экстраполяции t_i , которое определяется по формуле [10]

$$f = R[\arccos(\sin B_T \sin B_{T1} + \cos B_T \cos B_{T1} \cos(L_{T1} - L_T))], \quad (10)$$

где B_{T1}, L_{T1} – геодезические координаты подспутниковой точки КСР в момент времени экстраполяции t_{i-1} , рад.

3. Проверяется выполнение условия $r < d + \Delta d$.

Если условие выполняется, то КСР приближается к местоположению подразделения ПВО, в противном случае – удаляется.

4. Проверяется выполнение условия

$$r \leq 0,5\sqrt{\max D_{\text{ш}}^2 + \max D_{\text{г}}^2},$$

где $D_{\text{ш}}, D_{\text{г}}$ – ширина и глубина зоны разведки j -го средства разведки, размещенного на КСР, км.

Если условие выполнилось в первый раз, то рассчитывается начальная скорость перемещения подспутниковой точки по формуле

$$\mathfrak{g}_{\text{от}} = \frac{f_i - f_{i-1}}{t_i - t_{i-1}}, \quad (11)$$

где f_i, f_{i-1} – расстояние между подспутниковыми точками на моменты времени экстраполяции t_i и t_{i-1} .

Если условие уже выполнялось на момент времени экстраполяции, то рассчитывается среднее ускорение перемещения подспутниковой точки с момента фиксации $\mathfrak{g}_{\text{от}}$:

$$\mathfrak{g}_{\text{ср}} = \frac{\sum_{k=1}^n \mathfrak{g}_k}{n}.$$

Если условие не выполняется, то осуществляется переход к пункту 5.

5. Проверяется выполнение условия $r < d$.

Если условие не выполняется, то устанавливается $\Delta d = 0$ и организуется цикл, в котором проверяется условие попадания местоположения подразделения ПВО в зону разведки j -го средства разведки по формуле

$$R[\arccos(\sin B_C \sin B_{\text{ПВО}} + \cos B_C \cos B_{\text{ПВО}} \cos(L_{\text{ПВО}} - L_C))] < \frac{d_{\text{зр}}}{2}, \quad (12)$$

где B_C, L_C – геодезические координаты серединной точки дуги между граничными точками A и B (см. рисунок 3) j -го средства разведки на момент времени экстраполяции t_i , рад;

$d_{\text{зр}} = d_A - d_B$ – ширина зоны разведки j -го средства разведки КСР на момент времени экстраполяции t_i (см. рисунок 3), км.

В случае выполнения условия (12) рассчитываются время начала и время конца нахождения позиций подразделений ПВО в полосе разведки каждого j -го средства разведки, установленного на КСР, по формулам:

$$t_{\text{нач}} = t_i - t_{1j} - \Delta t;$$

$$t_{\text{кон}} = t_i - t_{1j} - \Delta t,$$

где t_i – время, на которое экстраполируется (прогнозируется) местоположение КСР на данном такте алгоритма;

t_{1j} – время пролета КСР расстояния, равного половине глубины зоны разведки j -го средства разведки;

Δt – параметр коррекции вычисления за счет неточности определения скорости и местоположения КСР.

В противном случае местоположение подразделения ПВО не попадает в зону разведки j -го средства разведки и расчет времени для этого средства разведки не производится.

6. Проверяется выполнение условия:

$$\begin{cases} t_i < \Delta D \cdot 24 \cdot 60 - (t_{\text{изм}} - t_k), & \text{если } t_{\text{изм}} \geq t_k; \\ t_i < \Delta D \cdot 24 \cdot 60 + (t_k - t_{\text{изм}}), & \text{если } t_{\text{изм}} < t_k, \end{cases}$$

где t_k – суточное время окончания прогнозирования полета КСР, мин;

$t_{\text{изм}}$ – измеренное время полета КСР, мин;

ΔD – количество дней между моментами времени измерения и прогнозирования полета КСР.

Если условие не выполняется, то расчет времени начала и конца нахождения позиций подразделений ПВО в полосе разведки космического спутника завершается.

Таким образом, предлагаемый подход к определению времени нахождения подразделений ПВО в зоне наблюдения космических средств разведки позволит выработать мероприятия по противодействию средствам разведки противника путем снижения вероятности разведки активных средств ПВО, что обеспечит живучесть подразделений ПВО обороняющейся стороны.

Список литературы

1. Кондрашов, А. Загадки космической разведки / А. Кондрашов // Аргументы недели. – 2014. – 10 апр. – С. 7.
2. Война в космосе как предчувствие [Электронный ресурс] / И. Бармин [и др.]. – М., 2013. – Режим доступа : <http://www.vpk-news.ru/articles/17140>.
3. Романов, Н. Военная космическая разведка США в современных локальных конфликтах [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа : <http://www.navoine.info/wars.html>.
4. Неупокоев, Ф. К. Противовоздушный бой / Ф.К. Неупокоев. – М.: Воениздат, 1989. – 262 с.
5. Видуто, В. В. Имитация. Взгляд на проблему [Электронный ресурс] / В. В. Видуто, В. Г. Кириллов. – М., 2006. – Режим доступа : <http://www.npo-sm.ru/info/arm8.html>.
6. Колодяжный, В. Методический подход к определению временных параметров нахождения наземных объектов в зоне наблюдения ИСЗ / В. Колодяжный, А. Посудевский, А. Пальцев // Новости науки и технологий. – 2014. – № 3–4. – С. 61–67.

7. Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАС. Интерфейсный контрольный документ. Навигационный радиосигнал в диапазонах L1, L2 (редакция 5.1)/ Российский науч.-исследоват. ин-т. космич. приборостроения. – М., 2008.

8. Глобальные навигационные спутниковые системы. Системы координат. Методы преобразования координат определяемых точек: ГОСТ Р 51794-2008.

9. Гиенко, Е. Г. Геодезическая астрономия: учеб. пособие / Е. Г. Гиенко, В. Ф. Канушин. – Новосибирск : СГГА, 2003.

10. Степанов, Н. Н. Сферическая тригонометрия / Н. Н. Степанов. – Л. : ОГИЗ, 1988.

*Сведения об авторах:

Колодяжный Валерий Владленович.

Драгун Владимир Ричардович.

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Посудевский Александр Андреевич.

Пальцев Александр Николаевич.

ОКБ ТСП.

Статья поступила в редакцию 01.09.2016 г.

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СПОСОБОВ ВЕДЕНИЯ БОЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ ВОЙСКОВЫМИ ФОРМИРОВАНИЯМИ ТАКТИЧЕСКОГО УРОВНЯ В ХОДЕ СОВРЕМЕННЫХ ВОЕННЫХ КОНФЛИКТОВ

Г. В. Лепешко; А. В. Майборода; С. В. Попов, кандидат военных наук, доцент*

В статье на основе анализа характера и содержания военных конфликтов современности рассматриваются тенденции развития способов ведения боевых действий войсковыми формированиями тактического уровня.

In article on the basis of the analysis of character and content of the military conflicts of the present tendencies of development of ways of conducting combat operations by army formations of tactical level are considered.

В успешном разрешении современных военных конфликтов существенно возросла роль войсковых формирований тактического уровня. Об этом убедительно свидетельствует анализ опыта военного противоборства последних десятилетий, а также содержание доктринальных документов ведущих зарубежных государств [1].

При этом в условиях изменения характера и содержания вооруженной борьбы способы ведения боевых действий тактическими формированиями постоянно развиваются и наполняются новым содержанием. Поэтому их изучение и своевременная реализация в практике подготовки войск – закономерный процесс.

Эволюция способов ведения боевых действий является следствием непрерывного развития средств вооруженной борьбы, изменения характера и содержания боевых действий, а также целей и задач применения в них войсковых формирований тактического уровня.

Появление на оснащении армий все более эффективных и разнообразных видов оружия ведет к постоянному совершенствованию способов ведения основных видов боя – обороны и наступления, которое направлено на разрешение противоречий между возрастающими возможностями ударных средств поражения и существующими средствами защиты, между позиционностью и маневренностью, внезапностью и контрвнезапностью действий [2]. Вместе с тем участие в значительной части вооруженных конфликтов современности субъектов противоборства с несопоставимым военным потенциалом обусловило развитие «нетрадиционных» способов ведения боевых действий.

Если в ходе минувших мировых войн тактика формировалась применительно к противоборству примерно равноценных армий, оснащенных соответствующими по своему боевому потенциалу вооружением и боевой техникой, то современная тактика должна быть еще более гибкой, отвечать условиям ведения различных типов военных конфликтов, ориентирована на борьбу против разных противников. В одном случае это могут быть высоко технически оснащенные, хорошо подготовленные войска, в другом – обладающие количественным превосходством, в третьем – уступать в боевых возможностях, но иметь преимущество в ведении партизанских действий [3].

Данный вывод подтверждается и анализом трансформации взглядов военно-политического руководства западных государств на способы развязывания агрессии и применения военной силы. Суть ее заключается в том, что, наряду с дальнейшим развитием форм и способов ведения «классических» межгосударственных военных конфликтов, развиваются «нетрадиционные» формы применения силы, в том числе военной, реализуются концепции и механизмы по свержению неугодных правительств путем провоцирования «цветных революций» и внутренних вооруженных конфликтов, используемых для обоснования необходимости применения военной силы и проведения силовых операций. Свидетельством практической реализации данных концепций являются

военные конфликты в Чечне, Тунисе, Египте, Ливии, Сирии, Грузии, Киргизии, Украине и ряде других государств.

Именно эти тенденции учтены в новой редакции Военной доктрины Республики Беларусь, утвержденной Законом Республики Беларусь от 27 июля 2016 г., где военные конфликты классифицированы как три вида войн – крупномасштабные, региональные и локальные – и два вида вооруженных конфликтов – международные и внутренние [4]. При этом вопросам предотвращения и пресечения внутреннего вооруженного конфликта в новой доктрине отводится первостепенная роль.

Важнейшим дестабилизирующим фактором в разжигании такого конфликта продолжают оставаться незаконные вооруженные формирования (НВФ). Решая задачи, как правило, на тактическом уровне, они являются инструментом достижения стратегических политических целей по изматыванию противника, воздействию на сознание военно-политического руководства страны, внутреннее и международное общественное мнение и в конечном счете по созданию предпосылок и условий для ввода контингента войск иностранных государств под предлогом проведения различного рода миротворческих операций.

По опыту последних внутренних вооруженных конфликтов для достижения указанных целей акцент в применении НВФ сместился к действиям в городах и административных центрах, на объектах коммуникаций и дорожных направлениях. Прямое следствие этой тенденции – существенное совершенствование организации, оснащения и подготовки НВФ.

Следует отметить, что с проблемой борьбы с НВФ сталкивались и сталкиваются по сей день большинство развитых в военном отношении государств, таких как США и другие государства НАТО, Израиль, Австралия, СССР, Российская Федерация. Сегодня сложились достаточно устойчивые взгляды на способы применения тактических формирований в ходе внутреннего вооруженного конфликта и тенденции их развития.

Богатый опыт военных конфликтов показал, что для успешного противодействия постоянно меняющейся тактике боевиков наиболее приспособленной и эффективной является отрядно-групповая тактика, соответствующая децентрализованному принципу использования сил и средств и очаговому характеру боевых действий. Впервые этот опыт нашел отражение в принятом в Австралии доктринальном документе «Комплексные боевые действия», где была обоснована необходимость подготовки войск (сил) к действиям в условиях растущей неопределенности в составе автономных групп малой численности. Положения этого документа были успешно апробированы австралийскими военнослужащими в ходе ведения борьбы против НВФ в Афганистане, Восточном Тиморе, Ираке и на Соломоновых островах [5].

Развитию идеи применения небольших по численности, но высокоманевренных соединений послужило принятие в Великобритании документов «Перспективная концепция наземных операций» и «Противодействие массовым беспорядкам, мятежам, преступности и терроризму». Они вобрали в себя обобщенный опыт, полученный британскими вооруженными силами в ходе участия в операциях в Сьерра-Леоне, Афганистане и Ираке, а также при урегулировании внутренних кризисов, прежде всего ирландского [5].

В корпусе морской пехоты вооруженных сил США, принимавшем активное участие в операциях в Афганистане и Ираке, реализована инициатива, касающаяся разработки концепции «распределенных операций». Документ предусматривает применение небольших по численности боевых групп, опирающихся на общую систему космической, авиационной, наземной разведывательной и огневой поддержки с малым временем реакции в структуре единой системы управления, что обеспечивает их гибкое и оперативное перенацеливание на внезапно возникающие в зоне конфликта задачи [5].

Во время боевых действий советских войск в Афганистане сформировались отрядно-групповые способы подготовки и ведения разведывательно-боевых, ударно-штурмовых

действий в горах, населенных пунктах, лесу, городе и на равнине, в ходе рейдовых и обходящих действий [5].

Опыт ведения боевых действий Вооруженными силами Российской Федерации в Чеченской Республике показал, что в действиях федеральных сил при борьбе с НВФ превалировала «отрядная тактика» – действия бригадными (полковыми) и батальонными тактическими группами в назначенных зонах ответственности соединений и воинских частей [5].

Говоря о текущих военных конфликтах, следует отметить, что одно из основных новшеств, которое применяется в последнее время сирийской армией на тактическом уровне, – создание разнородных мобильных групп небольшой численности, способных вести боевые действия в отрыве от баз и основных сил. Именно такие группы проводят операции в пригородах Дамаска, в Алеппо, Хомсе. «Обычная» армия при этом выполняет более свойственные ей задачи – перехватывает дороги, создает блокпосты, проводит общевойсковые операции против скоплений боевиков [6].

Анализ вооруженного конфликта на юго-востоке Украины показывает, что при общем очаговом, эпизодическом характере боевых действий успех операций во многом зависел от результатов боев батальонов, рот и даже взводов, от их высокой тактической выучки. Такая ситуация выявила объективную потребность создания у обеих конфликтующих сторон автономных тактических боевых групп для ведения боевых действий на разобщенных направлениях. Это достигалось включением в состав штатных подразделений (таких как рота, батальон – в зависимости от задач и обстановки) боевых и обеспечивающих сил и средств в количестве, которое позволяло им решать поставленные задачи без дополнительного усиления.

Таким образом, несмотря на то, что взгляды руководства основных стран НАТО и других ведущих мировых государств на применение вооруженных сил в современных конфликтах различаются в деталях, они совпадают по принципиальным вопросам и рассматривают в качестве основного участника боевых действий небольшие по численности автономные соединения и части, мобильные и малоуязвимые, объединенные распределенной системой управления, связи, наблюдения и разведки, предназначенные для борьбы с противником, уклоняющимся от прямых боевых столкновений [5]. Эти формирования могут создаваться по целевому назначению для обеспечения создания гибкого, рассредоточенного боевого порядка, приспособленного для действий не только на открытой, но и на пересеченной местности, в населенных пунктах. Основными способами их действий будут являться разведывательно-поисковые, рейдовые, блокирующие, штурмовые действия, обход, охрана коммуникаций, боевое сопровождение автоколонн и т. п. Основу отрядов (сводных тактических групп) могут составлять механизированные батальоны (мср), а их тактическую и огневую автономность может обеспечить усиление батальонов (рот) танковыми, артиллерийскими, инженерными и огнеметными подразделениями. Помимо сводных тактических групп и отрядов, новыми элементами боевого порядка соединений и частей в вооруженном конфликте могут быть войсковые маневренные, ударно-огневые, истребительные, противодиверсионные, вертолетно-рейдовые группы, бронегруппы и подвижные группы минирования на вертолетах.

Новым и нетрадиционным способом борьбы с НВФ в передовых государствах мира считается использование малогабаритных роботов и необслуживаемых систем и средств скрытного контроля обстановки для ведения разведки и уничтожения противника [5]. По мнению зарубежных военных специалистов, применение таких средств в сочетании с ведением всех видов разведки будет способствовать получению командирами тактических формирований полной картины обстановки в зоне ответственности, а применение на основе получаемой информации боевых роботизированных комплексов и беспилотных летательных аппаратов позволит повысить эффективность огневого поражения НВФ, в том числе в труднодоступной местности и населенных пунктах. Кроме того, считается, что

использование такого способа менее затратно с экономической точки зрения по сравнению с применением для разведки и поражения противника традиционных сил и средств.

Второй вид военных конфликтов, в которых могут участвовать войсковые формирования тактического уровня, – это конфликты с участием регулярных воинских формирований, где находят свое развитие «классические» формы и способы ведения боевых действий.

Рассматривая тенденции развития способов действий воинских формирований тактического уровня в таких конфликтах, следует, наверное, в первую очередь обратиться к взглядам на эти вопросы военного руководства США, которые в последнее время претерпели определенные изменения.

В соответствии с концепцией «единой наземной операции», принятой в 2011 г., предполагается, что в условиях войн и вооруженных конфликтов низкой и средней интенсивности необходимости в развертывании крупных войсковых соединений и объединений постоянного состава нет [7]. По оценкам американских военных экспертов, никакое формирование с жестко определенной организационно-штатной структурой не может удовлетворять требованиям проведения различных видов операций (боевых действий), а для ведения решительных действий командующий (командир) должен иметь возможность формировать объединение (соединение) требуемой комбинации [8].

Боевые бригады, включающие разнородные силы и средства, становятся ключевыми элементами маневренных сухопутных войск.

Вследствие такой реорганизации сухопутные войска могут участвовать в «единой наземной операции» посредством ведения решительных действий, сочетающих наступление, оборону и стабилизацию [9].

В полевых уставах армии США наступление рассматривается как наиболее активная решительная фаза действий. Она направлена на парализацию регулярных войск противника, действия в высоком темпе на большую глубину в целях овладения важными объектами в тактическом и оперативном плане, лишения противника маневра, разгрома отступающих группировок. В ходе наступления войска должны стремиться взять под контроль ключевые населенные центры с их инфраструктурой и ресурсами, а также коммуникации. По мнению американских военных специалистов, потеря ключевых районов делает бессмысленным и непродолжительным сопротивление противника, а потеря коммуникаций лишает его возможности маневра и восполнения материальных средств [10].

Уставы обязуют командиров любых уровней в ходе наступления избегать прямых боевых столкновений своих подразделений с обороняющимся противником, умело используя условия местности, время года, суток, атаковать только его слабые места: фланги, стыки и тыл [10].

В основу боевых действий закладывается поэтапное поражение противника, начиная с дальних рубежей и заканчивая моментом приближения для непосредственного контакта с ним, с таким расчетом, чтобы минимизировать свои потери, уничтожить противника до вхождения войск в радиус разведки и поражения его огневых средств.

Оборонительные действия воспринимаются как второстепенные, поэтому военное руководство США не уделяет особого внимания серьезной проработке каких-либо перспективных разновидностей таких действий. обороной обеспечиваются блокирование противника и контроль за развитием или возможным изменением обстановки.

Стабилизирующими действиями предполагается нейтрализовать сопротивление, взять обстановку под контроль и завершить активную фазу боевых действий [10].

Учитывая эти взгляды, а также современный опыт войн и вооруженных конфликтов, для обороняющейся стороны формируется тенденция необходимости отхода от канонов классической обороны, перехода к активным формам действий, реализация которых лежит в плоскости совмещения классических и «асимметричных» способов. Важнейшим условием эффективности проведения «асимметричных» способов действий является точное определение наиболее уязвимых и слабых мест противника, воздействие на которые даст

максимальный эффект при минимальных затратах собственных сил и ресурсов. Однако самое главное при этом – соблюдать принцип активности в действиях, независимо от того, какой применяется вид боевой деятельности – оборона или наступление.

Так, на этапе нанесения противником огневого поражения обороняющимся силам основным способом действий тактических воинских формирований должно быть выполнение мероприятий по обеспечению живучести в сочетании с ведением борьбы с диверсионно-разведывательными группами противника и НВФ.

При ведении боя в назначенной полосе обороны формой применения тактических воинских формирований в тактической и оперативной зонах обороны может быть, например, маневренный бой (боевые действия) в рассредоточенных боевых порядках, а одним из возможных способов действий – растягивание боевого порядка противника удержанием выгодных направлений, ключевых населенных пунктов, объектов коммуникаций с последовательным нанесением ему максимального поражения. Этот способ предполагает следующие усовершенствованные приемы и методы действий тактических формирований.

В передовой полосе (полосе обеспечения) оборону целесообразно вести способом сдерживающих действий силами передовых отрядов. В целом по динамике применения сил и средств сдерживающие действия похожи на ведение маневренной обороны. Однако имеются и значительные отличия. Прежде всего глубина отхода подразделений будет составлять не 8–12 км, как при ведении маневренной обороны, а 3–4 км в зависимости от конкретных условий местности. В связи с этим отпадает необходимость выхода подразделений в районы сбора, формирования колонн и их движения на очередной рубеж под прикрытием арьергардов или подразделений прикрытия. Вследствие маневра на менее удаленные рубежи он будет осуществляться, как правило, в боевых и предбоевых порядках при сохранении постоянного соприкосновения с противником, тем самым нивелируя его техническое превосходство.

Важная тенденция развития сдерживающих действий – подготовка и применение новых способов засадных действий. Анализ опыта последних военных конфликтов показал, что засады в обороне наиболее эффективны тогда, когда применяются по определенной системе. Важнейший из путей совершенствования засадных действий – ведение их в единой системе, по единому замыслу, организация и поддержание при их осуществлении взаимодействия и управления. Одной из особенностей совершенствования засадных действий в обороне является их многократное применение даже в одном бою. Поэтому при организации боевых действий для каждой засады должны выбираться сразу несколько мест расположения, назначаться несколько огневых позиций, определяться скрытые от противника маршруты выхода из боя или смены позиции. Типы, количественный и качественный состав засад целесообразно определять исходя из возлагаемых на них задач. Состав засад может колебаться от мотострелкового отделения (танка, БМП) до усиленного мотострелкового взвода или роты. Эффективность засадных действий может значительно возрасти при привлечении в их состав не только мотострелковых, танковых и стрелковых подразделений территориальных войск (ТВ), но и боевых вертолетов, зенитных комплексов, расчетов ПТРК, а в перспективе и робототехники.

Удержание выгодных направлений главными силами тактического формирования в отличие от удержания позиций и рубежей должно обеспечить срыв выполнения задач боевыми бригадными группами по их захвату, а в сочетании с использованием развитой системы заграждений и создание условий для сковывания главных сил противника и перехода части его сил от наступления к этапу стабилизации, а по сути дела к обороне.

Большое значение в предотвращении обхода и охвата противником обороняющихся имеет ведение обороны в промежутках между удерживаемыми направлениями. В этом пространстве на широком фронте возможно применение такого способа действий, как ведение рассредоточенной обороны, создаваемой по очаговому принципу с учетом проходимости местности. Он предполагает отказ от линейно занимаемых позиций и переход к обороне силами небольших боевых групп. Основу обороны могут составлять сеть узлов

сопротивления и опорных пунктов, подвижных заслонов, засад, огневых мешков, кочующих огневых точек. Устойчивость рассредоточенной обороны должна обеспечиваться развитой системой инженерных заграждений в сочетании с гибкой системой огня, увязанной с ударами авиации [11].

Повышению активности обороны может способствовать совершенствование способов рейдовых действий, а также боевые действия в тылу противника формированиями сил специальных операций и ТВ. Расчеты, проведенные российскими учеными, показывают, что при выводе в тыл противника всего шести процентов своих сил для действий специальными способами противоположная сторона будет вынуждена привлечь для борьбы с ними до трети своих сил и средств.

Для повышения эффективности боевого применения рейдовых действий предлагается применять их комплексно, используя различные способы их ведения, например: огонь артиллерии в сочетании с налетом; засады в сочетании с налетом; диверсии в сочетании с ударом авиации и налетом и др.

Еще одним направлением повышения эффективности рейдовых действий может стать создание рейдовых формирований нетрадиционного состава, т. е. специально подготовленных ударно-боевых групп (УБГ). Действуя главным образом ночью на территории, занятой противником, например в полосе обеспечения после ее преодоления противником, каждая из таких УБГ, меняя место засады или диверсии по 2–3 раза за ночь, способна уничтожить до 3 объектов противника типа танк, БМП, БТР, элемент системы ВТО, КШМ, машину с боеприпасами и т. п. УБГ могли бы и после отхода передового отряда оставаться на некоторое время в тылу противника и проводить диверсии. Для повышения их живучести и длительности действий в предполагаемом районе целесообразно устраивать заранее сеть бункеров с запасами боеприпасов, взрывчатых веществ, средств связи, продовольствия, медикаментов, оборудовать места отдыха.

Применяя такие способы действий, тактические формирования будут иметь возможность повысить эффективность использования своего вооружения, задействовать его в максимальном количестве для отражения наступления с любого направления, постоянно навязывать противнику ближний бой, тем самым нивелируя его техническое превосходство. В то же время рассредоточение подразделений в сочетании с инженерным оборудованием и выполнением мероприятий тактической маскировки позволит снизить возможные потери от дальнобойных средств поражения противника.

Таким образом, проведенный анализ тенденций развития способов боевых действий войсковыми формированиями тактического уровня свидетельствует о повышении их роли в современных военных конфликтах. Опыт и условия их ведения наглядно подтверждают, что для противодействия постоянно меняющейся тактике противника наиболее приспособленными и эффективными являются способы действий отрядно-групповой тактики. Успех современных боевых действий во многом зависит от наличия и подготовленности автономных тактических боевых групп в составе от взвода до батальона, способных вести боевые действия на разобщенных направлениях.

Система боевой подготовки тактических боевых групп должна быть направлена на обеспечение их готовности к участию в различных типах военных конфликтов, при этом первостепенное внимание необходимо уделять одиночной подготовке всех категорий военнослужащих, а также слаженности действий разнородных подразделений в составе тактических групп.

Основные усилия в подготовке командиров тактического звена необходимо сосредоточить на выработке практических навыков и самостоятельности при управлении боем, особенно огнем, организации взаимодействия с соседями, артиллерией, авиацией и подразделениями других силовых ведомств.

Хочется отметить, что в рамках данной статьи были обозначены только основные тенденции развития способов действий войсковых формирований тактического уровня в современных условиях, с учетом их широкого спектра, начиная от отделения и заканчивая

соединением. Поэтому рассмотренные вопросы требуют дальнейшего широкого изучения по каждому уровню формирований, а совершенствуемые и вырабатываемые способы их применения – практической апробации в ходе мероприятий оперативной и боевой подготовки.

Список литературы

1. Донсков, Ю. Е. К вопросу о защите тактических воинских формирований в операции (бою) / Ю. Е. Донсков, В. А. Татарчуков, А. В. Загорудько // Воен. мысль. – 2006. – № 3. – С. 16–20.
2. Воробьев, И. Н. Тенденции развития тактики [Электронный ресурс] / И. Н. Воробьев, В. А. Киселев. – Режим доступа: <http://www.oboznik.ru/?p=41497>. – Дата доступа: 18.08.2016.
3. Воробьев, И. Н. Современная тактика. Системологический анализ ее состояния и тенденций развития [Электронный ресурс] / И. Н. Воробьев, В. А. Киселев. – Режим доступа: <http://www.avnrf.ru/index.php/publikatsii-otdelenij-avn/nauchnykh-otdelenij/voennogo-iskusstva/232-sovremennaya-taktika-sistemologicheskij-analiz-ee-sostoyaniya-i-tendentsij-razvitiya>. – Дата доступа: 16.08.2016.
4. Об утверждении Военной доктрины Республики Беларусь: Закон Респ. Беларусь от 20 июля 2016 г. № 412-3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.mil.by/ru/military_policy/doktrina/. – Дата доступа: 5.10.2016.
5. Асимметрия в вооруженном противоборстве. Аналитический материал НИИ ВС РБ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://jsulib.ru/Lib/Articles/001/629/>. – Дата доступа: 18.08.2016.
6. Киселев, В. А. Некоторые формы и способы ведения боевых действий в Сирии / В. А. Киселев, Г. А. Письменский, В. Н. Попов // Арм. сб. – 2016. – № 2. – С. 15–24.
7. Army doctrine reference publication ADRP 3-0. Unified Land Operations. – May, 2012. – 104 p.
8. Field manual interim FMI 3-0.1. Modular force. – Jan., 2008. – 138 p.
9. Сатаров, В. Развитие форм и способов боевых действий сухопутных войск США / В. Сатаров, Н. Балухов // Зарубеж. воен. обозрение. – 2012. – № 1. – С. 40–44.
10. Богодель, А. П. Анализ взглядов командования армии США на применение модульных сил в ходе решительных действий / А. П. Богодель, В. М. Булойчик, В. И. Гринюк // Сб. науч. ст. ВА РБ. – 2013. – № 25. – С. 3–11.
11. Воробьев, И. Н. Новый виток в развитии тактики / И. Н. Воробьев // Воен. мысль. – 2001. – № 2. – С. 15–23.

*Сведения об авторах:

Лепешко Геннадий Владимирович.

Майборода Александр Владимирович.

Попов Сергей Викентьевич.

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 07.09.2016 г.

АНАЛИЗ СОЦИАЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ НАСЕЛЕНИЕМ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Д. П. Лямин*

Статья посвящена социально-психологическим аспектам формирования социального восприятия и, как следствие, имиджа государственных институтов. Автором освещены пути коррекции социального восприятия данных объектов при помощи направленного психологического воздействия на социальные установки.

The article is devoted to socio-psychological aspects in the formation of social perception and, as a consequence, the image of state institutions. The author highlights the ways of correction of social perception of object using a directed psychological impact on attitudes.

В настоящее время, в период обострения международной обстановки и перехода к многополярному мироустройству, значительное внимание со стороны органов государственного управления практически любой страны уделяется вопросам формирования имиджа основных институтов власти и силовых структур. Активная позиция на мировой арене Российской Федерации в противовес политике, проводимой США, предполагает возникновение и эскалацию напряженности в мире и, как следствие, активизацию психологического воздействия на население стран, находящихся в сфере интересов этих двух крупнейших акторов международных отношений. В широком смысле психологическое воздействие на граждан противоборствующих государств в целях достижения каких-либо политических, экономических и иных целей принято называть психологической войной. Данный вид психологического воздействия некоторые политологи называют войной нового поколения – информационно-психологической, в которой боевые действия играют подчиненную сервисную роль, а план вооруженной кампании строится по правилам и в соответствии со сценарием пиар-воздействия на граждан [1, с. 12].

В связи со складывающейся ситуацией одним из приоритетных направлений в сфере обеспечения национальной безопасности Республики Беларусь является информационная безопасность – состояние защищенности сбалансированных интересов личности, общества и государства от внешних и внутренних угроз в информационной сфере [2, п. 4]. Согласно Концепции национальной безопасности Республики Беларусь, информационная сфера превращается в системообразующий фактор жизни людей, обществ и государств, усиливается роль и влияние средств массовой информации и глобальных коммуникационных механизмов на экономическую, политическую и социальную ситуацию [2, п. 5]. Иными словами, мы можем наблюдать смещение акцентов в области политики урегулирования международных конфликтов с военных способов (вооруженного вмешательства) на так называемые нелетальные (информационные либо психологические) способы воздействия на противника [3, с. 19].

На первом этапе основной задачей скрытых информационно-психологических атак является изменение социального восприятия населением ключевых объектов, оказывающих влияние на внутривнутриполитическое равновесие в стране. В этих условиях особое внимание при обеспечении информационной безопасности любого государства уделяется вопросам формирования (или защиты) восприятия населением институтов государственной власти и силовых структур. Поэтому в последние десятилетия повышенный интерес и практическую значимость представляет изучение социального восприятия как психологического феномена, а также механизма его формирования и способов воздействия на различные социальные группы для его коррекции. Данными вопросами в отечественной психологии занимались

доктор философских наук Г. М. Андреева, доктор психологических наук, профессор Я. Л. Коломинский, доктор психологических наук, профессор Л. А. Пергаменщик и др.

Вооруженные Силы Республики Беларусь (ВС РБ) как основной компонент военной организации государства предназначены для гарантированного решения задач военной безопасности в мирное время и обеспечения вооруженной защиты суверенитета и территориальной целостности, а также достижения политических целей в военном конфликте в военное время [4, п. 38]. Вне сомнения, снижение имиджа данного социального объекта среди населения является первоочередной целью психологического воздействия со стороны противника в ходе вооруженного конфликта или политического противостояния на международной арене. Кроме того, согласно Концепции национальной безопасности Республики Беларусь, один из основных внутренних источников военных угроз для страны – ослабление в обществе чувства патриотизма, готовности граждан к вооруженной защите независимости, территориальной целостности, суверенитета и конституционного строя Республики Беларусь [2, п. 35]. Для снижения, а в дальнейшем и ликвидации данной угрозы необходимо своевременно определять качественную составляющую социального восприятия населением Вооруженных Сил и четко представлять структуру и механизмы формирования (коррекции) данного явления с учетом влияния различных факторов, таких как:

менталитет;

принадлежность к социальной группе и преимущественная возрастная категория членов группы;

барьеры восприятия и причины их возникновения.

Для поиска путей повышения престижа армии как социального института нужно изучить особенности восприятия ВС РБ современной молодежью, принадлежащей к различным социальным группам, и выявить факторы, влияющие на формирование социальных установок.

Для диагностики качественных показателей социального восприятия в целях дальнейшей ее коррекции в первую очередь видится целесообразным представить данный феномен как совокупность составляющих, подлежащих изучению, оценке и воздействию.

Впервые понятие социального восприятия (социальной перцепции) ввел американский психолог Дж. Брунер в 1947 г. и определил это явление как «влияние социальных или личностных факторов на процесс восприятия, к которым могут относиться мотивация, установки, ожидания, влияние группы» [5, с. 25]. Исходя из формулировки наиболее важным компонентом социального восприятия являются ожидания, а воздействие на качественные изменения данных составляющих можно осуществлять посредством воздействия на мотивационную сферу личности.

Социальные ожидания – это субъективные ориентации (совокупность социальных установок, элементов знаний, стереотипов поведения, оценок, убеждений, намерений), разделяемые членами социальной группы (или общества в целом) относительно социального объекта или явления [6]. Следовательно, для изучения, а в дальнейшем целенаправленного воздействия на ожидания членов выбранной социальной группы наибольшее внимание следует уделить такому феномену, как социальная установка, которая подразумевает общую ориентацию человека на тот или другой социальный объект, предшествующая действию и выражающая предрасположенность действовать определенным образом относительно данного объекта [7, с. 339]. Социальная установка – это базис для формирования социальных ожиданий, а следовательно, и социального восприятия объекта населением, динамический компонент, поддающийся воздействию и изменениям в сравнительно короткие временные сроки. Быстрота и устойчивость формирования (качественного изменения) социальных установок личности зависит от ряда факторов, основными из которых являются социальная среда, принятые в обществе (в социальной группе) социальные нормы и ценности, композиция социальной группы, а также источник информационного воздействия и форма доведения сообщения до реципиента. Сюда же можно отнести и индивидуально-психологические особенности личности, однако при воздействии на массовое сознание

группы данный фактор не играет первостепенной роли. Его следует в полной мере учитывать только при работе с информационными лидерами (лидерами мнений), наделенными правом изменения мотивационно-ценностных ориентаций группы (феномен «идиосинкразического кредита») [8, с. 155]. Соответственно, для информационно-психологического воздействия на население в целях формирования либо изменения социальной перцепции ВС как социального института необходимо определиться с целевой аудиторией и выявить наиболее авторитетные источники информации исходя из предпочтений социальной группы. При этом следует учитывать возрастные, гендерные и социально-психологические особенности объектов воздействия.

Согласно теории социальных установок личности, выдвинутой французско-канадским психологом Ж. Годфруа, формирование системы убеждений индивида происходит в период с 20 до 30 лет. К 30 годам установки характеризуются высокой стабильностью, и изменить их крайне трудно [9]. Поэтому наиболее целесообразным видится основное информационное воздействие на аудиторию с возрастным порогом до 30 лет с одновременным формированием у нее повышенной степени доверия к источнику информации. В этот же возрастной период, согласно белорусскому законодательству, лица мужского пола подлежат призыву на срочную военную службу, и от отношения населения к ВС зависит качество поставляемых людских ресурсов и их отношение к исполнению своего воинского долга. Изменение социальных установок большинства активного населения приведет со временем к изменению общественного мнения как компонента общественной психологии о социальном институте, а изменение общественного мнения, основанного на личностных установках индивида, приведет к деформации социального восприятия ВС, особенно в молодежной среде. Именно поэтому изучение социального восприятия и дальнейшее воздействие на его динамические базовые составляющие целесообразно осуществлять среди молодежи (возрастные рамки 17–25 лет).

На формирование социального восприятия объекта оказывает непосредственное влияние социальное окружение и принадлежность личности к определенной социальной группе (социальный опыт индивида). Следует отметить, что существует различная значимость разного рода ценностей для групповой жизнедеятельности, различное их соотношение с ценностями общества. При изучении механизма формирования социальной перцепции с учетом имеющегося социального опыта человека необходимо учитывать различные групповые процессы, нормы и ценности, а также существующие системы групповых санкций больших (а в некоторых случаях и малых) социальных групп, к которым принадлежит большинство населения. Без сомнения, значительное влияние на формирование образа социального мира оказывает место проживания субъекта восприятия – большой город, столица, малый город, деревня [10, с. 186]. Различия в образе жизни деревенского и городского жителя и ценностных приоритетах накладывают отпечаток на социальное положение индивида, его когнитивную составляющую, раскрывающуюся через совокупность всех его социальных связей и, соответственно, влияющую на получаемый им социальный опыт, закреплённый в личностных и социальных установках. Не менее важен в формировании социального восприятия личности уровень образования индивида и, как следствие, его социальный статус.

Для учета этих факторов при проведении исследований наиболее целесообразным видится разделить молодежь указанной категории по следующим критериям:

по территориальному признаку – городские жители (областной или районный центр), жители сельской местности;

по социальному признаку – школьники, учащиеся средних специальных учебных заведений, студенты (в том числе и проходящие обучение на военных кафедрах), работающая молодежь.

Большая роль в формировании социального восприятия отводится источнику информации. Формирование представлений о каком-либо социальном объекте в сознании индивида происходит с того момента, когда данный объект начинает тем или иным образом

оказывать влияние на жизнь человека (либо представлять угрозу для его дальнейшей судьбы). На первом этапе наблюдается процесс накопления теоретических знаний об объекте, получаемых из наиболее авторитетных (либо наиболее доступных) источников информации. Этот процесс можно назвать «фаза получения информации». Если в роли объекта выступают конкретно ВС, то в качестве основных можно рассматривать следующие источники:

- статьи и рассказы, появляющиеся с определенной периодичностью в СМИ (печатные периодические издания, телевидение, радио, Интернет);
- киноиндустрия, включая как художественные фильмы по данной проблематике, так и создание фильмов пропагандистской направленности;
- художественная литература, эпос, народный фольклор;
- рассказы родственников, друзей и знакомых.

При этом к источнику информации предъявляются определенные требования, от которых зависит доверие реципиента, основными из которых являются надежность, профессиональная компетентность, беспристрастность, объективность, бескорыстность [11, с. 24].

Говоря о формировании (коррекции) социальных установок молодежи в отношении ВС, проведенный в одной из областей Российской Федерации социологический опрос показал, что самыми распространенными и авторитетными источниками информации об армии являются:

- для школьников – рассказы преподавателей, родных и друзей, а также знания, полученные в ходе занятий по дисциплине «Основы безопасности жизнедеятельности» (67 % респондентов);

- для студентов – телевидение и Интернет (53 %).

Из других источников информации следует отметить: для школьников – телевидение и Интернет (29 %), периодические издания (4 %), для студентов – рассказы родных и знакомых (29 %), периодические издания (18 %) [12].

Подобные исследования проводились и в нашей стране. Согласно данным исследований, проведенных Информационно-аналитическим центром при Администрации Президента Республики Беларусь в период с 2009 по 2014 г., отмечается снижение численности граждан, использующих традиционные СМИ как источник информации. В большей степени сократились аудитории печатной прессы (с 62,9 до 43,8 %) и радио (с 42,4 до 28,2 %), в меньшей – телевидения (с 91,0 до 85,6 %). Вместе с тем отмечается увеличение числа респондентов, обращающихся за информацией к Интернету (с 24,2 до 53,0 %), в результате чего Глобальная сеть как новостной канал в 2014 г. стала более востребованным источником информации, чем печатные СМИ [13].

Полученные результаты исследований, проведенных как в Республике Беларусь, так и за ее пределами, позволяют выявить наиболее эффективные средства информационного воздействия в зависимости от принадлежности индивида к определенной социальной группе. Можно отметить, что если школьники больше прислушиваются к мнению людей из ближайшего окружения, то студенты предпочитают получать информацию из независимых источников, наиболее авторитетным из которых в настоящее время являются Интернет.

На основании всего вышесказанного можно сделать ряд выводов относительно порядка изучения социального восприятия населением ВС как социального объекта.

1. На первом этапе необходимо изучить социальную структуру современного белорусского общества, выявить социальные группы, оказывающие наибольшее влияние на процесс формирования общественного мнения относительно избранного объекта.

2. Используя метод социологического опроса, изучить социальные установки и ожидания относительно объекта у представителей выявленных социальных групп с учетом таких факторов, как возраст, место проживания и социальный статус.

3. Провести мониторинг СМИ, выявить наиболее авторитетные, обладающие кредитом доверия и отвечающие требованиям компетентности.

В результате проведенных исследований можно сделать вывод о состоянии когнитивной и эмоциональной составляющей социального восприятия (согласно концепции отношения личности В. Н. Мясищева [14]), определить механизм и динамику изменения социальных установок и ожиданий представителей социальных групп относительно объекта. Полученные данные позволят спрогнозировать третью, поведенческую, составляющую восприятия и воздействовать на нее посредством корректировки первых двух.

Процесс формирования социального восприятия ВС РБ молодежью, принадлежащей к различным социальным группам, является базисом для построения модели его коррекции и создания положительного образа ВС.

До настоящего времени в Республике Беларусь не проводилось полномасштабных исследований в области формирования социальных установок к ВС как к государственному институту в молодежной среде. Отсутствие статистических данных и недостаточная изученность социально-психологических особенностей процесса формирования восприятия ВС не позволяет определить эффективные пути коррекции имиджа военной службы. Несмотря на определенную схожесть некоторых политических и социальных процессов, происходивших в Беларуси и России на протяжении последних 10–15 лет, можно с достаточной долей уверенности предположить, что мы будем наблюдать определенные расхождения в результатах исследований в этой области. Это обусловлено рядом факторов, таких как:

различия в законодательной базе, регламентирующей порядок прохождения военной службы;

участие подразделений ВС РФ в вооруженных конфликтах;

многонациональный состав призывного контингента, значительная удаленность мест прохождения военной службы от мест проживания военнослужащих срочной службы;

различия в объемах и порядке финансирования и материально-технического обеспечения ВС двух стран;

различия в социальной и экономической политике Республики Беларусь и Российской Федерации.

Постоянный анализ когнитивного и эмоционального компонента восприятия ВС поможет своевременно выявить негативные изменения базисных установок, позволит наметить пути коррекции социальной перцепции армии как государственного института молодежью призывного возраста из различных социальных групп и реализации механизма повышения престижа армии в современном белорусском обществе.

Список литературы

1. Манойло, А. В. Государственная информационная политика в особых условиях: моногр. / А. В. Манойло. – М.: МИФИ, 2003. – 388 с.
2. Об утверждении Концепции национальной безопасности Республики Беларусь: Указ Президента Респ. Беларусь, 9 нояб. 2010 г., № 575 // Национальный правовой Интернет-портал Респ. Беларусь [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://www.pravo.by/pdf/2010-276/2010-276%28005-026%29.pdf>. – Дата доступа: 21.07.2016.
3. Дудчак, А. В. «Демократическая» война как механизм ненасильственного передела мировых ресурсов: моногр. / А. В. Дудчак, А. Я. Маначинский. – Киев: Золотые ворота, 2011. – 293 с.
4. Об утверждении Военной доктрины Республики Беларусь: Закон Респ. Беларусь, 3 янв. 2002 г., № 74-3 // Национальный правовой Интернет-портал Респ. Беларусь [Электронный ресурс]. – 2008. – Режим доступа: <http://www.pravo.by/main.aspx?guid=3941&p0=2016025001>. – Дата доступа: 21.07.2016.
5. Брунер, Дж. Социальная перцепция (1947 г.) / Дж. Брунер // Межличностное восприятие в группе / ред. Г. М. Андреева, А. И. Донцов. – М.: Литература, 1981. – 146 с.

6. Социальные ожидания. Советский философский словарь // Информационный психологический портал [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <http://www.psyoffice.ru/6-804-ozhidaniya-socialnye.htm>. – Дата доступа: 20.07.2016.
7. Дьяченко, М. И. Психологический словарь-справочник / М. И. Дьяченко, Л. А. Кандыбович, С. Л. Кандыбович. – М.: ИД Куприянова, 2009. – 456 с.
8. Лямин, Д. П. Изменение социальных установок населения в ходе психологической войны / Д. П. Лямин // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2015. – № 4. – С. 154–160.
9. Челдышова, Н. Пособие по социальной психологии / Н. Челдышова // Гуманитарно-правовой портал Psyera [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <http://psyera.ru/2806/socialnaya-ustanovka-lichnosti>. – Дата доступа: 20.07.2016.
10. Андреева, Г. М. Психология социального познания: учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений. – Изд. 2-е, перераб. и доп. / Г. М. Андреева. – М.: Аспект Пресс, 2000. – 289 с.
11. Московичи, С. Социальная психология / С. Московичи. – 7-е изд. – СПб.: Питер, 2007. – 592 с.
12. Шевцов, В. В. Отношение школьников и студентов к военной службе / В. В. Шевцов // Науч. вестн. Тюмен. юрид. ин-та МВД России: сб. науч. тр. – 2006. – № 4. – С. 111–113.
13. Дашкевич, В. О. Медиафера Беларуси. Социологический аспект / В. О. Дашкевич // Информационно-аналитический центр при Администрации Президента Респ. Беларусь [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа: http://iac.gov.by/sbornik/Mediasfera_Belarusi.pdf. – Дата доступа: 24.06.2016.
14. Мясичев, В. Н. Основные проблемы и современное состояние психологии отношений / В. Н. Мясичев // Психологическая наука в СССР. – М.: Изд-во АПН РСФСР, 1960. – Т. II. – С. 110–125.

*Сведения об авторе:

Лямин Денис Петрович,

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 19.09.2016 г.

**ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ
СРЕДСТВ ВОЗДУШНО-КОСМИЧЕСКОГО НАПАДЕНИЯ,
ФОРМ И СПОСОБОВ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ
В ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ВОЙНАХ**

Д. А. Михолап*

В статье рассмотрены тенденции развития средств воздушно-космического нападения, трансформация форм и способов их применения в современных условиях.

The article considers tendencies of development of the means of aerospace attack, transformation of forms and methods of their use in modern conditions.

Военно-политическая обстановка в Европе характеризуется относительной стабильностью. Однако наличие нерешенных противоречий в отдельных регионах не исключает достижение созданными военно-политическими блоками политических целей с применением военной силы (события на Балканах 1998 г.). Политические, территориальные, экономические противоречия, возрастающий дефицит энерго- и биологических ресурсов, наличие радикальных террористических организаций, непрерывная миграция из «третьих стран» в Европу, использование «цветных» революций для смены неугодных режимов при определенных условиях могут послужить причиной применения военной силы и возникновения локальной войны (вооруженного конфликта) в Восточно-Европейском регионе коллективной безопасности.

Ведение войн и вооруженных конфликтов регионального масштаба в Восточно-Европейском регионе коллективной безопасности маловероятно. Главным аргументом безосновательности ведения региональной войны является возможность перерастания ее в крупномасштабную.

Наиболее вероятный вариант разрешения противоречий между сторонами в случае применения военной силы – локальная война (международный вооруженный конфликт), где ведущая роль будет отведена средствам воздушно-космического нападения (СВКН).

Главенство, или приоритет, применения СВКН в случае развязывания вооруженного конфликта определяется исходя из опыта локальных войн и вооруженных конфликтов. Важность и значение завоевания господства в воздухе еще в начале прошлого века отмечал итальянский военный теоретик Джулио Дуэ («Господство в воздухе», «Война в 19...»). И это постоянно подтверждалось на практике с появлением над полем боя авиации [2].

Переломным моментом и началом высокотехнологичных войн можно считать проведение операции «Буря в пустыне» в 1991 г. коалиционными силами во главе с США против Ирака. Современные виды оружия, в первую очередь высокоточное, привели к определенной переоценке их значения. Массированное и разнородное применение высокотехнических средств воздушного нападения, переход от количественных показателей (состав группировки) к качественным (эффективность ударов) привели к трансформации существующих и появлению новых форм и способов их использования. Воздушная наступательная операция (ВНО) с нанесением ряда массированных ракетных авиационных ударов (МРАУ) стала основным «инструментом» ведения вооруженной борьбы на протяжении нескольких десятилетий.

Военные действия различных масштабов последних десятилетий неразрывно связаны с применением средств воздушного нападения, их технологическим совершенствованием и расширением спектра решаемых задач [3].

Завоевание информационного превосходства и господства в воздухе, начало военных действий через воздушное пространство стали главным условием проведения успешных операций, инструментом в достижении собственно военных целей операции (кампании),

а также военно-политическим инструментом. Произошла не только переоценка важности СВКН, но и трансформация форм и способов их применения [3].

Использование апробированных форм и способов применения вооруженных сил (группировок) и совершенствование вооружения в ходе ведения локальных войн и вооруженных конфликтов определило следующие тенденции вооруженной борьбы:

уход от прямого вооруженного столкновения больших группировок войск (сил);

сочетание и активное применение средств РЭБ, кибернетических атак, сил и средств информационного воздействия;

решение задач мобильными, относительно малочисленными группировками при определяющей роли СВКН;

активное применение сил специальных операций и задействование частных военных компаний;

уменьшение наряда пилотируемых СВКН, увеличение доли участия высокоточного оружия большой дальности (ВТО БД) и беспилотных средств;

использование фактора внезапности за счет созданных заблаговременно группировок, а также информационного, технологического превосходства.

Наиболее вероятное начало военных действий предполагается в форме воздушной наступательной операции, главная цель которой – завоевание превосходства в воздухе.

Для достижения этой цели будут определены **основные оперативные задачи**:

непрерывное ведение разведки на всю территорию государства-объекта с задействованием всех имеющихся сил и средств;

дезорганизация государственного и военного управления;

подавление или уничтожение системы противовоздушной обороны;

поражение (уничтожение) сил и средств, способных нанести ответный удар (ракетные войска и артиллерия, авиация на аэродромах базирования, средства разведки и РЭБ, наиболее боеспособные воинские части и подразделения);

снижение возможностей обороняющейся стороны;

уничтожение объектов информационных ресурсов (информационные коммуникации, теле- и радиоцентры и др.).

В ближайшей и среднесрочной перспективе, с принятием на вооружение принципиально новых образцов вооружения, космических платформ различного назначения, а также ввиду доминирования космической разведывательной составляющей, возможна трансформация воздушно-наступательной операции в воздушно-космическую наступательную операцию.

Неотъемлемым и главным условие проведения успешной ВНО является завоевание информационного превосходства. Владеть информацией – значит владеть обстановкой, контролировать противника. Ведение непрерывной разведки всеми имеющимися средствами повышает оперативность и многовариантность принятия решения, снижает возможности эвентуального противника, не позволяет ему действовать на опережение. Созданная группировка космических аппаратов, в первую очередь разведывательных, на сегодняшний день является основным источником информации для непрерывного мониторинга обстановки практически в любой точке мира.

Технологический прорыв и инновации характерны для разработки и производства таких СВКН, как разведывательные и ударные беспилотные летательные аппараты (БПЛА); новые наземные и самолетные средства РЭБ; крылатые ракеты морского базирования (КРМБ) и крылатые ракеты воздушного базирования (КРВБ); авиационные средства поражения (АСП) (управляемые авиационные бомбы и тактические крылатые ракеты воздушного базирования). В ближайшей и среднесрочной перспективе возможно принятие на вооружение нового типа оружия – гиперзвуковых летательных аппаратов (ГЗЛА).

В настоящее время на вооружении многих стран имеются **беспилотные летательные аппараты** широкого спектра применения – от тактических до стратегических разведывательных БПЛА (RQ-4 «Глобал Хок»). Создание платформ (так называемых

дронов) БПЛА типа MQ-1B «Предейтор», MQ-9 «Рипер» позволяет применять их практически неограниченно на всем Европейском театре военных действий для решения всего спектра разведывательных и ударных задач как на тактическом, так и на оперативно-стратегическом уровне. БПЛА имеют долгосрочную перспективу развития и применения ввиду своей универсальности и наличия характеристик, отвечающих требованиям современной войны, возможности интеграции в различные системы – разведывательные, боевые, обеспечивающие. Летные тактико-технические характеристики обеспечивают длительность их пребывания в воздухе, возможность применения без вхождения в зону поражения средств ПВО. Главная цель, оправдывающая их применение, – сохранение жизни личного состава в случае их поражения.

Крылатые ракеты морского и воздушного базирования будут оставаться одним из эффективных средств вооруженной борьбы. Основные тенденции совершенствования этих ракет – увеличение дальности и скорости полета, повышение точности наведения на цель, снижение уязвимости при преодолении системы ПВО. Возрастает интенсивность их применения и, как следствие, эффективность воздействия, что дает преимущество перед другими видами вооружения (если в ходе операции «Буря в пустыне» было применено 282 крылатые ракеты за 43 дня воздушно-наступательной операции, то в операции «Свобода Ираку» в 2003 г. за 15 суток операции было применено около 700 крылатых ракет) [2].

Крылатые ракеты морского и воздушного базирования в неядерном оснащении нового поколения различных модификаций размещены на атомных подводных лодках с крылатыми ракетами (АПЛКР). Переоборудованные АПЛКР типа «Огайо» оснащены установками вертикального пуска (УВП), в состав которых включается семь транспортно-пусковых контейнеров для КРМБ RGM-109E «Тактический Томагавк» Block 4 (интервал пуска КРМБ из одной роторной УВП составляет от 25 до 40 с). Нахождение АПЛКР в районах патрулирования в дальних и ближних морских зонах с крылатыми ракетами на борту позволяет в кратчайшие сроки нанести ракетный удар по намеченным целям.

Перспективными направлениями развития *авиационных средств поражения* являются оснащение относительно недорогими блоками управления и наведения для бомб различного калибра и назначения, разработка новых боевых частей с повышенным могуществом, увеличение дальности применения, что обеспечит использование авиабомб без захода носителя в зону поражения средств ПВО противника. В рамках программы JDAM (Joint Direct Attack Munition) приняты на вооружение управляемые авиабомбы (УАБ) различного калибра (УАБ GBU-12 «Пэйвуэй II», УАБ GBU-38, планирующие бомбы GBU-44/B «Вайпер страйк» и др.).

Отдельного внимания заслуживает направление по разработке тактических крылатых ракет (ТКР) по программе JASSM (Joint Air to Surface Standoff Missile). Ракеты данного типа (AGM-158, AGM-154 и др.) предназначены для поражения стационарных и мобильных объектов в простых и сложных метеоусловиях, днем и ночью. Использование в технологии изготовления ТКР композиционных материалов позволяет существенно снизить их радиолокационную заметность и тем самым повысить эффективность применения [4].

Активное развитие *самолетных средств РЭБ* позволяет не только повысить возможности авиационных группировок, но и расширить перечень решаемых задач. Ярким представителем сетцентрической концепции США является палубный самолет РЭБ EF-18G «Гроулер». Он предназначен для ведения радио- и радиотехнической разведки, постановки помех радиолокационным средствам и системам связи противника, уничтожения радиолокационных станций ракетами типа HARM. Бортовая аппаратура EF-18G (станция радиотехнической разведки AN/ALQ-218) способна автоматически определять географические координаты обнаруженных целей (до 5 контейнеров аппаратуры AN/ALQ-99) и каналов радиосвязи (аппаратура AN/USQ-113). Самолет способен нести до 4 единиц оружия класса «воздух–поверхность» (AGM-88 «Харм», AGM-84SLAM-ER) или до 4 УАБ типа JDAM и действовать как автономно, так и во взаимодействии с другими летательными

аппаратами в едином информационном поле. Самолет принят на вооружение в 2007 г., применялся в ходе операции США «Одиссея. Рассвет» [5].

Пилотируемые и беспилотные гиперзвуковые летательные аппараты в определенных условиях могут рассматриваться как альтернатива существующим баллистическим средствам. Так, время полета ГЗЛА к объекту удара соизмеримо со временем полета межконтинентальных баллистических ракет (при дальности 15 тыс. км время их полета будет составлять примерно 75 мин, а планирующих ГЗЛА около 60 мин).

Сопоставление характеристик перспективных ГЗЛА и возможностей существующих (серийных) средств ракетно-космической и противовоздушной обороны показывает, что средства ВКО обладают ограниченными способностями по обнаружению и уничтожению ГЗЛА, а в отдельных случаях эти способности полностью отсутствуют. Так, РЛС противоракетной обороны и средств предупреждения о ракетном нападении теоретически имеют возможность обнаружения целей типа ГЗЛА, однако их программно-алгоритмическое обеспечение не позволяет обрабатывать информацию о целях, движущихся не по баллистическим траекториям. Состоящие на вооружении радиолокационные средства имеют ограниченные возможности по обнаружению ГЗЛА и не обеспечивают решения стоящих задач во всем диапазоне их высот и скоростей полета. Средства противовоздушной обороны (ЗРС С-300, С-400) имеют ограниченные возможности по поражению данных типов целей и на практике не отрабатывались.

Под влиянием новых типов СВКН произойдут изменения в количественно-качественных и пространственно-временных параметрах авиационно-ракетных ударов. Появятся новые космические ударные средства, в эшелонах беспилотных средств поражения – ГЗКР, а в эшелонах прорыва ПВО и ударных – тактические группы боевых БЛА. Увеличится доля в составе сил удара высокоточного оружия и беспилотных средств, возрастут глубина воздействия по объектам удара, динамичность и интенсивность боевых действий, сократятся сроки выполнения боевых задач.

Содержание формы, выбранный способ выполнения задач, способ применения СВКН в современных войнах и вооруженных конфликтах будут зависеть от множества условий и факторов: количественной и качественной составляющей применяемых сил и средств, созданных группировок, решаемых ими задач, пространственно-временных показателей, масштаба ведения военных действий и ряда других. Что имеется в виду?

Общий подход к определению форм и способов применения СВКН представлен на рисунке.

Рассмотренные выше тенденции развития СВКН в техническом плане позволяют массировать не силы и средства, а результат [5]. Например, спектр решаемых задач истребителями пятого поколения (F-22, F-35, EF2000 «Тайфун») ведет к уменьшению наряда СВКН на объект, не снижая заданной эффективности. БПЛА типа MQ-9 «Рипер» способны длительное время находиться в районе выполнения задач (зоне барражирования) – от 4 до 6 ч в зависимости от заданных параметров и траектории полета, что позволяет уменьшать наряд сил и средств на поражение тех или иных объектов.

Недостигаемость и универсальность как самих СВКН, так и применяемых ими АСП позволяют выполнять разноплановые задачи, ведение разведывательно-ударных действий, использование СВКН и АСП не входя в зоны поражения средств ПВО.

Временные показатели применения СВКН при необходимости могут изменяться, т. е. увеличение длительности нахождения в районах барражирования (выполнения задач), оперативность получения требуемой разведывательной информации позволяют сократить время в цикле «разведка – поражение – доразведка – принятие решения на повторное применение (постановка новой задачи)».

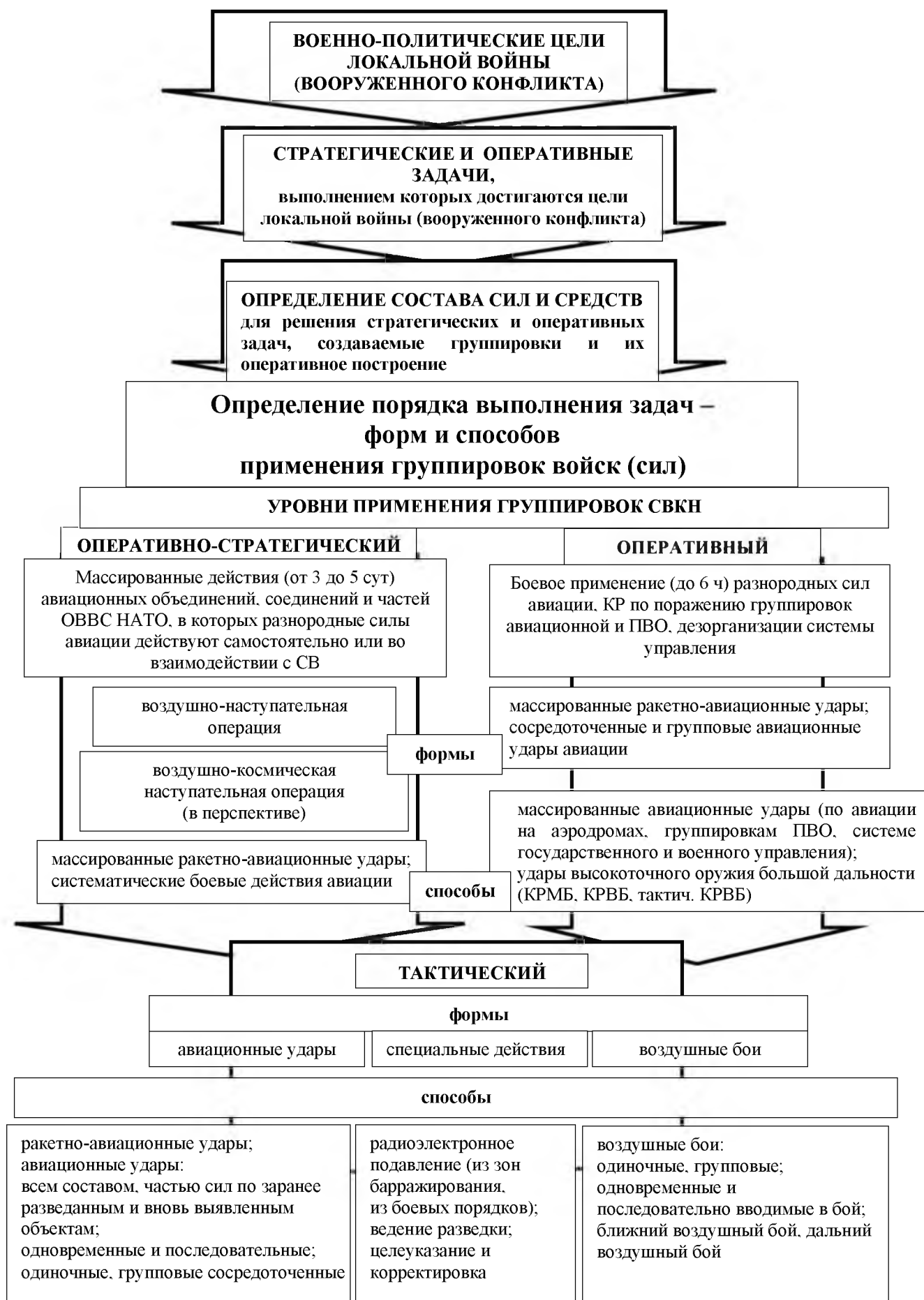


Рисунок. – Общий подход к определению форм и способов применения СВКН

Использование принципа сетецентрического управления разнородными силами и средствами дает явное преимущество в опережении противника во всем цикле боевого управления. Принципы ведения сетецентрической войны основываются на достоверном знании обстановки в любой момент времени и эффективном применении ударных средств, а также рациональном обеспечении боевых действий.

Исходя из тенденций развития СВКН, использования высокотехнических решений в США разработана концепция «глобального удара», которая позволит внезапно или в кратчайшие сроки нанести удар по критически важным объектам в любом регионе мира. Данная концепция универсальна по применению во всех формах ведения боевых действий. Она предусматривает наличие систем вооружения (прежде всего СВКН), которые оперативно способны нанести поражение стратегически важным и критичным по времени целям (объектам) в районах ведения военных действий в интересах достижения успеха проводимых операций.

Выводы:

1. Таким образом, в боевых действиях будущего будет применяться оружие на основе передовых высокоточных технологий при доминирующей роли СВКН. Исход в вооруженном противоборстве будет зависеть от борьбы в воздушно-космической и информационной сфере.

2. Существенных трансформаций (изменений) форм и способов применения группировок СВКН как таковых не произойдет. Изменится содержание форм применения, т. е. качественная составляющая (высокоточное оружие, летательные аппараты универсального применения) постепенно заменит количественную (состав группировок).

3. Изменяются временные показатели как подготовки, так и ведения военных действий в сторону сокращения, а на тактическом уровне – в масштабе, близком к реальному времени («осознание возможности нанесения поражения приходит с самим поражением»). При этом прослеживаются адаптивность к изменяющейся обстановке и стремление к опережению противника по времени цикла боевого управления.

4. Способ применения группировок СВКН высшего уровня является формой применения уровня на ступень ниже и будет определяться исходя из решаемых задач и складывающейся обстановки.

Список литературы

1. Обоснование рациональных направлений инновационного развития Вооруженных Сил исходя из требований их готовности к отражению агрессии противника в условиях ведения современных войн. Шифр «Сеть»: отчет о НИР / НИИ ВС РБ; рук. темы О. В. Воробей. – Минск, 2012. – 251 с.

2. Дуэ, Дж. Господство в воздухе. Вероятные формы будущих войн / Дж. Дуэ; пер. с итал; Вотье, А.М.П. Военная доктрина генерала Дуэ / А.М.П. Вотье; пер. с фр. – М.: АСТ; СПб.: Terra Fantastica, 2003. – 603 с., ил.

3. Военное искусство в локальных войнах и вооруженных конфликтах: воен.-ист. тр. – М.: Воениздат, 2009. – 764 с., ил.

4. Основные программы разработки в США новых УАБ // Зарубеж. воен. обозрение. – 2007. – № 4. – С. 14–18.

5. EF-18G «Гроулер» // Авиация и космонавтика. – 2012. – № 3. – С. 14–18.

6. Калистратов, А. И. К вопросу сетецентрических действий в вооруженной борьбе будущего / А. И. Калистратов // Воен. мысль. – 2013. – № 1 (22). – С. 24–30.

*Сведения об авторе:

Михолап Дмитрий Анатольевич.

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 03.10.2016 г.

УПРАВЛЕНИЕ СИЛАМИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СЛУЧАЕ ОБОСТРЕНИЯ ОБСТАНОВКИ В ГОСУДАРСТВЕ, ВВЕДЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНОГО И ВОЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ

Г. И. Рудозуб; А. А. Шевченко*

В статье изложено: функционирование системы управления силами обеспечения национальной безопасности в случае обострения обстановки в государстве, введения чрезвычайного и военного положения; возрастание требований к оперативности принятия комплексных мер по нейтрализации угроз, необходимости усиления координации действий государственных органов на республиканском, региональном и местном уровнях и мерах по их реализации.

The article describes: the functioning of the control system by forces of national security in cases of worsening situation in the country, of introduction extreme and the martial law, of preparation of external aggression; the increasing of requirements for expediting the adoption of complex measures to neutralize threats, of the need to strengthen the coordination of government action at the national, regional and local levels and measures for their implementation.

В современных условиях качество управления силами обеспечения национальной безопасности имеет принципиальное значение для безопасности государства, а управление ими является одним из важнейших направлений деятельности органов государственного и военного управления. Однако проблемным вопросом является то, что теория и практика управления силами обеспечения национальной безопасности в должной мере, всесторонне, пока не разработаны. Поэтому предлагаемые решения необходимо будет реализовывать через практические мероприятия в ходе подготовки государства и силовых структур к отражению воздействия деструктивных сил на всех этапах развития военного конфликта.

В повседневном режиме выполнение функций государственного управления на республиканском уровне осуществляется Президентом Республики Беларусь и высшими органами власти. Правительство и подчиненные ему республиканские органы государственного управления (министерства и государственные комитеты), иные государственные организации (концерны и другие) наделены полномочиями по реализации управленческих функций в экономической, социальной и иных сферах. На региональном и местном уровнях указанные функции возложены на местные исполнительные и распорядительные органы (МИРО).

Управление силами обеспечения национальной безопасности организуется в соответствии с их ведомственной подчиненностью и в рамках механизмов межведомственного взаимодействия.

Общее руководство системой обеспечения национальной безопасности осуществляется Президентом Республики Беларусь путем реализации его полномочий в этой сфере через Совет Безопасности Республики Беларусь и его рабочий орган – Государственный секретариат Совета Безопасности Республики Беларусь, а также через Совет Министров Республики Беларусь.

В случае дестабилизации обстановки прогнозируемыми наиболее негативными последствиями массовых беспорядков, совершения актов терроризма и действий незаконных вооруженных формирований могут быть:

в политической сфере – рост внешнеполитического давления на Республику Беларусь, включающего принятие санкционных мер, повышение протестной активности, нарушение работы органов власти и управления;

экономической сфере – нарушение работы субъектов хозяйствования в зоне противоправных действий и, как следствие, сокращение объемов производства и доходов бюджета; нарушение обеспечения населения товарами первой необходимости, а также

оказания коммунальных услуг; увеличение расходов, связанных с применением сил обеспечения национальной безопасности, ликвидацией чрезвычайных ситуаций, оказанием медицинской помощи населению;

информационной сфере – развертывание внешней информационной агрессии; проведение внутри республики информационных кампаний, направленных на усиление протестной активности; нарушение работы систем связи и коммуникаций, осуществление на каналах связи разведывательной и подрывной деятельности;

военной сфере – развитие внутреннего вооруженного конфликта, подготовка внешней агрессии.

В указанных условиях система государственного управления на республиканском, региональном и местном уровнях не претерпевает принципиальных изменений. Вместе с тем с учетом особенностей кризисной обстановки и возрастания требований к оперативности принятия комплексных мер по нейтрализации угроз возникает необходимость усиления координации действий государственных органов во всех сферах деятельности: от политической, экономической и социальной до правоохранительной и военной.

В этой обстановке возрастает роль Совета Безопасности Республики Беларусь как центрального органа, координирующего государственное управление в различных сферах. Основное внимание в его деятельности будет сосредоточено:

на оценке влияния факторов возникновения массовых беспорядков и иных противоправных действий;

принятии скоординированных мер по пресечению противоправной деятельности, устранению экономических и социальных предпосылок дестабилизации обстановки, обеспечению информационного противодействия деструктивным силам;

согласовании принимаемых внутри страны мер с усилиями по нейтрализации неблагоприятного внешнеполитического воздействия на ситуацию и привлечение поддержки со стороны дружественных государств;

стабилизации ситуации в экономической, социальной и экологической сферах.

Существенные изменения возможны в системе управления силами обеспечения национальной безопасности. Для координации действий сил обеспечения национальной безопасности и управления создаваемыми межведомственными группировками могут формироваться оперативные штабы различных уровней и назначения (оперативно-ситуационные штабы, объединенные оперативные штабы, оперативные штабы по управлению контртеррористической операцией). В зависимости от масштабов и степени общественной опасности противоправной деятельности могут создаваться республиканский, областные и районные оперативно-ситуационные штабы на базе КГБ или МВД их территориальных органов и подразделений, а при введении чрезвычайного положения – объединенные оперативные штабы. Оперативные штабы по управлению контртеррористическими операциями, как правило, необходимо создавать непосредственно в районе их проведения.

Анализ событий в ряде зарубежных стран [6] позволяет выделить два основных варианта развития обстановки в ходе ее дестабилизации, при которых система управления силами обеспечения национальной безопасности будет иметь определенные различия:

эскалация массового протеста вплоть до возникновения массовых беспорядков, но без оказания вооруженного сопротивления силам охраны правопорядка либо при наличии отдельных локальных очагов такого сопротивления;

возникновение на фоне протестных массовых мероприятий очагов вооруженного сопротивления силам охраны правопорядка и развитие внутреннего вооруженного конфликта.

В настоящее время, при эскалации массового протеста и отсутствии предпосылок к возникновению внутреннего вооруженного конфликта, система управления силами государственного реагирования организуется в соответствии с *Положением о государственной системе реагирования на акты терроризма, деятельность*

террористических организаций, НВФ и массовые беспорядки, утвержденным Указом Президента Республики Беларусь от 16.02.2015 г. № 56.

В рамках государственной системы реагирования на акты терроризма и массовые беспорядки могут устанавливаться (рисунок 1) *уровни террористической угрозы* и *уровни угрозы массовых беспорядков*: низкий, повышенный, высокий.

При повышенном уровне угрозы массовых беспорядков координация и взаимодействие разноминистерственных сил (рисунок 2) обеспечиваются:

республиканским оперативно-ситуационным штабом (ОСШ), создаваемым на базе МВД;

на территориях – областными (городскими, районными) ОСШ на базе территориальных органов внутренних дел.

Положение о республиканском (областном, городском, районном) оперативно-ситуационных штабах утверждено совместным постановлением КГБ, МВД, МО, МЧС, Госпрогранкомитета и Службы безопасности Президента в июле 2012 г. [6].



Рисунок 1. – Уровни террористической угрозы и массовых беспорядков

Руководство ОСШ возлагается на руководителей (заместителей руководителей) МВД и территориальных ОВД. Областные, городские, районные ОСШ взаимодействуют с МИРО по вопросам локализации и нейтрализации противоправной деятельности.

В случае возникновения на фоне протестных массовых беспорядков очагов вооруженного сопротивления силам охраны правопорядка может быть введено

чрезвычайное положение. Основанием для введения чрезвычайного положения (рисунок 2) является наличие обстоятельств, представляющих непосредственную угрозу безопасности жизни и здоровья людей, территориальной целостности и существованию государства.

К таким обстоятельствам относятся:

чрезвычайные ситуации природного и техногенного характера, чрезвычайные экологические ситуации, в том числе эпидемии и эпизоотии, возникшие в результате аварий, опасных природных явлений, катастроф, стихийных и иных бедствий, повлекшие (могущие повлечь) человеческие жертвы, нанесение ущерба здоровью людей и окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности населения и требующие проведения масштабных аварийно-спасательных и других неотложных работ;

беспорядки, сопровождающиеся насилием либо угрозой насилия со стороны группы лиц и организаций, в результате которых возникает опасность для жизни и здоровья людей, территориальной целостности и существования государства.

Чрезвычайное положение – особый временный правовой режим деятельности в мирное время государственных органов, иных организаций, их должностных лиц, допускающий установленные ограничения (приостановление) прав и свобод граждан РБ, иностранных граждан и лиц без гражданства, прав организаций, а также возложение на них дополнительных обязанностей, вводимый на всей территории Республики Беларусь или в ее отдельных местностях в целях:

обеспечения безопасности жизни и здоровья людей;

устранения опасности, представляющей угрозу территориальной целостности и существованию государства [1].

Исходя из складывающейся обстановки чрезвычайное положение может быть введено на отдельной территории или на всей территории государства.

При наличии оснований для введения чрезвычайного положения на отдельной территории (в связи с массовыми беспорядками) областной (городской, районный) ОСШ преобразуется в *объединенный оперативный штаб (ООШ)* при комендантуре территории, на которой введено чрезвычайное положение (рисунок 2).

При этом ООШ координирует действия группировок сил обеспечения режима чрезвычайного положения и пресечение противоправных действий (*Положение об объединенном оперативном штабе* утв. Указом Президента в марте 2009 г.).

Комендант, назначенный указом Президента Республики Беларусь, руководит комендатурой и ООШ.

Для обеспечения режима чрезвычайного положения используются:

силы и средства ОВД;

силы и средства органов госбезопасности;

силы и средства ВВ МВД;

силы и средства органов и подразделений по ЧС.

В исключительных случаях на основании указа Президента Республики Беларусь для обеспечения режима чрезвычайного положения могут привлекаться Вооруженные Силы, другие войска, воинские формирования и военизированные организации.

Органы пограничной службы могут привлекаться для обеспечения режима чрезвычайного положения только в целях охраны Госграницы.

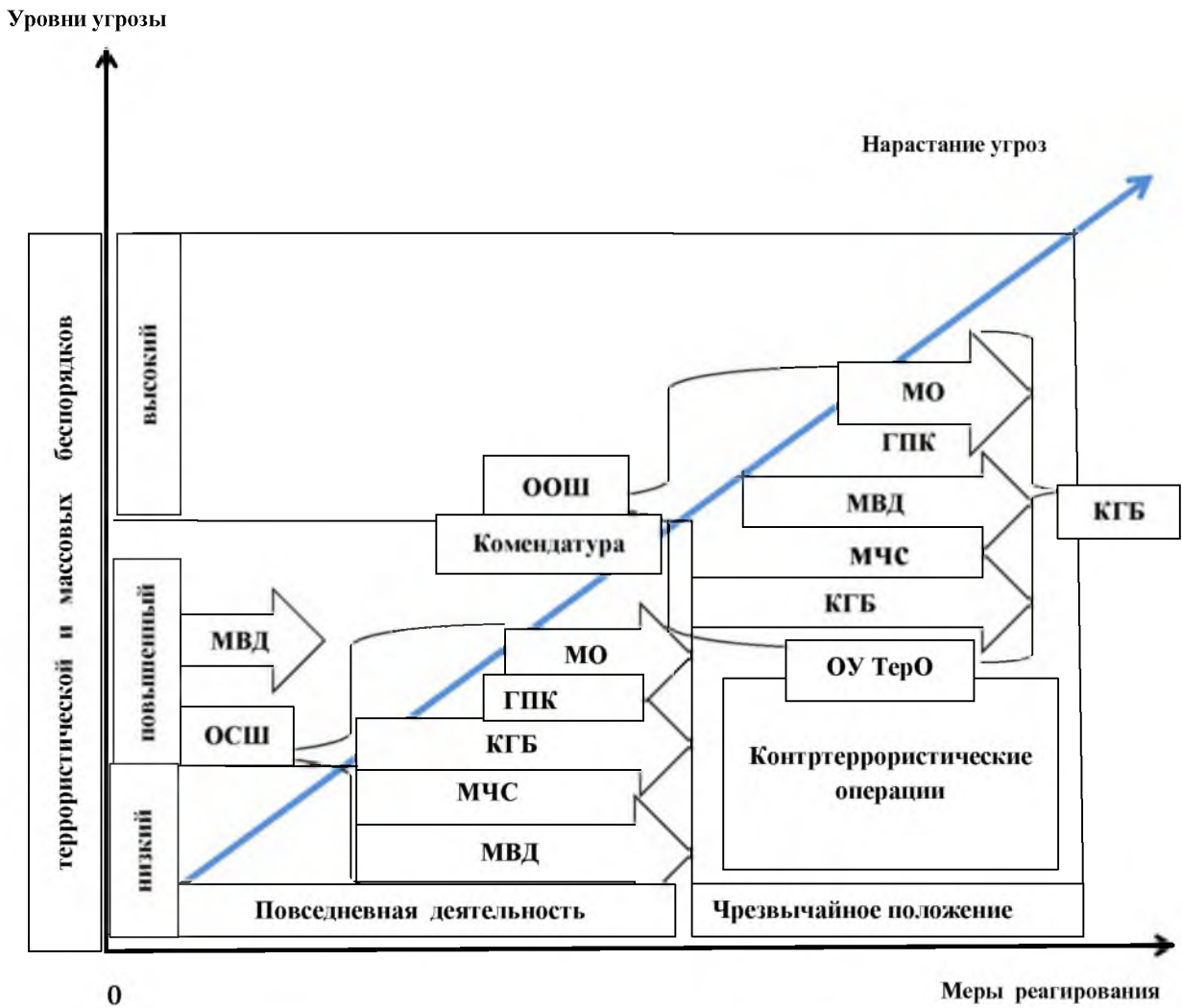


Рисунок 2. – Органы управления силами обеспечения национальной безопасности при нарастании террористической угрозы и массовых беспорядков

Вооруженные Силы, другие войска, воинские формирования и военизированные организации могут привлекаться для выполнения следующих задач:

поддержания особого режима въезда на территорию, на которой введено чрезвычайное положение, и выезда с нее;

охраны объектов, обеспечивающих жизнедеятельность населения и функционирование транспорта, и объектов, представляющих повышенную опасность для жизни и здоровья людей, а также окружающей природной среды;

участия в ликвидации чрезвычайных ситуаций и спасении жизни людей в составе сил государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Указанные задачи военнослужащие Вооруженных Сил, других войск, воинских формирований и военизированных организаций будут выполнять совместно с сотрудниками ОВД, органов госбезопасности и военнослужащими ВВ МВД. При этом на военнослужащих Вооруженных Сил, других войск, воинских формирований и военизированных организаций распространяются положения законодательства Республики Беларусь о ВВ МВД в части, касающейся условий, порядка и пределов применения физической силы, специальных средств, оружия, боевой и специальной техники, гарантий личной безопасности военнослужащих и членов их семей, гарантий их правовой и социальной защиты.

При введении чрезвычайного положения на всей территории государства, в условиях отсутствия предпосылок к возникновению внутреннего вооруженного конфликта все силы передаются в оперативное подчинение государственному органу, определяемому

Президентом Республики Беларусь. Таким государственным органом может быть МВД. При этом созданный при МВД республиканский ОСШ преобразуется в ООШ, а в его составе продолжают работу представители государственных органов, уполномоченные руководить силами, привлекаемыми для обеспечения режима чрезвычайного положения. Это позволяет сохранить преемственность в деятельности между республиканским оперативно-ситуационным и объединенным оперативным штабом [1, 6].

В случаях возникновения локальных очагов вооруженного сопротивления органам охраны правопорядка для пресечения деятельности незаконных вооруженных формирований на указанных территориях могут проводиться контртеррористические операции (КТО). Действиями привлекаемых для данных целей сил руководит оперативный штаб по управлению КТО, развертываемый в районе проведения операции.

Прямое подчинение руководителя КТО и оперативного штаба по управлению этой операцией какому-либо вышестоящему органу законодательством не предусмотрено. При необходимости выделения дополнительных сил, получения информации о развитии обстановки за пределами зоны КТО указанный руководитель взаимодействует с республиканским и территориальными оперативно-ситуационными штабами.

Возникновение предпосылок к внутреннему вооруженному конфликту может быть связано:

с невозможностью подавить локальные очаги вооруженного сопротивления путем проведения контртеррористических операций;

достижением незаконными вооруженными формированиями численности, позволяющей эффективно противостоять силам органов внутренних дел и государственной безопасности;

захватом незаконными вооруженными формированиями вооружения и военной техники.

Возникновение указанных обстоятельств следует рассматривать как основание для более полного задействования в пресечении противоправной деятельности военной организации государства. В данном случае силы обеспечения национальной безопасности могут быть переданы в оперативное подчинение Министерству обороны. Руководство группировкой сил пресечения вооруженного сопротивления и обеспечения режима чрезвычайного положения целесообразно возлагать на Генеральный штаб Вооруженных Сил (ГШ ВС) Республики Беларусь, в состав которого включаются оперативные группы органов охраны правопорядка. При этом республиканский ОСШ или ООШ при МВД прекращают свою деятельность, а должностных лиц, участвовавших в их работе, целесообразно привлекать с оперативными группами на пункт управления ГШ ВС, что должно обеспечить передачу координирующих функций без срыва управления.

На уровне областей, районов в данном случае могут развертываться штабы ТерО областей, районов (штабы зон (районов) ТерО).

В случае оказания вооруженной поддержки незаконным вооруженным формированиям со стороны вооруженных сил иностранных государств на территории государства может вводиться (рисунок 3) военное положение [2].

Целью введения военного положения является создание необходимых условий для устранения военной угрозы или отражения нападения.

Наряду с открытыми военными угрозами признаются такие угрозы, как:

возникновение очагов вооруженных конфликтов, направленных против независимости, территориальной целостности, суверенитета и конституционного строя государства;

иная деятельность другого государства (других государств), экстремистских, в том числе террористических, организаций, расположенных на территории другого государства (других государств), осуществляемая в нарушение Устава ООН и указывающая на подготовку к нападению или развязывание внутреннего вооруженного конфликта. Нападением, независимо от объявления войны другим государством, признается засылка

другим государством (другими государствами) или от имени другого государства (других государств) на территорию РБ *вооруженных банд (групп), иррегулярных сил, наемников или подразделений регулярных войск*, применяющих вооруженную силу против РБ;

иные действия, связанные с применением другим государством (другими государствами) вооруженной силы против независимости, территориальной целостности, суверенитета и конституционного строя РБ каким-либо другим способом, несовместимым с Уставом ООН.

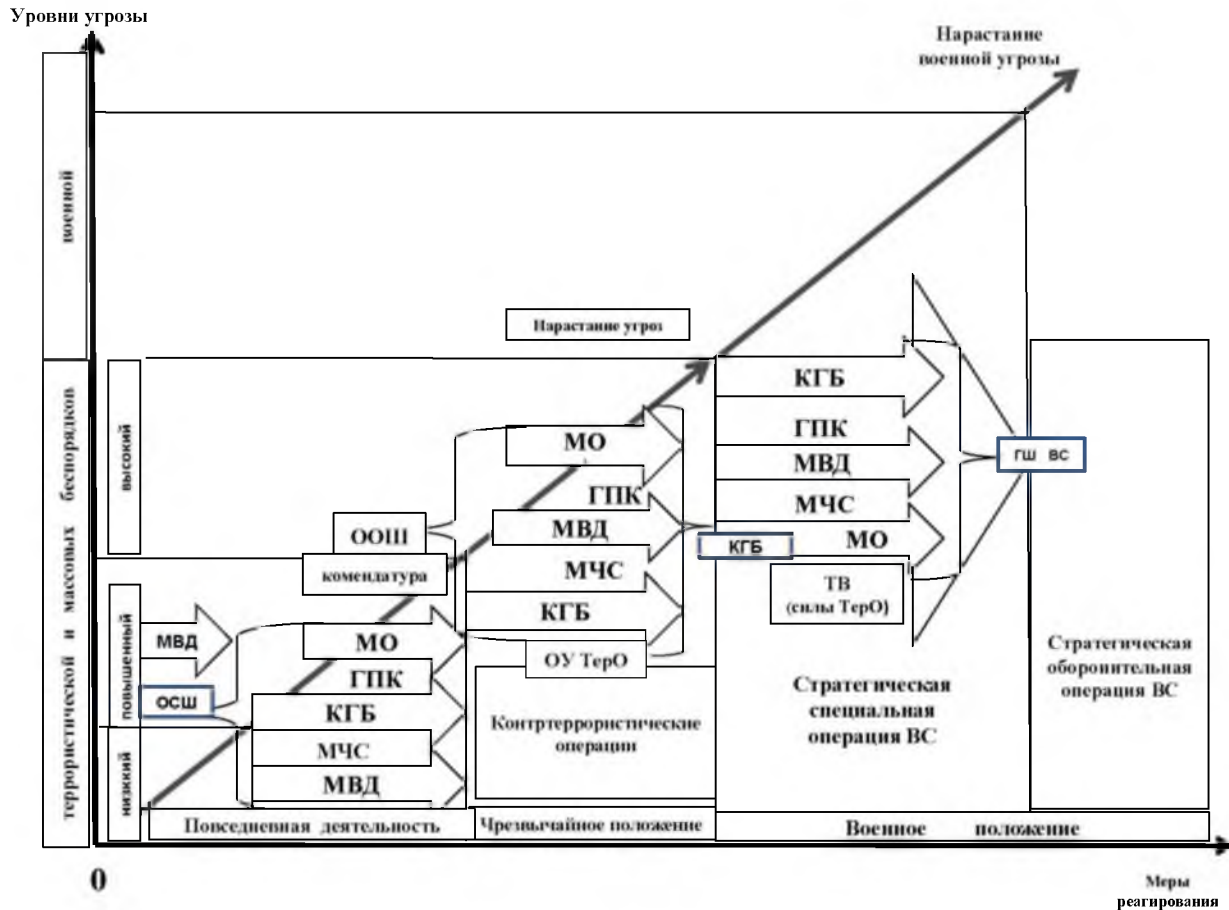


Рисунок 3. – Органы управления силами обеспечения национальной безопасности при возникновении военной угрозы или нападении

С введением военного положения могут создаваться местные советы обороны, являющиеся составной частью системы обороны государства и подчиняются Совету Безопасности Республики Беларусь. Непосредственное руководство ими возлагается на руководителей соответствующих МИРО.

Руководитель МИРО и его заместители, военный комиссар, начальники территориальных ОВД, органов государственной безопасности, органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям являются членами местного совета обороны по должности. Иные члены местного совета обороны назначаются руководителем соответствующего МИРО. Местные советы обороны в соответствии с компетенцией выполняют функции по обеспечению военного положения.

С введением военного положения могут формироваться и штабы территориальной обороны областей (районов) (штабы зон (районов) ТерО), которые в соответствии с компетенцией управляют силами территориальной обороны и должны стать единым исполнительным органом советов обороны областей и районов по обеспечению военного положения [6].

Обеспечение военного положения на территории, на которой ведутся военные действия, возлагается на органы военного управления Вооруженных Сил с привлечением других войск, воинских формирований и военизированных организаций. В пределах границ территории, на которой ведутся военные действия, органы военного управления Вооруженных Сил в ходе реализации мер по обеспечению военного положения издают приказы, обязательные для выполнения местными советами обороны, гражданами и организациями.

Таким образом, можно сделать вывод, что в современных условиях опыт, накопленный в вопросах организации территориальной обороны в последние годы, подтверждает необходимость создания уже в мирное время хорошо организованной и подготовленной системы управления силами обеспечения национальной безопасности, что планомерно и осуществляется в Республике Беларусь.

В данной статье рассмотрены далеко не все вопросы управления силами обеспечения национальной безопасности. Необходимо разрабатывать новые способы и совершенствовать существующие методы управления силами обеспечения национальной безопасности, уточнять некоторые подходы к организации руководства силами обеспечения национальной безопасности, в том числе и силами территориальной обороной путем:

совершенствования нормативной правовой базы (разработки Закона о территориальной обороне);

развития системы совместного планирования территориальной обороны государства как системы обеспечения военного положения в государстве, в областях и районах на всех этапах развития военного конфликта и в ходе военных действий.

Список литературы

1. О чрезвычайном положении: Закон Респ. Беларусь от 24 июня 2002 г. № 117-З.
2. О военном положении: Закон Респ. Беларусь от 13 янв. 2003 г. № 185-З в ред. от 10 янв. 2015 г. № 244-З.
3. Сохранить страну! Концептуальные замечания Президента Республики Беларусь А. Г. Лукашенко во время участия в мероприятиях по территориальной обороне 3–4 нояб. 2011 г. // Информ. бюл. администр. Президента Респ. Беларусь. – 2011. – № 12. – С. 2–12.
4. Мальцев, Л. С. Территориальная оборона в системе национальной безопасности / Л. С. Мальцев // Бел. воен. газ. Во славу Родины. – 2011. – 25 нояб.
5. Рудозуб, Г. И. О некоторых аспектах теории территориальной обороны и их реализации в нормативных правовых актах Республики Беларусь / Г. И. Рудозуб // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2012. – № 3. – С. 14–29.
6. Рудозуб, Г. И. О некоторых аспектах управления силами обеспечения национальной безопасности в случае дестабилизации социально-политической обстановки в государстве / Г. И. Рудозуб // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2014. – № 1. – С. 4–14.

*Сведения об авторах:

Рудозуб Георгий Иванович.

Шевченко Андрей Александрович.

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 14.03.2016 г.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ВОЕННОМ ДЕЛЕ

УДК. 681.396.96

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЗЕНИТНОЙ РАКЕТНОЙ ОБОРОНЫ ОБЪЕКТОВ И ВОЙСК С УЧЕТОМ СТЕПЕНИ ЗАЩИЩЕННОСТИ ЗЕНИТНЫХ РАКЕТНЫХ ДИВИЗИОНОВ

И. Г. Денисенко, кандидат военных наук, доцент;
А. П. Надейко*

В статье предложено совершенствование методики оценки статической устойчивости противовоздушной обороны способом учета коэффициента защищенности зенитного ракетного дивизиона средней дальности типа С-300 средствами непосредственного прикрытия.

In the article improvement of antiaircraft defense static stability evaluation technique by means of midrange S-300 antiaircraft missile battalion protection factor by close-in protection means is offered.

В войнах и военных конфликтах последних десятилетий обнаружился факт – зенитные ракетные подразделения малой, средней дальности и дальнего действия, такие как С-75, С-125, С-200 и другие средства ПВО, сами превратились в объекты первоочередных ракетно-авиационных ударов противника. Зенитные ракетные дивизионы, являясь средствами ПВО, сами в первую очередь нуждаются в защите от высокоточных огневых и радиоэлектронных наземных, воздушных и космических ударов противника. Из перечисленных наиболее вероятными будут огневые удары средствами воздушного нападения противника. Возникает вопрос: как и какими средствами (силами) осуществить их защиту?

Устойчивость зенитной ракетной обороны (ЗРО) отражает основополагающее свойство созданной системы – сохранение или поддержание на определенном уровне эффективности боевых действий при влиянии дестабилизирующих факторов.

Под дестабилизирующими факторами подразумеваются такие факторы, которые приводят к снижению эффективности боевых действий. При этом показатель устойчивости ЗРО должен количественно отражать происходящие изменения. С учетом того, что воздействие дестабилизирующих факторов носит пространственно-временной характер, можно различать устойчивость статическую и динамическую [1–4].

Такое условное разделение понятия устойчивости обороны необходимо для того, чтобы иметь возможность описать устойчивость как свойство системы независимо от действий противника или в зависимости от его действий. Для оценки устойчивости обороны достаточно ограничиться рассмотрением статической устойчивости ЗРО, показатель которой может быть определен по следующей формуле:

$$V(N_{\text{ТОЕ}}) = \mathcal{E}(N_{\text{ТОЕ}}) - \mathcal{E}(N_{\text{ТОЕ}}) / N_{\text{ТОЕ}\Sigma}, \quad (1)$$

где $V(N_{\text{ТОЕ}})$ – показатель статической устойчивости ЗРО;

$\mathcal{E}(N_{\text{ТОЕ}})$ – показатель эффективности боевых действий соединения (части) ЗРВ составом $N_{\text{ТОЕ}}$;

$N_{\text{ТОЕ}}$ – количество тактико-огневых единиц.

Физический смысл оценки статической устойчивости заключается в оценке величины эффективности группировки сил (войск) при выводе из строя (огневым поражении) одной тактико-огневой единицы. В соответствии с предложениями, изложенными в [1],

для сравнительного анализа группировок войск различного количественного и качественного состава этого достаточно.

Влияние степени защищенности ТОЕ на статическую устойчивость ЗРО, включающей $N_{\text{ТОЕ}}$, может быть учтено коэффициентом защищенности ($K_{\text{защ}}$) каждой из них.

Под коэффициентом защищенности понимается показатель эффективности средств прикрытия, характеризующий отношение суммы математических ожиданий числа уничтоженных целей каждым средством прикрытия (суммы произведений количества средств прикрытия одного типа, умноженных на вероятность поражения цели заданного типа), к максимально возможному числу одновременно уничтоженных целей (по количеству всех типов тактико-огневых единиц привлекаемых средств непосредственного прикрытия). Коэффициент защищенности может быть определен по формуле

$$K_{\text{защ}} = \frac{\sum_{ij} n_{\text{БМ}_{ij}} P_{ij}}{n_{\text{БМ}_{\Sigma}}}, \quad (2)$$

где $n_{\text{БМ}_{ij}}$ – количество средств прикрытия одного типа;

P_{ij} – вероятность поражения цели заданного типа;

$n_{\text{БМ}_{\Sigma}}$ – количество всех типов тактико-огневых единиц привлекаемых средств непосредственного прикрытия.

С учетом данного коэффициента (2) выражение (1) приобретет следующий вид:

$$V(N_{\text{ТОЕ}}) = \mathcal{E}(N_{\text{ТОЕ}}) - \mathcal{E}(N_{\text{ТОЕ}}) / K_{\text{защ}} N_{\text{ТОЕ}\Sigma}. \quad (3)$$

Рассмотрим пример решения задачи.

Исходная эффективность группировки в составе пяти зрдн С-300ПС равна 0,7.

Для решения задачи непосредственного прикрытия зрдн будет выделяться не более одной зенитной ракетной батареей, что означает: количество боевых машин прикрытия не должно превышать четырех единиц (рисунок 1).

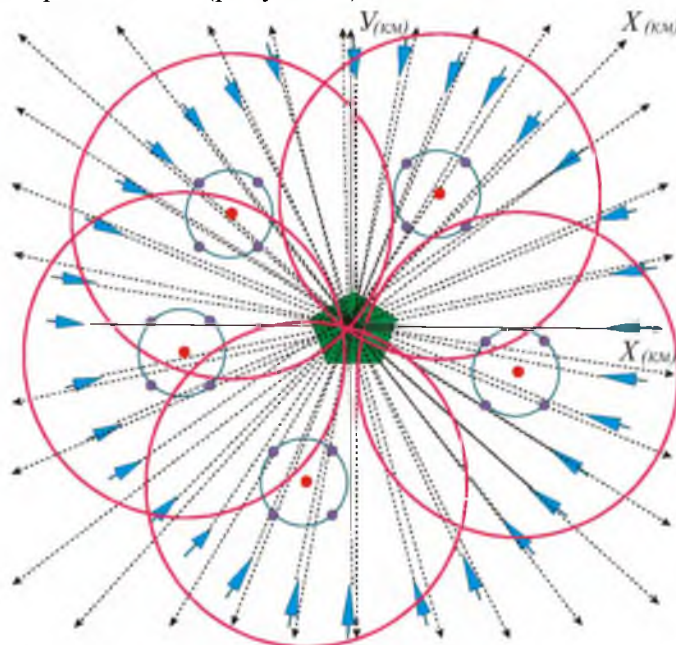


Рисунок 1. – Размещение средств прикрытия (исходная обстановка)

Исходя из имеющегося в РБ и перспективного зенитного вооружения, для решения задачи непосредственного прикрытия каждого зрдн в данной работе ограничимся следующими типами зенитных комплексов: «Тор-М2», «Оса-АК», «Панцирь-С1», ЗСУ-23-4 «Шилка». Возможные в этом случае варианты боевого состава средств

непосредственного прикрытия (СНП) приведены в таблице. При этом тактические характеристики каждого варианта боевого состава группировки зенитных ракетных войск могут быть рассчитаны по показателю статической устойчивости $Y(N_{\text{ТОЕ}})$ с учетом коэффициента защищенности $K_{\text{защ}}$ зрдн заданным количеством $N_{\text{СНП}}$.

Таблица. – Варианты боевого состава средств непосредственного прикрытия зрдн типа С-300

Номер варианта боевого состава	$N_{\text{СНП}}$	ЗРК «Тор-М2»	ЗРК «Оса-АК»	ЗРПК «Панцирь-С1»	ЗСУ-23-4 «Шилка»	$K_{\text{защ}}$	$Y(N_{\text{СНП}})$
1	1	1	0	0	0	0,1775	0
2		0	1	0	0	0,1687	0
3		0	0	1	0	0,2062	0,02
4		0	0	0	1	0,0437	0
5	2	1	1	0	0	0,3462	0,296
6		1	0	1	0	0,3837	0,335
7		1	0	0	1	0,2212	0,067
8		0	1	1	0	0,375	0,327
9		0	1	0	1	0,2125	0,041
10		0	0	1	1	0,25	0,14
11		2	0	0	0	0,355	0,306
12		0	2	0	0	0,325	0,269
13		0	0	2	0	0,4125	0,361
14		0	0	0	2	0,0875	0
15	3	1	1	1	0	0,5525	0,447
16		0	1	1	1	0,4187	0,366
17		1	0	1	1	0,4275	0,372
18		1	1	0	1	0,39	0,341
19		2	1	0	0	0,524	0,267
20		2	0	1	0	0,724	0,507
21		2	0	0	1	0,399	0,349
22		1	2	0	0	0,515	0,428
23		0	2	1	0	0,544	0,443
24		0	2	0	1	0,2125	0,041
25		1	0	2	0	0,59	0,463
26		0	1	2	0	0,58	0,459
27		0	0	2	1	0,456	0,307
28		1	0	0	2	0,265	0,172
29		0	1	0	2	0,256	0,153
30		0	0	1	2	0,294	0,224
31		3	0	0	0	0,53	0,436
32		0	3	0	0	0,51	0,425
33		0	0	3	0	0,62	0,474
34		0	0	0	3	0,131	0
35	4	1	1	1	1	0,5962	0,465
36		2	1	1	0	0,73	0,508
37		2	1	0	1	0,567	0,453
38		2	0	1	1	0,6	0,467
39		1	2	1	0	0,72	0,505
40		1	2	0	1	0,559	0,449

Окончание таблицы

Номер варианта боевого состава	$N_{\text{СНП}}$	ЗРК «Тор-М2»	ЗРК «Оса-АК»	ЗРПК «Панцирь-С1»	ЗСУ-23-4 «Шилка»	$K_{\text{защ}}$	$Y(N_{\text{СНП}})$
41	4	0	2	1	1	0,587	0,461
42		1	1	2	0	0,757	0,515
43		1	0	2	1	0,63	0,478
44		0	1	2	1	0,625	0,476
45		1	1	0	2	0,43	0,374
46		1	0	1	2	0,47	0,402
47		0	1	1	2	0,46	0,396
48		2	2	0	0	0,69	0,497
49		2	0	2	0	0,767	0,517
50		2	0	0	2	0,363	0,314
51		0	2	2	0	0,75	0,513
52		0	2	0	2	0,425	0,37
53		0	0	2	2	0,5	0,42
54		3	1	0	0	0,7	0,5
55		3	0	1	0	0,738	0,51
56		3	0	0	1	0,576	0,457
57		1	3	0	0	0,68	0,494
58		0	3	1	0	0,71	0,503
59		0	3	0	1	0,55	0,445
60		1	0	3	0	0,796	0,524
61		0	1	3	0	0,7875	0,522
62		0	0	3	1	0,66	0,488
63		1	0	0	3	0,308	0,245
64		0	1	0	3	0,3	0,689
65		0	0	1	3	0,3375	0,319
66		4	0	0	0	0,71	0,503
67		0	4	0	0	0,675	0,493
68		0	0	4	0	0,825	0,53
69		0	0	0	4	0,175	0

Исходя из сведений источников [5–11], можно определить, что:

вероятность поражения цели ЗРК «Тор-М2» составляет 0,45–0,97. Для расчетов применяется усредненное значение вероятности поражения – 0,71;

вероятность поражения цели ЗРК «Оса-АК» составляет 0,5–0,85. Для расчетов применяется усредненное значение вероятности поражения – 0,675;

вероятность поражения цели ЗРПК «Панцирь-С1» составляет 0,7–0,95. Для расчетов применяется усредненное значение вероятности поражения – 0,825;

вероятность поражения цели ЗСУ-23-4 «Шилка» составляет 0,05–0,3. Для расчетов применяется усредненное значение вероятности поражения – 0,175.

По приведенным значениям вероятностей поражения каждого комплекса для каждого варианта боевого состава СНП будет рассчитываться $K_{\text{защ}}$ и $Y(N_{\text{СНП}})$.

В качестве примера расчетов рассматривается вариант, где задействовано четыре комплекса непосредственного прикryтия различного типа (вариант 35 боевого состава), как наиболее наглядный (рисунок 2).

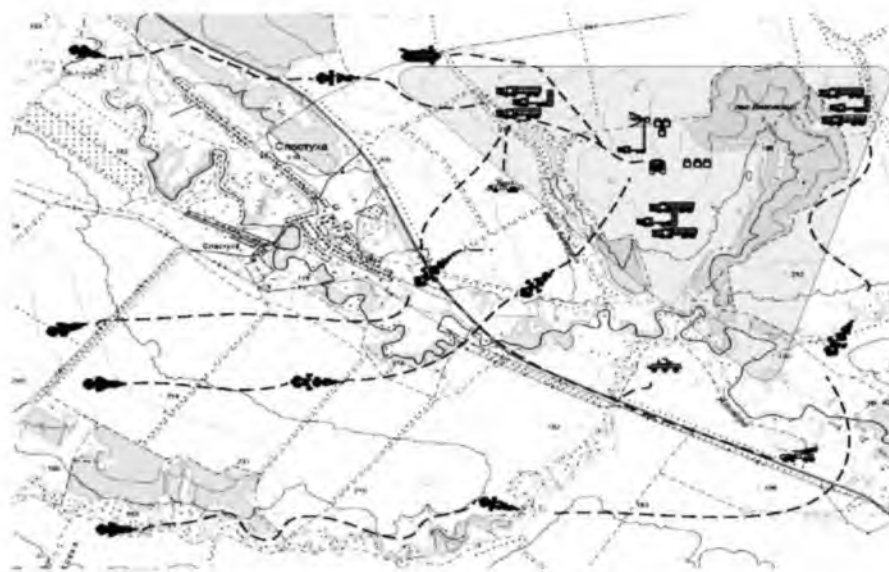


Рисунок 2. – Вариант 35 боевого состава средств непосредственного прикрытия

Пример расчета $K_{\text{защ}}$ и $U(N_{\text{ТОЕ}})$ для варианта 35 боевого состава средств непосредственного прикрытия:

$$K_{\text{защ}} = \frac{\sum_{ij} n_{\text{БМ}_{ij}} P_{ij}}{n_{\text{БМ}_{\Sigma}}} = \frac{n_{\text{БМ Тор}} P_{\text{Тор}} + n_{\text{БМ Оса}} P_{\text{Оса}} + n_{\text{БМ Шилка}} P_{\text{Шилка}} + n_{\text{БМ Панцирь}} P_{\text{Панцирь}}}{n_{\text{БМ Тор}} + n_{\text{БМ Оса}} + n_{\text{БМ Шилка}} + n_{\text{БМ Панцирь}}} =$$

$$= \frac{1 \cdot 0,71 + 1 \cdot 0,675 + 1 \cdot 0,175 + 1 \cdot 0,825}{4} = 0,5962;$$

$$U(N_{\text{ТОЕ}}) = \mathcal{E}(N_{\text{ТОЕ } \Sigma}) - \frac{\mathcal{E}(N_{\text{ТОЕ}})}{K_{\text{защ}} N_{\text{ТОЕ } \Sigma}} = 0,7 - \frac{0,7}{0,5962 \cdot 5} = 0,465.$$

Расчеты и результаты тактического моделирования показывают:

1. Величина коэффициента защищенности существенно зависит от варианта состава средств, выделенных для непосредственного прикрытия.

2. Применительно к типу выбранных средств («Тор-М2», «Оса-АК», «Панцирь-С1», ЗСУ-23-4 «Шилка») и при ограничении средств до четырех боевых машин на дивизион значения коэффициента защищенности изменяются в диапазоне от 0,04 до 0,825 (рисунок 3). Эти изменения коэффициента защищенности, будучи использованными в (3), показывают, что устойчивость системы ЗРО объекта будет изменяться от 0 до 0,53 соответственно (рисунок 4) (при исходной эффективности группировки в составе пяти зрдн С-300ПС, равной 0,7). При этом все варианты боевого состава средств прикрытия с коэффициентом защищенности ниже 0,2 не придают системе зенитной ракетной обороны прироста устойчивости.

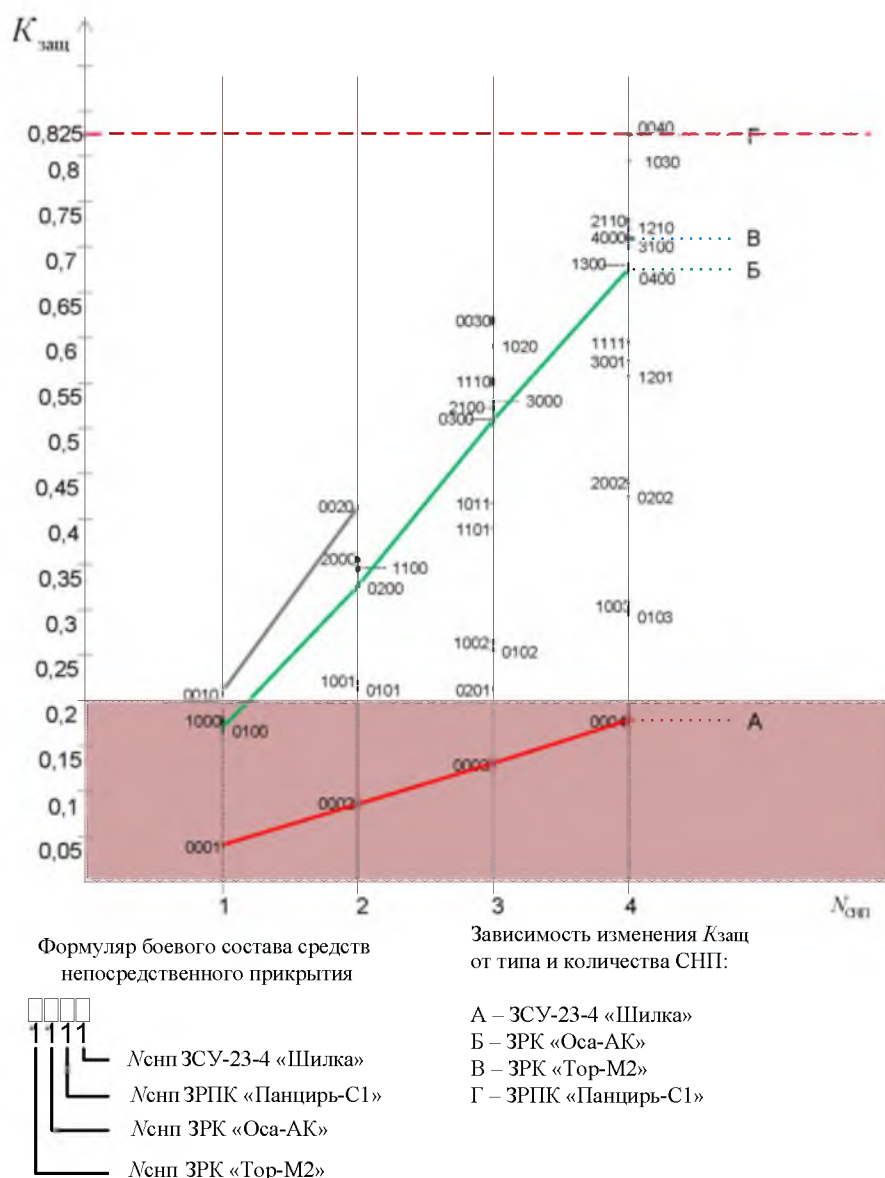


Рисунок 3. – Зависимость $K_{\text{защ}}$ от количества СНП и их типа

Из проделанной работы можно сделать следующие выводы и вынести предложения:

1. Чем больше количество выделяемых для прикрытия зрдн средств непосредственного прикрытия, тем выше защищенность дивизиона, эффективность и устойчивость обороны.

2. Разнотипные средства защиты обладают большей помехоустойчивостью, в связи с чем предпочтительными вариантами состава сил и средств прикрытия являются смешанные: «Тор-М2» – «Оса-АК», «Тор-М2» – «Панцирь-С1», «Тор-М2» – ЗСУ-23-4 «Шилка»; «Оса-АК» – «Панцирь-С1», «Оса-АК» – ЗСУ-23-4 «Шилка» и др.

3. С учетом необходимости борьбы преимущественно с малоразмерными БЛА противника целесообразным является включение в состав средств прикрытия зенитно-стрелково-пушечных установок типа ЗСУ-23-4 «Шилка», ЗПУ-23-2, ЗПУ-23-8 (иранский комплекс «Mesbah») с новым боеприпасом шрапнельно-картечного типа.

4. Функционирование средств защиты требует применения соответствующих роботизированных средств разведки и организации эффективного автоматизированного управления.

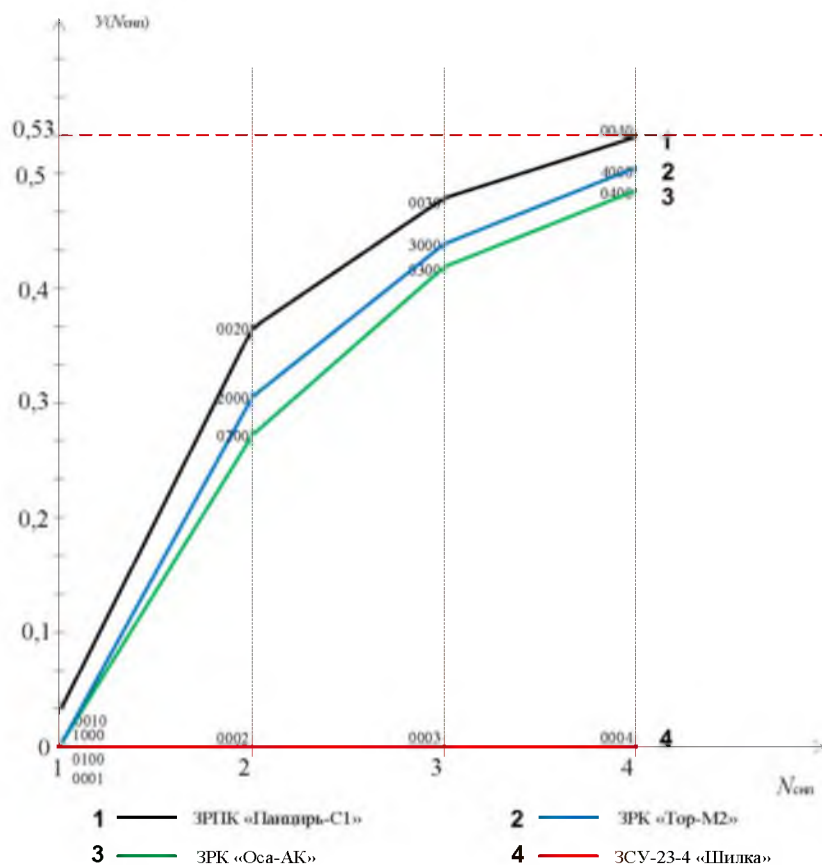


Рисунок 4. – Зависимость $Y(N_{СНП})$ от количества СНП и их типа

Необходимо иметь в виду, что зависимости, изображенные на рисунке 4, отражают только структурную (статическую) устойчивость, определяемую как способность сохранять эффективность боевых действий при выводе из строя одной тактико-огневой единицы основного вооружения.

Целесообразным представляется на позиции каждого зенитного ракетного дивизиона в качестве средств непосредственного прикрытия иметь автоматизированно управляемые с КП зрдн:

роботизированные средства разведки с дальностью обнаружения до 17 км;

по 1–2 БМ «Тор-М2» («Оса-АК»), а в перспективе роботизированные комплексы непосредственного прикрытия и наземной обороны ближнего действия типа «Сосна РБ»;

по одной установке типа ЗПУ-23-2, ЗСУ-23-4, ЗПУ-23-4(-8) с новым боеприпасом шрапнельно-картечного типа.

Список литературы

1. Разработка облика перспективной системы обороны с высокоточным оружием и тактико-технических требований к средствам активной и пассивной защиты вооружения, войск и объектов инфраструктуры государства от высокоточного оружия (шифр «Когерентность-03»): отчет о НИР (промежут.) / УО «ВА РБ»; рук. темы И. М. Быков. – Минск, 2009. – 249 с.

2. Гареев, М. А. Создание ВКО – важнейшая государственная задача. Центр тяжести и основные усилия вооруженной борьбы переносятся в воздушно-космическое пространство / М. А. Гареев // Воздушно-космическая оборона. – М.: Россия, 2011. – Вып. 3. – С. 6.

3. Кругликов, В. В. Адаптивное управление зенитным ракетным оружием: моногр. / В. В. Кругликов, С. В. Кругликов. – Минск: ВА РБ, 2013. – 386 с.

4. Ерохин, И. В. Воздушно-космическая сфера и вооруженная борьба в ней / И. В. Ерохин. – Тверь: Тверская област. тип., 2008. – 239 с.

5. Зенитный ракетный комплекс «Оса» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rusarmy.com/pvo/pvo_vsk/zrk_osa.html (дата обращения: 30.03.2016).
6. Зенитный ракетный комплекс «Тор-М2» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rbase.new-factoria.ru/missile/wobb/torm/torm.shtml> (дата обращения: 21.03.2016).
7. Зенитный ракетный комплекс «Оса-АК» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://militaryrussia.ru/blog/topic-558.html> (дата обращения: 21.03.2016).
8. Алесин, А. «Оса» против «Топора». Беларусь пытается создать непреодолимый воздушный щит против НАТО / А. Алесин // Белорусский рынок. – 2004, 21–28 июня. – № 24 (608). – С. 4.
9. ЗСУ-23-4 «Шилка» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rusarmy.com/pvo/pvo_vsk/zak_shilka.html (дата обращения: 16.02.2016).
10. Зенитный ракетный комплекс Оса-АК [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата доступа: 14.02.2016).
11. Зенитный ракетный комплекс «Тор-М2» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rbase.new-factoria.ru/missile/wobb/torm/torm.shtml> (дата обращения: 14.02.2016).

*Сведения об авторах:

Денисенко Игорь Григорьевич.

Надейко Андрей Павлович.

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 13.10.2016 г.

МЕТОДОЛОГИЯ ВЫСОКОТОЧНОЙ ОПТИМАЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ, НАБЛЮДАЕМЫХ В СТОХАСТИЧЕСКИХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ СО СЛУЧАЙНО ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ СТРУКТУРОЙ (часть 2)

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

Данная статья является продолжением изложения методологии высокоточной нелинейной фильтрации многомерных негауссовых случайных процессов, наблюдаемых в стохастических динамических системах со случайно изменяющейся структурой.

The second part of the methodology of high-precision filtering with random variable structure for multidimensional nongaussian random processes, observable in stochastic dynamic systems, is developed.

Введение

В первой части статьи [1] были изложены введение в рассматриваемую проблематику, а также краткая характеристика всех девяти этапов разрабатываемой методики.

В данной второй части статьи подробно рассмотрены первые шесть этапов разрабатываемой методологии высокоточной фильтрации случайных процессов, наблюдаемых в стохастических динамических системах со случайно изменяющейся структурой (ДССС). В третьей части статьи будет раскрыто содержание седьмого, восьмого и девятого этапов методики.

В четвертой и последующих частях статьи будут рассмотрены примеры 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, медленных и быстрых мерцающих помех.

1. Содержание первого этапа методики высокоточной фильтрации негауссовых случайных процессов, наблюдаемых в ДССС

На первом этапе методики необходимо получить универсальные стохастические интегродифференциальные уравнения для апостериорных центральных моментов произвольного R -го порядка фильтруемого многомерного негауссового случайного процесса $Y^{(l)}(t)$, описываемого стохастическим дифференциальным уравнением вида (2), приведенным в [1]. Для этого запишем определение апостериорного центрального момента произвольного R -го порядка в следующем виде [2, 3]:

$$\hat{\mu}_{r_1 r_2 \dots r_R}^{(l)} = \left\langle \hat{Y}_{r_1}^{(l)} \hat{Y}_{r_2}^{(l)} \dots \hat{Y}_{r_R}^{(l)} \right\rangle^{(l)} = \int_{R^{Ny}} (y_{r_1} - \hat{M}_{r_1}^{(l)}) (y_{r_2} - \hat{M}_{r_2}^{(l)}) \dots (y_{r_R} - \hat{M}_{r_R}^{(l)}) f^{(l)}(y) dy, \quad (1)$$

где $\hat{Y}_{r_1}^{(l)} = (y_{r_1} - \hat{M}_{r_1}^{(l)})$ – центрированное значение первой фазовой координаты ДССС в l -м состоянии структуры;

$\hat{M}_{r_1}^{(l)}$ – апостериорное математическое ожидание первой фазовой координаты

фильтруемого многомерного процесса $Y_{r_1}^{(l)}$ в l -м состоянии.

Дифференцируя выражение (1) по аргументу t как сложную функцию, подставляя вместо производной условной апостериорной ПРВ ее значение из уравнения Стратоновича – Казакова, приведенного в [1], и вычисляя полученные при этом интегралы, получим универсальное стохастическое интегродифференциальное уравнение для апостериорного центрального момента произвольного R -го порядка многомерного фильтруемого процесса $Y^{(l)}(t)$ в l -м состоянии структуры ДССС вида

$$\begin{aligned} \dot{\hat{\mu}}_{\bar{r}}^{(l)} = & \left\langle \sum_{n=1}^R A_{r_n}^{(l)} \hat{E}_{\bar{r}(r_n)}^{(l)} \right\rangle^{(l)} + \left\langle \sum_{n=1}^R \sum_{s=n+1}^R B_{r_n r_s}^{(l)} \hat{Y}_{\bar{r}(r_n, r_s)}^{\circ(l)} \right\rangle^{(l)} - \\ & - \sum_{\substack{r=1 \\ r \neq l}}^S \langle v^{(l,r)}(Y) (\hat{E}_{\bar{r}}^{(l)} - \sum_{n=1}^R \hat{\mu}_{\bar{r}(r_n)}^{(l)} \hat{Y}_{r_n}^{\circ(l)}) \rangle^{(l)} + \\ & + \sum_{r=1}^S \frac{\hat{P}^{(r)}}{\hat{P}^{(l)}} \langle v^{(r,l)}(Y) (Q \hat{\Delta}_{\bar{r}}^{(r,l)} + \sum_{p=1}^{R-2} \sum_{\bar{q} \sim \bar{r}} \prod_{k=1}^p Q \hat{\Delta}_{r_k}^{(r,l)} Q \hat{\Delta}_{\bar{m}}^{(r,l)} + \prod_{n=1}^R Q \hat{\Delta}_{r_n}^{(r,l)}) \rangle^{(r)} - \\ & - \langle f^{(l)}(Y, z) (\hat{E}_{\bar{r}}^{(l)} - \sum_{n=1}^R \hat{\mu}_{\bar{r}(r_n)}^{(l)} \hat{Y}_{r_n}^{\circ(l)}) \rangle^{(l)} - \\ & - \sum_{r=1}^S \frac{(\hat{P}^{(r)})^2}{\hat{P}^{(l)}} \langle f^{(r)}(Y, z) \rangle^{(r)} \left(\hat{\Delta}_{\bar{r}}^{(r,l)} - \sum_{p=1}^{R-2} \sum_{\bar{q} \sim \bar{r}} \prod_{k=1}^p \hat{\Delta}_{r_k}^{(r,l)} \hat{\Delta}_{\bar{m}}^{(r,l)} + \prod_{n=1}^R \hat{\Delta}_{r_n}^{(r,l)} \right), \quad (2) \end{aligned}$$

где $\bar{r} = (r_1, r_2, \dots, r_R)$ – мультииндекс (векторный индекс);

$\bar{r}(r_n)$ – мультииндекс, полученный из мультииндекса \bar{r} исключением r_n -го индекса;

$\bar{r}(r_n, r_s)$ – мультииндекс, полученный из мультииндекса \bar{r} исключением r_n -го и r_s -го индексов;

$A_{r_n}^{(l)}$ – r_n -я компонента вектора сноса $A^{(l)}(Y, t)$ в l -м состоянии структуры ДССС;

$B_{r_n r_s}^{(l)}$ – $r_n r_s$ -я компонента диффузионной матрицы $B^{(l)}(Y, t)$ в l -м состоянии;

$\hat{Y}_{r_n}^{\circ(l)} = Y_{r_n}^{(l)} - M_{r_n}^{(l)}$ – центрированное значение $Y_{r_n}^{(l)}$ -й фазовой координаты в l -м состоянии;

$\hat{Y}_{\bar{r}(r_n, r_s)}^{\circ(l)} = \hat{Y}_{r_1}^{(l)} \hat{Y}_{r_{n-1}}^{(l)} \hat{Y}_{r_{n+1}}^{(l)} \dots \hat{Y}_{r_{s-1}}^{(l)} \hat{Y}_{r_{s+1}}^{(l)}$ – произведение центрированных значений фазовых координат, соответствующих мультииндексу $\bar{r}(r_n, r_s)$, в l -м состоянии структуры ДССС;

$\hat{E}_{\bar{r}}^{(l)} = \hat{Y}_{\bar{r}}^{\circ(l)} - \hat{\mu}_{\bar{r}}^{(l)}$ – отклонение произведения R центрированных фазовых координат от апостериорного центрального момента R -го порядка в l -м состоянии;

$\hat{E}_{\bar{r}(r_n)}^{(l)} = \hat{Y}_{\bar{r}(r_n)}^{\circ(l)} - \hat{\mu}_{\bar{r}(r_n)}^{(l)}$ – отклонение произведения центрированных значений фазовых координат, соответствующих мультииндексу $\bar{r}(r_n)$ от соответствующего апостериорного центрального момента $(R-1)$ -го порядка, в l -м состоянии;

$Q \hat{\Delta}_{\bar{r}}^{(r,l)} = Q \hat{\mu}_{\bar{r}}^{(r,l)} - \hat{\mu}_{\bar{r}}^{(r,l)}$ – апостериорные невязки центральных моментов восстановления

фазовых координат ДССС при переходе из r -го состояния структуры в l -е;

$Q\hat{\Delta}_{r_k}^{(r,l)} = Q\hat{M}_{r_k}^{(r,l)}(y) - \hat{M}_{r_k}^{(l)}$ – апостериорная невязка (разность) условий восстановления k -й фазовой координаты по математическому ожиданию при переходе ДССС из r -го состояния в l -е;

$\hat{\Delta}_{r_n}^{(r,l)} = \hat{\mu}_{r_n}^{(r)} - \hat{\mu}_{r_n}^{(l)}$ – апостериорные невязки (разности) апостериорных центральных моментов R -го порядка в l -м состоянии структуры ДССС относительно их значений в r -м состоянии;

$\hat{\Delta}_{r_n}^{(l,r)} = \hat{M}_{r_n}^{(l)} - \hat{M}_{r_n}^{(r)}$ – апостериорная невязка (разность) апостериорного математического ожидания $Y_{r_n}^{(l)}$ фазовой координаты в l -м состоянии структуры ДССС относительно его значения в r -м состоянии;

сумма $\sum_{\bar{q} \sim \bar{r}}$ означает, что суммирование производится по всем мультииндексам \bar{q} , подобным мультииндексу \bar{r} ;

$\hat{P}^{(r)}, \hat{P}^{(l)}$ – апостериорные вероятности состояний структуры ДССС, рассчитываемые по формуле [1, 2]:

$$\begin{aligned} \hat{P}^{(l)}(t) = & - \sum_{r=1}^S \hat{P}^{(l)}(t) \langle v^{(l,r)}(Y,t) \rangle^{(l)} + \sum_{r=1}^S \hat{P}^{(r)}(t) \langle v^{(r,l)}(Y,t) \rangle^{(r)} - \hat{P}^{(l)}(t) \langle f^{(l)}(Y,z,t) \rangle^{(l)} + \\ & + \sum_{r=1}^S (\hat{P}^{(r)}(t))^2 \langle f^{(r)}(Y,z,t) \rangle^{(r)}. \end{aligned} \quad (3)$$

2. Содержание второго этапа методики

На втором этапе методики на основании общего уравнения (2) записываются следующие уравнения для апостериорных центральных моментов, например первых четырех порядков ($R \leq 4$) для многомерного негауссового фильтруемого процесса $Y^{(l)}(t)$ в l -м состоянии структуры ДССС.

Уравнение для апостериорного математического ожидания p -й фазовой координаты в l -м состоянии структуры ДССС имеет вид

$$\begin{aligned} \hat{M}_p^{(l)} = & \langle A_p^{(l)}(Y) \rangle^{(l)} - \sum_{\substack{r=1 \\ r \neq l}}^S \left\langle v^{(l,r)}(Y) \hat{Y}_p^{(l)} \right\rangle^{(l)} + \sum_{\substack{r=1 \\ r \neq l}}^S \frac{\hat{P}^{(r)}}{\hat{P}^{(l)}} \langle v^{(r,l)}(Y) Q\hat{\Delta}^{(r,l)} \rangle^{(r)} - \\ & - \langle f^{(l)}(Y,z) \hat{Y}_p^{(l)} \rangle^{(l)} - \sum_{r=1}^S \frac{(\hat{P}^{(r)})^2}{\hat{P}^{(l)}} \langle f^{(r)}(Y,z) \rangle^{(r)} \hat{\Delta}_p^{(l,r)}, \end{aligned} \quad (4)$$

где $\hat{Y}_p^{(l)} = Y_p - \hat{M}_p^{(l)}$ – центрированное значение p -й фазовой координаты в l -м состоянии структуры ДССС;

$Q\hat{\Delta}_p^{(r,l)} = Q\hat{M}_p^{(r,l)}(y) - \hat{M}_p^{(l)}$ – апостериорная невязка по условному математическому ожиданию восстановления p -й фазовой координаты при переходе из r -го состояния структуры в l -е;

$\hat{\Delta}_p^{(l,r)} = \hat{M}_p^{(l)} - \hat{M}_p^{(r)}$ – апостериорная невязка по математическому ожиданию p -й фазовой координаты при переходе ДССС из l -го состояния в r -е.

Уравнение для корреляционного апостериорного момента p -й и k -й фазовых координат в l -м состоянии структуры ДССС имеет вид

$$\begin{aligned} \hat{D}_{pk}^{(l)} = & \left\langle A_p^{(l)}(Y) \hat{Y}_k^{(l)} + A_k^{(l)}(Y) \hat{Y}_p^{(l)} + B_{pk}^{(l)}(Y) \right\rangle^{(l)} - \sum_{\substack{r=1 \\ r \neq l}}^S \left\langle v^{(l,r)}(Y) \hat{E}_{pk}^{(l)} \right\rangle^{(l)} + \\ & + \sum_{r=1}^S \frac{\hat{P}^{(r)}}{\hat{P}^{(l)}} \left\langle v^{(r,l)}(Y) \left(Q \hat{\Delta}_{pk}^{(r,l)} + Q \hat{\Delta}_p^{(r,l)} Q \hat{\Delta}_k^{(r,l)} \right) \right\rangle^{(r)} - \left\langle f^{(l)}(Y, z) \hat{E}_{pk}^{(l)} \right\rangle^{(l)} - \\ & - \sum_{r=1}^S \frac{(\hat{P}^{(r)})^2}{\hat{P}^{(l)}} \left\langle f^{(r)}(Y, z) \right\rangle^{(r)} \left(\hat{\Delta}_{pk}^{(l,r)} - \hat{\Delta}_p^{(l,r)} \hat{\Delta}_k^{(l,r)} \right), \end{aligned} \quad (5)$$

где $\hat{E}_{pk}^{(l)} = \hat{Y}_p^{(l)} \hat{Y}_k^{(l)} - \hat{D}_{pk}^{(l)}$ – отклонение произведения двух центрированных случайных процессов (с указанными индексами) от их апостериорного усредненного значения (апостериорного взаимного корреляционного момента);

$Q \hat{\Delta}_{pk}^{(r,l)} = Q D_{pk}^{(r,l)}(y) - \hat{D}_{pk}^{(l)}$ – апостериорная невязка по условному апостериорному взаимному корреляционному моменту восстановления p -й и k -й фазовых координат (при $k=p$ это невязка по условной дисперсии восстановления p -й фазовой координаты) при переходе ДССС из r -го состояния в l -е;

$\hat{\Delta}_{pk}^{(l,r)} = \hat{D}_{pk}^{(l)} - \hat{D}_{pk}^{(r)}$ – апостериорная невязка по корреляционному моменту p -й и k -й фазовых координат (при $k=p$ это невязка по апостериорной дисперсии p -й фазовой координаты) при смене состояния структуры ДССС с l -го на r -е.

Выражение для центрального апостериорного вероятностного момента третьего порядка p , k и i -й фазовых координат в l -м состоянии структуры ДССС будет следующим:

$$\begin{aligned} \hat{\mu}_{pki}^{(l)} = & \left\langle A_p^{(l)}(Y) \hat{E}_{ki}^{(l)} + A_k^{(l)}(Y) \hat{E}_{pi}^{(l)} + A_i^{(l)}(Y) \hat{E}_{pk}^{(l)} \right\rangle^{(l)} + \left\langle B_{pk}^{(l)}(Y) \hat{Y}_i^{(l)} + B_{pi}^{(l)}(Y) \hat{Y}_k^{(l)} + B_{ki}^{(l)}(Y) \hat{Y}_p^{(l)} \right\rangle^{(l)} - \\ & - \sum_{\substack{r=1 \\ r \neq l}}^S \left\langle v^{(l,r)}(Y) \left(\hat{E}_{pki}^{(l)} - \hat{D}_{ki}^{(l)} \hat{Y}_p^{(l)} - \hat{D}_{pi}^{(l)} \hat{Y}_k^{(l)} - \hat{D}_{pk}^{(l)} \hat{Y}_i^{(l)} \right) \right\rangle^{(l)} + \\ & + \sum_{\substack{r=1 \\ r \neq l}}^S \frac{\hat{P}^{(r)}}{\hat{P}^{(l)}} \left\langle v^{(r,l)}(Y) \left(Q \hat{\Delta}_{pki}^{(r,l)} + Q \hat{\Delta}_p^{(r,l)} Q \hat{\Delta}_{ki}^{(r,l)} + Q \hat{\Delta}_k^{(r,l)} Q \hat{\Delta}_{pi}^{(r,l)} + Q \hat{\Delta}_i^{(r,l)} Q \hat{\Delta}_{pk}^{(r,l)} + \right. \right. \\ & \left. \left. + Q \hat{\Delta}_p^{(r,l)} Q \hat{\Delta}_k^{(r,l)} Q \hat{\Delta}_i^{(r,l)} \right) \right\rangle^{(r)} - \left\langle f^{(l)}(Y, z) \left(\hat{E}_{pki}^{(l)} - \hat{D}_{pk}^{(l)} \hat{Y}_i^{(l)} - \hat{D}_{pi}^{(l)} \hat{Y}_k^{(l)} - \hat{D}_{ki}^{(l)} \hat{Y}_p^{(l)} \right) \right\rangle^{(l)} - \\ & - \sum_{r=1}^S \frac{(\hat{P}^{(r)})^2}{\hat{P}^{(l)}} \left\langle f^{(r)}(Y, z) \right\rangle^{(r)} \left(\hat{\Delta}_{pki}^{(l,r)} - \hat{\Delta}_p^{(l,r)} \hat{\Delta}_{ki}^{(l,r)} - \hat{\Delta}_i^{(l,r)} \hat{\Delta}_{pk}^{(l,r)} - \hat{\Delta}_k^{(l,r)} \hat{\Delta}_{pi}^{(l,r)} - \hat{\Delta}_p^{(l,r)} \hat{\Delta}_k^{(l,r)} \hat{\Delta}_i^{(l,r)} \right), \end{aligned} \quad (6)$$

где $\hat{E}_{pki}^{(l)} = \hat{Y}_p^{(l)} \hat{Y}_k^{(l)} \hat{Y}_i^{(l)} - \hat{\mu}_{pki}^{(l)}$ – отклонение произведения трех центрированных случайных процессов с указанными индексами от их усредненного значения в l -м состоянии ДССС;

$Q \hat{\Delta}_{pki}^{(r,l)} = Q \hat{\mu}_{pki}^{(r,l)}(Y) - \hat{\mu}_{pki}^{(l)}$ – апостериорная невязка по третьему условному моменту

восстановления p , k и i -й фазовых координат при переходе ДССС из r -го состояния структуры в l -е;

$\hat{\Delta}_{pki}^{(l,r)} = \hat{\mu}_{pki}^{(l)} - \hat{\mu}_{pki}^{(r)}$ – апостериорная невязка по третьему центральному моменту p , k и i -й

фазовых координат при переходе из r -го состояния в l -е.

Уравнения для апостериорного центрального вероятностного момента четвертого порядка выглядят так:

$$\begin{aligned}
 \hat{\mu}_{pkij}^{(l)} = & \left\langle A_p^{(l)}(Y) \hat{E}_{kij}^{(l)} + A_k^{(l)}(Y) \hat{E}_{pij}^{(l)} + A_i^{(l)}(Y) \hat{E}_{pkj}^{(l)} + A_j(Y) \hat{E}_{pki}^{(l)} \right\rangle^{(l)} + \\
 & + \left\langle B_{pk}^{(l)}(Y) \overset{\circ}{Y}_i \overset{\circ}{Y}_j + B_{pi}^{(l)}(Y) \overset{\circ}{Y}_k \overset{\circ}{Y}_j + B_{pj}^{(l)}(Y) \overset{\circ}{Y}_k \overset{\circ}{Y}_i + B_{ki}^{(l)}(Y) \overset{\circ}{Y}_p \overset{\circ}{Y}_j + \right. \\
 & + B_{kj}^{(l)}(Y) \overset{\circ}{Y}_p \overset{\circ}{Y}_i + B_{ij}^{(l)}(Y) \overset{\circ}{Y}_p \overset{\circ}{Y}_k \left. \right\rangle^{(l)} - \sum_{\substack{r=1 \\ r \neq l}}^S \left\langle v^{(l,r)}(Y) (\hat{E}_{pkij}^{(l)} - \hat{\mu}_{pkij}^{(l)} \overset{\circ}{Y}_p - \right. \\
 & - \hat{\mu}_{pij}^{(l)} \overset{\circ}{Y}_k - \hat{\mu}_{pkj}^{(l)} \overset{\circ}{Y}_i - \hat{\mu}_{pki}^{(l)} \overset{\circ}{Y}_j) \left. \right\rangle^{(l)} + \sum_{r=1}^S \frac{\hat{P}^{(r)}}{\hat{P}^{(l)}} \left\langle v^{(r,l)}(Y) (Q \Delta_{pkij}^{(r,l)} + Q \Delta_p^{(r,l)} Q \Delta_{kj}^{(r,l)} + \right. \\
 & + Q \Delta_k^{(r,l)} Q \Delta_{pij}^{(r,l)} + Q \Delta_i^{(r,l)} Q \Delta_{pkj}^{(r,l)} + Q \Delta_j^{(r,l)} Q \Delta_{pki}^{(r,l)} + Q \Delta_p^{(r,l)} Q \Delta_k^{(r,l)} Q \Delta_{ij}^{(r,l)} + \\
 & + Q \Delta_p^{(r,l)} Q \Delta_i^{(r,l)} Q \Delta_{kj}^{(r,l)} + Q \Delta_p^{(r,l)} Q \Delta_j^{(r,l)} Q \Delta_{ki}^{(r,l)} + Q \Delta_k^{(r,l)} Q \Delta_i^{(r,l)} Q \Delta_{pj}^{(r,l)} + \\
 & + Q \Delta_k^{(r,l)} Q \Delta_j^{(r,l)} Q \Delta_{pi}^{(r,l)} + Q \Delta_i^{(r,l)} Q \Delta_j^{(r,l)} Q \Delta_{pk}^{(r,l)} + Q \Delta_p^{(r,l)} Q \Delta_k^{(r,l)} Q \Delta_i^{(r,l)} Q \Delta_j^{(r,l)}) \left. \right\rangle^{(r)} - \\
 & - \left\langle f^{(l)}(Y, z) (\hat{E}_{pkij}^{(l)} - \hat{\mu}_{pki}^{(l)} \overset{\circ}{Y}_j - \hat{\mu}_{pkj}^{(l)} \overset{\circ}{Y}_i - \hat{\mu}_{kij}^{(l)} \overset{\circ}{Y}_p - \hat{\mu}_{pij}^{(l)} \overset{\circ}{Y}_k) \right\rangle^{(l)} - \\
 & - \sum_{r=1}^S \frac{(\hat{P}^{(r)})^2}{\hat{P}^{(l)}} \left\langle f^{(r)}(Y, z) \right\rangle^{(r)} \left(\hat{\Delta}_{pkij}^{(l,r)} - \hat{\Delta}_{pki}^{(l,r)} \hat{\Delta}_j^{(l,r)} - \hat{\Delta}_{pkj}^{(l,r)} \hat{\Delta}_i^{(l,r)} - \hat{\Delta}_{kij}^{(l,r)} \hat{\Delta}_p^{(l,r)} - \right. \\
 & - \hat{\Delta}_{pij}^{(l,r)} \hat{\Delta}_k^{(l,r)} - \hat{D}_{pk}^{(r)} \hat{\Delta}_i^{(l,r)} \hat{\Delta}_j^{(r,l)} - \hat{D}_{pi}^{(r)} \hat{\Delta}_k^{(l,r)} \hat{\Delta}_j^{(r,l)} - \hat{D}_{ki}^{(r)} \hat{\Delta}_p^{(l,r)} \hat{\Delta}_j^{(r,l)} - \hat{D}_{pj}^{(r)} \hat{\Delta}_k^{(l,r)} \hat{\Delta}_i^{(r,l)} - \\
 & \left. - \hat{D}_{kj}^{(r)} \hat{\Delta}_p^{(l,r)} \hat{\Delta}_i^{(r,l)} - \hat{D}_{ij}^{(r)} \hat{\Delta}_p^{(l,r)} \hat{\Delta}_k^{(r,l)} + \hat{\Delta}_p^{(l,r)} \hat{\Delta}_k^{(l,r)} \hat{\Delta}_i^{(l,r)} \hat{\Delta}_j^{(l,r)} \right), \quad (7)
 \end{aligned}$$

где $\hat{E}_{pkij}^{(l)} = \overset{\circ}{Y}_p \overset{\circ}{Y}_k \overset{\circ}{Y}_i \overset{\circ}{Y}_j - \hat{\mu}_{pkij}^{(l)}$ – отклонение произведения четырех центрированных случайных процессов (с указанными индексами) от их апостериорного усредненного значения в l -м состоянии структуры ДССС;

$Q \hat{\Delta}_{pkij}^{(r,l)} = Q \hat{\mu}_{pkij}^{(r,l)}(Y) - \hat{\mu}_{pkij}^{(l)}$ – апостериорная невязка по четвертому условному моменту восстановления p , k , i и j -й фазовых координат при переходе ДССС из r -го состояния в l -е;

$\hat{\Delta}_{pkij}^{(l,r)} = \hat{\mu}_{pkij}^{(l)} - \hat{\mu}_{pkij}^{(r)}$ – апостериорная невязка по апостериорному центральному моменту 4-го порядка p , k , i и j -й фазовых координат при переходе ДССС из r -го состояния в l -е.

Для ДССС с автономными и полуавтономными переходами интегродифференциальные уравнения (4) – (7) упрощаются, так как в них интенсивности смены состояний $v^{(r,l)}$ и $v^{(l,r)}$ можно вынести за знак усреднения вследствие их независимости от Y .

Отметим, что уравнения вида (4) – (7) являются универсальными интегро-дифференциальными уравнениями, так как в них производные апостериорных центральных моментов не зависят от конкретного вида математической модели фильтруемого процесса, канала наблюдения и процесса смены состояний структуры ДССС, а выражены через их обобщенные характеристики, т. е. через коэффициенты вектора сноса $A^{(l)}(Y, t)$, элементы матрицы диффузии $B^{(l)}(Y, t)$, обновляющий процесс $f^{(l)}(Y, z, t)$, а также интенсивности смены состояний структуры $v^{(l,r)}(Y)$ и $v^{(r,l)}(Y)$.

Данные уравнения вида (4) – (7) являются более простыми по сравнению с известными уравнениями для апостериорных кумулянтов [1–6] и позволяют учесть негауссовый характер апостериорной ПРВ при порядке учитываемого центрального вероятностного момента $R > 2$.

3. Содержание третьего этапа методики

На третьем этапе методики требуется получить развернутую систему стохастических интегродифференциальных уравнений для апостериорных центральных моментов фильтруемого процесса исходя из конкретного вида математических моделей фильтруемого процесса $y_p^{(l)}(t)$ и канала наблюдения $z_p^{(l)}(t)$ для каждого l -го ($l = \overline{1, S}$) состояния структуры ДССС, выражения для которых приведены в первой части статьи [1]. Для этого необходимо выполнить следующие четыре подэтапа работ:

первый – исходя из вида СДУ (2), приведенного в [1], по известной методике [2, 7–10] записать выражения для p -го элемента вектора сноса $A_p^{(l)}(Y)$ и pk -го элемента матрицы диффузии $B_{pk}^{(l)}(Y)$ в l -м состоянии структуры ДССС;

второй – для заданного класса математической модели стохастического канала наблюдения вида (3), приведенного в [1], записать выражение для обновляющего процесса $f^{(l)}(Y, z, t)$ в l -м состоянии;

третий – в универсальных стохастических интегродифференциальных уравнениях для апостериорных центральных моментов вида (4) – (7) вычислить все усреднения вида

$$\langle f^{(l)}(Y, z) \overset{\circ}{Y}_p^{(l)} \rangle^{(l)}, \quad \langle f^{(l)}(Y, z) \overset{\circ}{Y}_p^{(l)} \overset{\circ}{Y}_k^{(l)} \rangle^{(l)}, \quad \langle f^{(l)}(Y, z) \overset{\circ}{Y}_p^{(l)} \overset{\circ}{Y}_k^{(l)} \overset{\circ}{Y}_i^{(l)} \rangle^{(l)}, \quad \langle f^{(l)}(Y, z) \overset{\circ}{Y}_p^{(l)} \overset{\circ}{Y}_k^{(l)} \overset{\circ}{Y}_i^{(l)} \overset{\circ}{Y}_j^{(l)} \rangle^{(l)};$$

четвертый – подставить полученные выражения для элементов вектора сноса, элементов матрицы диффузии и усреднений, содержащих обновляющий процесс, в универсальные стохастические интегродифференциальные уравнения вида (4) – (7).

Указанные четыре подэтапа работ выполнены и описаны в предыдущей статье авторов [3]. Отличие состоит лишь в том, что все входящие в эти формулы случайные процессы и коэффициенты записываются с индексом l вверху, т. е. они берутся для l -го состояния структуры ДССС. В результате получаются системы стохастических интегродифференциальных уравнений для апостериорных центральных моментов требуемого порядка в l -м состоянии структуры ДССС для конкретных видов математических моделей фильтруемого процесса $y_p^{(l)}(t)$ и канала наблюдения $z_p^{(l)}(t)$, приведенных в [1].

4. Содержание четвертого этапа методики

На четвертом этапе методики необходимо получить развернутую систему стохастических дифференциальных уравнений для апостериорных центральных моментов требуемого порядка путем раскрытия всех усреднений в правых частях интегродифференциальных уравнений для апостериорных центральных моментов требуемого порядка (вида (4) – (7)).

Наиболее эффективно раскрытие этих усреднений можно осуществить с использованием нового метода статистической аппроксимации произвольных нелинейностей, разработанного профессором И. М. Косачевым и его учеником М. Г. Ерошенковым и изложенного в [2, 3].

Отметим, что полученные таким образом уравнения для апостериорных центральных моментов вида (4) – (7) являются стохастическими ввиду наличия в их правых частях шумов канала наблюдения (в наблюдаемый процесс $z_p^{(l)}(t)$ входит шум канала наблюдения $N_l(t)$). Эту специфику необходимо учитывать при численном интегрировании этих уравнений.

5. Содержание пятого этапа методики

На пятом этапе методики осуществляются усечение и замыкание системы стохастических дифференциальных уравнений для апостериорных центральных моментов требуемого порядка фильтруемого процесса в каждом l -м состоянии структуры ДССС. Эта задача решается в два подэтапа.

На первом подэтапе рассчитываются апостериорные кумулянты фильтруемого кусочно-непрерывного процесса $Y^{(l)}(t)$ в каждом l -м состоянии структуры ДССС по формуле [2]:

$$\hat{\chi}_{\bar{r}}^{(l)} = \sum_{k=1}^{n_2(R)} \sum_{\bar{q} \approx \bar{r}} \prod \hat{\chi}_{\bar{q}_k}^{(l)} = \hat{\mu}_{\bar{r}}^{(l)}, \quad (8)$$

где $\hat{\chi}_{\bar{r}}^{(l)}$ – апостериорный кумулянт фильтруемого кусочно-непрерывного процесса $Y^{(l)}(t)$ в l -м состоянии структуры ДССС, соответствующий мультииндексу \bar{r} ;

$n_2(R)$ – число простых аддитивных разложений второго и более высокого порядков числа R [2,11], например $6 = 2 + 4 = 3 + 3 = 2 + 2 + 2$;

$\bar{q}_k \approx \bar{r}$ означает, что суммирование производится по всем мультииндексам \bar{q}_k , подобным мультииндексу \bar{r} и соответствующим k -му аддитивному разложению, т. е. q_k получается перестановкой индексов из r и является произведением независимых циклов [11];

$\prod \hat{\chi}_{\bar{q}_k}^{(l)}$ – произведение апостериорных кумулянтов, соответствующее мультииндексу \bar{q}_k и k -му аддитивному разложению числа R .

Отметим, что необходимость расчета апостериорных кумулянтов фильтруемого кусочно-непрерывного процесса $Y^{(l)}(t)$ обусловлена тем, что его апостериорные центральные моменты $\hat{\mu}_{\bar{r}}^{(l)}$ не обладают свойством монотонности затухания с ростом их порядка. Например, для одномерного гауссового случайного процесса $Y^{(l)}(t)$ третий и все другие нечетные высшие центральные моменты равны нулю, центральный момент четвертого порядка равен $3 D_y^2$, а шестого порядка равен $15 D_y^3$ (где D_y – дисперсия случайного процесса $Y^{(l)}(t)$).

Данное обстоятельство не позволяет осуществить обоснованное усечение и замыкание полученной развернутой системы стохастических дифференциальных уравнений для апостериорных центральных моментов фильтруемого кусочно-непрерывного процесса $Y^{(l)}(t)$.

Свойством монотонности затухания обладают кумулянты (семиинварианты) случайного фильтруемого процесса $Y^{(l)}(t)$. Поэтому, задавшись допустимой относительной погрешностью решения задачи оптимальной нелинейной фильтрации случайного процесса в ДССС, можно приравнять к нулю апостериорные кумулянты высших порядков, например начиная с пятого порядка. Благодаря тому, что порядок отбрасываемого апостериорного кумулянта совпадает с порядком апостериорного центрального момента фильтруемого процесса, это позволяет обоснованно усечь систему уравнений для этих центральных моментов.

Проведенные исследования показали, что при учете апостериорных центральных моментов (кумулянтов) до четвертого порядка включительно ошибка фильтрации не превышает 10–15 % практически при любом виде одномодальной апостериорной ПРВ фильтруемого процесса. При учете апостериорных центральных моментов (кумулянтов) до шестого порядка включительно ошибка фильтрации не превышает 2–5 % при любом виде одномодальной апостериорной ПРВ фильтруемого процесса. Поэтому при построении оптимальных высокоточных фильтров нет необходимости учитывать апостериорные центральные моменты (кумулянты) выше шестого порядка.

На втором подэтапе осуществляется замыкание усеченной системы апостериорных центральных моментов фильтруемого кусочно-непрерывного процесса $Y^{(l)}(t)$ путем:

приравнивания к нулю первого из отбрасываемых апостериорных кумулянтов;
нахождения из формул связи апостериорных кумулянтов и апостериорных центральных моментов значения отбрасываемого высшего апостериорного центрального момента через аналогичные моменты более низших порядков;

замены в уравнениях для апостериорных центральных моментов значений отбрасываемых высших апостериорных центральных моментов на их значения, выраженные через апостериорные моменты более низших порядков.

Уравнения связи апостериорных кумулянтов с апостериорными центральными моментами для одномерного фильтруемого случайного процесса $Y^{(l)}(t)$ имеют вид [2–4, 12]:

$$\begin{aligned}\hat{\chi}_1 &= \hat{M}; \hat{\chi}_2 = \hat{D}; \hat{\chi}_3 = \mu_3; \hat{\chi}_4 = \hat{\mu}_4 - 2\hat{D}^2; \hat{\chi}_5 = \hat{\mu}_5 - 10\hat{D}\hat{\mu}_3; \\ \hat{\chi}_6 &= \hat{\mu}_6 - 15\hat{D}\hat{\mu}_4 - 10\hat{\mu}_3^2 + 30\hat{D}^3; \hat{\chi}_7 = \hat{\mu}_7 - 35\hat{\mu}_3\hat{\mu}_4 - 21\hat{D}\hat{\mu}_5 + 21\hat{D}^2\hat{\mu}_3; \\ \hat{\chi}_8 &= \hat{\mu}_8 - 28\hat{D}\hat{\mu}_4 + 420\hat{D}^2\hat{\mu}_4 - 56\hat{\mu}_3\hat{\mu}_5 + 560\hat{D}\hat{\mu}_3^2 - 35\hat{\mu}_4^2 - 630\hat{D}^4.\end{aligned}\quad (9)$$

В выражении (9) для упрощения записи верхний индекс l в апостериорных кумулянтах и центральных вероятностных моментах, указывающий на номер состояния структуры ДССС, опущен.

При отбрасывании в процессе решения задачи фильтрации, например, кумулянта пятого порядка из уравнения $\hat{\chi}_5 = \hat{\mu}_5 - 10\hat{D}\hat{\mu}_3$ будем иметь: $0 = \hat{\mu}_5 - 10\hat{D}\hat{\mu}_3$. Отсюда находим, что $\hat{\mu}_5 = 10\hat{D}\hat{\mu}_3$. Путем замены в системе СДУ для апостериорных центральных моментов до четвертого порядка включительно значения $\hat{\mu}_5$ на $10\hat{D}\hat{\mu}_3$ осуществляем замыкание данной системы СДУ.

6. Содержание шестого этапа методики

На шестом этапе методики рассчитываются безусловные (итоговые с учетом наличия S состояний структуры) апостериорные центральные моменты фильтруемого вектора фазовых координат ДССС по следующим формулам связи (в данных формулах для упрощения записи индекс времени t опущен):

для математического ожидания p -й фазовой координаты

$$\hat{M}_p = \sum_{l=1}^S \hat{P}^{(l)} \hat{M}_p^{(l)}; \quad (10)$$

для корреляционного момента p -й и k -й фазовых координат (при $k=p$ это апостериорная дисперсия p -й фазовой координаты)

$$\hat{D}_{pk} = \sum_{l=1}^S \hat{P}^{(l)} \hat{D}_{pk}^{(l)} + \sum_{l=1}^S \hat{P}^{(l)} (\hat{M}_p^{(l)} - \hat{M}_p)(\hat{M}_k^{(l)} - \hat{M}_k); \quad (11)$$

для третьего центрального момента p , k и i -й фазовых координат

$$\hat{\mu}_{pki} = \sum_{l=1}^S \hat{P}^{(l)} \left[\hat{\mu}_{pki}^{(l)} + (\hat{M}_p^{(l)} - \hat{M}_p) \hat{D}_{ki}^{(l)} + (\hat{M}_k^{(l)} - \hat{M}_k) \hat{D}_{pi}^{(l)} + (\hat{M}_i^{(l)} - \hat{M}_i) \hat{D}_{pk}^{(l)} + (\hat{M}_p^{(l)} - \hat{M}_p)(\hat{M}_k^{(l)} - \hat{M}_k)(\hat{M}_i^{(l)} - \hat{M}_i) \right] \quad (12)$$

для центрального момента четвертого порядка p , k , i и j -й фазовых координат

$$\begin{aligned} \hat{\mu}_{pkij} = \sum_{l=1}^S \hat{P}^{(l)} & \left[\hat{\mu}_{pkij}^{(l)} + (\hat{M}_p^{(l)} - \hat{M}_p) \hat{\mu}_{kij}^{(l)} + (\hat{M}_k^{(l)} - \hat{M}_k) \hat{\mu}_{pij}^{(l)} + (\hat{M}_i^{(l)} - \hat{M}_i) \hat{\mu}_{pkj}^{(l)} + \right. \\ & + (\hat{M}_j^{(l)} - \hat{M}_j) \hat{\mu}_{pki}^{(l)} + (\hat{M}_p^{(l)} - \hat{M}_p)(\hat{M}_k^{(l)} - \hat{M}_k) \hat{D}_{ij}^{(l)} + (\hat{M}_p^{(l)} - \hat{M}_p)(\hat{M}_i^{(l)} - \hat{M}_i) - \\ & - \hat{M}_i) \hat{D}_{kj}^{(l)} + (\hat{M}_p^{(l)} - \hat{M}_p)(\hat{M}_j^{(l)} - \hat{M}_j) \hat{D}_{ki}^{(l)} + (\hat{M}_k^{(l)} - \hat{M}_k)(\hat{M}_i^{(l)} - \hat{M}_i) \hat{D}_{pj}^{(l)} + \\ & + (\hat{M}_k^{(l)} - \hat{M}_k)(\hat{M}_j^{(l)} - \hat{M}_j) \hat{D}_{pi}^{(l)} + (\hat{M}_i^{(l)} - \hat{M}_i)(\hat{M}_j^{(l)} - \hat{M}_j) \hat{D}_{pk}^{(l)} + \\ & \left. + (\hat{M}_p^{(l)} - \hat{M}_p)(\hat{M}_k^{(l)} - \hat{M}_k)(\hat{M}_i^{(l)} - \hat{M}_i)(\hat{M}_j^{(l)} - \hat{M}_j) \right]. \quad (13) \end{aligned}$$

Входящие в уравнения вида (10) – (13) апостериорные вероятности смены состояний структуры ДССС $\hat{P}^{(r)}$ и $\hat{P}^{(l)}$ рассчитываются по формуле (3).

В третьей части статьи будет подробно изложено содержание остальных трех этапов данной методики, а также заключение по теоретической части статьи.

Список литературы

1. Косачев, И. М. Методология высокоточной оптимальной фильтрации случайных процессов, наблюдаемых в стохастических динамических системах со случайно изменяющейся структурой (ч. 1) / И. М. Косачев, Ю. Е. Кулешов // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2016. – № 3 (52). – С. 57–66.
2. Косачев, И. М. Аналитическое моделирование стохастических систем / И. М. Косачев, М. Г. Ерошенков. – Минск: Навука і тэхніка, 1993. – 264 с.
3. 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.
4. Малахов, А. Н. Кумулянтный анализ негауссовых случайных процессов и их преобразования / А. Н. Малахов. – М.: Сов. радио, 1978.
5. Дашевский, М. Л. Семиинвариантный метод замыкания уравнений для моментов в задачах анализа нелинейных систем / М. Л. Дашевский // Проблемы упр. и теория информ. – 1975. – № 4. – С. 317–328.
6. Кошкарлова, А. Г. Модифицированные семиинвариантные методы анализа стохастических систем / А. Г. Кошкарлова, В. И. Шин // Автоматика и телемеханика. – 1986. – № 2. – С. 69–79.
7. Пугачев, В. С. Теория стохастических систем / В. С. Пугачев, И. Н. Сеницын. – М.: Логос, 2004.
8. Кузнецов, Д. Ф. Стохастические дифференциальные уравнения: теория и практика численного решения / Д. Ф. Кузнецов. – СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2010. – 816 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. Владимиров, В. С. Обобщенные функции в математической физике / В. С. Владимиров. – М.: Наука, 1979. – 320 с.
12. Млечин, В. В. Теория радиоэлектронного преодоления. Анализ воздействия помех на радиотехнические системы и устройства / В. В. Млечин. – М.: Радиотехника, 2009. – 976 с.

*Сведения об авторах:

Косачев Иван Михайлович.

Кулешов Юрий Евгеньевич.

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 7.09.2016 г.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И КОМПЕНСАЦИЯ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ОШИБОК СРЕДСТВ РАЗВЕДКИ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА

С. В. Потетенко*

В статье описана разработанная модель процесса определения и компенсации систематических ошибок измерения координат воздушных объектов средствами разведки воздушного пространства. Рассмотрен пример динамики изменения точности оценки значений систематических ошибок, определено количество измерений, требуемых для достижения необходимой и достаточной точности измерения координат воздушных объектов.

In the article the designed process model of air objects biases definition and compensation by airspace reconnaissance means is presented. An example of dynamics of biases value accuracy estimation is provided, quantity of measurements for adequate accuracy of air objects coordinates is determined.

Основной причиной снижения качества управления активными средствами ПВО являются недостаточные точность и оперативность информации о воздушной обстановке [1], особенно при наличии внезапно появляющихся или маневрирующих целей. Возможные пути их повышения рассмотрены в [2, 3], при этом наиболее рациональным является объединение данных от множества средств разведки воздушного пространства (СРВП), использующих различные физические принципы получения информации. Различные способы организации обработки информации в многодатчиковой системе [4, 5] (радиолокационная сеть, распределенная радиолокационная система, мультирадарная система и т. п.) подразумевают отсутствие систематических ошибок измерения координат и параметров воздушных объектов (ВО). При наличии указанных систематических ошибок целесообразность объединения информации от различных СРВП является открытым вопросом [6].

Источники и причины возникновения систематических ошибок измерения в радиолокационных системах подробно рассмотрены в [7], а для их устранения в настоящее время применяется юстировка средств измерения координат и параметров траектории в ходе технического обслуживания. Дрейф параметров электронных компонентов и их зависимость от факторов внешней среды, ошибки определения текущего местоположения и ориентации СРВП в пространстве в совокупности с множеством других неучтенных факторов внешней среды приводят к появлению систематических ошибок даже у тщательно отъюстированных СРВП. Скоротечность ведения боевых действий и возможное отсутствие реперных точек затрудняют юстирование СРВП непосредственно перед началом разведки, следовательно, на пункте обработки (объединения) информации от нескольких СРВП необходимо учитывать возможное наличие систематической ошибки в данных о координатах сопровождаемых ВО.

Виды систематических ошибок СРВП, общие подходы к их оценке по данным от нескольких СРВП и порядок компенсации описаны в [8]. Порядок оценки допустимого значения ошибок рассмотрен в [1], однако требуются уточнение методики определения значений систематических ошибок СРВП и оценка затрачиваемого времени на достижение их необходимого и достаточного уровней. Для решения указанных задач автором разработана имитационная математическая модель процесса оценивания систематических ошибок измерения координат ВО трехкоординатной РЛС на основе сопоставления полученных результатов измерений координат с траекториями сопровождаемых в системе ВО.

С учетом того, что в условиях огневого и информационного противодействия противника время сопровождения ВО активными средствами разведки и время пребывания ВО в зоне обнаружения пассивного средства разведки, как правило, не превышает нескольких десятков секунд, при моделировании используются данные одиночных

измерений (оценок) текущего местоположения ВО по совокупной информации различных СРВП.

Структура модели представлена на рисунке 1.

При разработке модели были приняты следующие допущения и ограничения:

местоположение исследуемого СРВП известно с достаточной точностью;

систематические ошибки определения координат сопровождаемых ВО в системе существенно меньше случайных и не влияют на процесс сопровождения трасс ВО;

значения случайных ошибок определения координат сопровождаемых ВО в системе известны, аномальные значения измерений [5] отсутствуют;

все траектории ВО сопровождаются без срывов и пропусков;

задача отождествления данных от исследуемого СРВП с сопровождаемыми в системе траекториями ВО решается безошибочно;

в качестве исследуемого СРВП выбрана трехкоординатная РЛС с известными характеристиками.

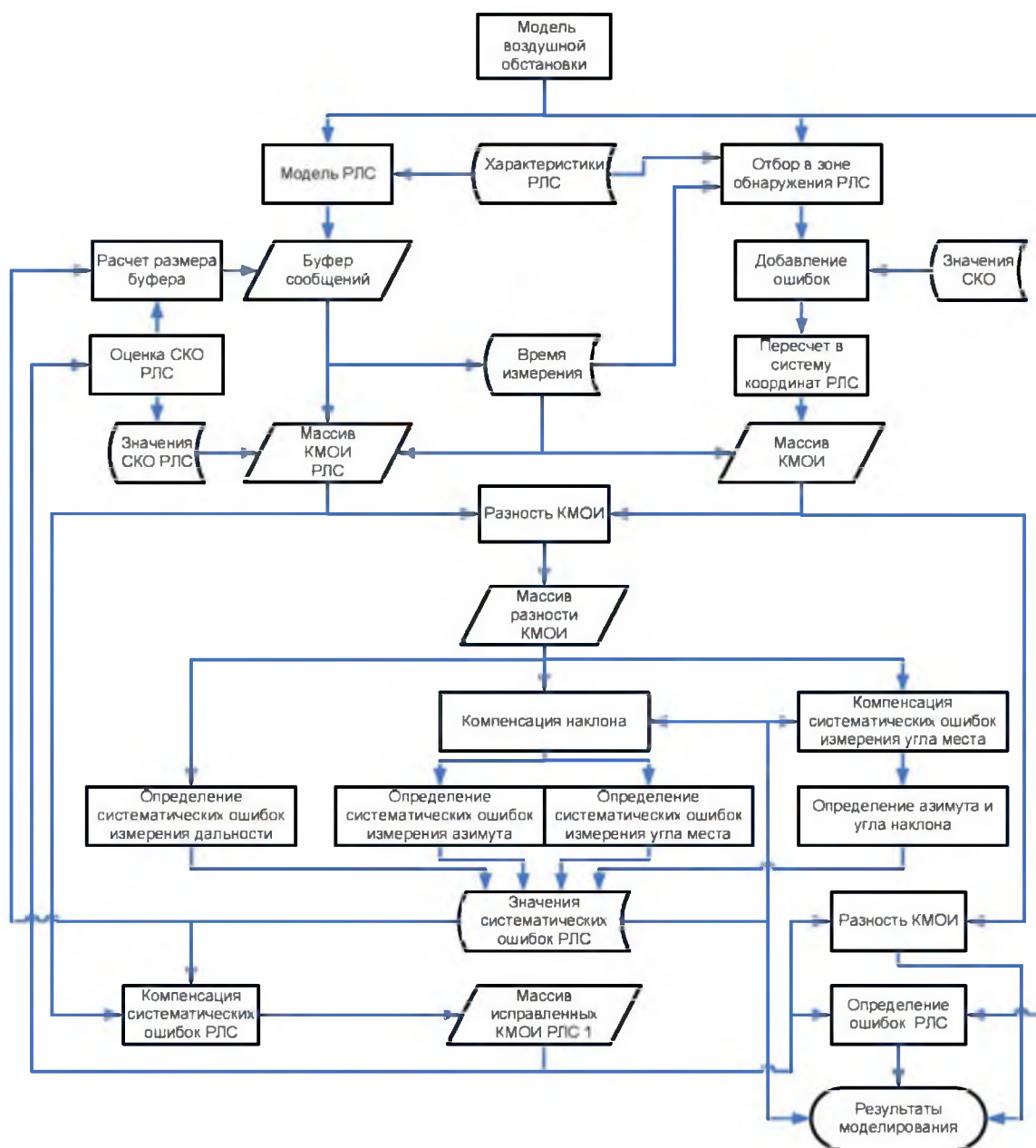


Рисунок 1. – Структура модели определения систематических ошибок измерения координат ВО трехкоординатной РЛС

Модель воздушной обстановки осуществляет формирование совокупности траекторий ВО в пределах зоны обнаружения исследуемой РЛС с заданным распределением в указанном диапазоне высот, скоростей и курсов. Модель РЛС формирует поток выходных сообщений о измеренных значениях координат ВО в пределах своей зоны обнаружения и времени их измерения. Значения координат ВО включают случайные ошибки их измерения в соответствии с ТТХ данного типа РЛС и дополнительно введенные систематические ошибки, источниками которых могут являться неточная юстировка оборудования и неточная ориентация антенных систем в пространстве.

Выходные сообщения модели РЛС накапливаются в буфере сообщений динамически изменяемого размера. Накопленные данные применяются для формирования [4] массива ковариационных матриц ошибок измерения (КМОИ) координат с использованием известных значений среднеквадратических ошибок (СКО) их измерения [8].

Из множества сопровождаемых в системе трасс ВО [7] отбираются находящиеся в пределах зоны обнаружения исследуемой РЛС. На каждый момент времени, соответствующий значениям времени измерения исследуемой РЛС, определяются КМОИ сопровождаемых ВО, которые, после пересчета в полярную систему координат исследуемой РЛС, вместе с КМОИ от исследуемой РЛС используются для вычисления значений массива разности КМОИ, характеризующего ошибки измерения координат ВО исследуемой РЛС относительно имеющихся в системе координат ВО.

Оценивание систематических абсолютных и относительных ошибок измерения координат производится по мере накопления данных и требует не менее трех измерений. В полярной системе координат отсутствует корреляция ошибок измерения дальности с ошибками измерения угловых координат, что позволяет использовать для определения абсолютных и относительных систематических ошибок измерения дальности непосредственно данные массива разности КМОИ. Оценки абсолютных и относительных систематических ошибок рассчитываются как коэффициенты полинома линейной регрессии [9] значений ошибок измерения дальности выбранного по критерию минимума взвешенного среднеквадратического отклонения:

$$\min_{k_{d1} k_{d2}} M \left[v_i (\Delta d_i - k_{d1} D_i - k_{d2})^2 \right] | i \in [1 : n_b], \quad (1)$$

где k_{d1} и k_{d2} – оценка значений относительных и абсолютных систематических ошибок измерения дальности соответственно; M – оператор «математическое ожидание»; v_i – вес i -го измерения дальности; Δd_i – ошибка i -го измерения дальности; D_i – значение i -го измерения дальности; n_b – размер буфера сообщений.

Веса значений ошибок обратно пропорциональны дисперсии их измерения:

$$v_i = (D_d^{\text{РЛС}} + D_d^{\text{соп}})^{-1}, \quad (2)$$

где $D_d^{\text{РЛС}}$ – дисперсия ошибок измерения дальности исследуемой РЛС, $D_d^{\text{соп}}$ – дисперсия ошибок измерения дальности сопровождаемой в системе траектории ВО.

Систематические ошибки измерения азимута и угла места определяются аналогично (1), (2), но используются данные массива разности КМОИ, предварительно скорректированные с учетом известных ошибок, вызванных наклоном РЛС относительно горизонта. Корректированное значение разности измерения азимута ($\Delta\beta_k$) каждого ВО рассчитывается как

$$\Delta\beta_k = \Delta\beta - \varepsilon_{\text{ВО}} \sin(\beta_{\text{н}} - \beta_{\text{ВО}}) \sin(\varepsilon_{\text{н}}), \quad (3)$$

где $\Delta\beta$ – разность измерения азимута; $\beta_{\text{ВО}}$ и $\varepsilon_{\text{ВО}}$ – измеренные значения азимута и угла места ВО; $\beta_{\text{н}}$ и $\varepsilon_{\text{н}}$ – известные значения азимута и угла наклона РЛС относительно горизонта.

Соответственно, скорректированное значение разности измерения угла места ($\Delta\varepsilon_k$) каждого ВО рассчитывается как

$$\Delta\varepsilon_k = \Delta\varepsilon - \varepsilon_H \cos(\beta_H - \beta_{BO}), \quad (4)$$

где $\Delta\varepsilon$ – разность измерения угла места.

Для определения наклона РЛС используются скорректированные, в соответствии с известными значениями систематических ошибок измерения угла места (относительные $k_{\varepsilon 1}$ и абсолютные $k_{\varepsilon 2}$), значения разности угла места из массива разности КМОИ:

$$\Delta\varepsilon_k = \Delta\varepsilon - k_{\varepsilon 1} \varepsilon_{BO} - k_{\varepsilon 2}, \quad (5)$$

где $\Delta\varepsilon_k$ – скорректированное значение разности измерения угла места.

Ковариация полученных (5) значений с периодическими функциями азимута вида $\sin(\beta_{BO})$ и $\cos(\beta_{BO})$ позволяет определить направление β_H и величину наклона ε_H исследуемой РЛС:

$$\beta_H = \arctg \left(\frac{\text{cov}(\Delta\varepsilon_k, \sin(\beta_{BO}))}{\text{cov}(\Delta\varepsilon_k, \cos(\beta_{BO}))} \right); \quad \varepsilon_H = \sqrt{(\text{cov}(\Delta\varepsilon_k, \sin(\beta_{BO}))^2 + (\text{cov}(\Delta\varepsilon_k, \cos(\beta_{BO}))^2)}. \quad (6)$$

Полученные значения систематических ошибок позволяют произвести их компенсацию и сформировать массив исправленных КМОИ. Далее известными методами [9] можно оценить значения среднеквадратических отклонений ошибок измерения дальности, азимута и угла места (σ_d , σ_β , σ_ε), которые впоследствии используются для формирования КМОИ по данным из буфера входных сообщений и для определения размера самого буфера.

Максимальный размер буфера ограничивается количеством измерений после маневра РЛС, вычислительными ресурсами (выделенными для решения задачи определения систематических ошибок) и уровнем достаточности, при котором дальнейшее увеличение размера буфера не оказывает заметного влияния на результат. Первое ограничение задается командой начальной инициализации. Второе ограничение является несущественным при современном уровне развития вычислительной техники. Размер буфера можно считать достаточным при выполнении условия

$$\left((t_C \sigma_{md})^2 < \chi \sigma_d^2 \right) \wedge \left((t_C \sigma_{m\beta})^2 < \chi \sigma_\beta^2 \right) \wedge \left((t_C \sigma_{m\varepsilon})^2 < \chi \sigma_\varepsilon^2 \right), \quad (7)$$

где σ_{md} , $\sigma_{m\beta}$, $\sigma_{m\varepsilon}$ – среднеквадратические ошибки определения систематических ошибок по дальности, азимуту и углу места соответственно; t_C – коэффициент Стьюдента для заданной вероятности выполнения условия достаточности (например, $t_C = 1,96$ для вероятности 0,95); χ – коэффициент статистической значимости (0,001–0,03); σ_d , σ_β , σ_ε – среднеквадратические ошибки измерения дальности, азимута и угла места соответственно.

Сравнение данных массива исправленных (после коррекции систематических ошибок измерения) КМОИ исследуемой РЛС с параметрами эталонных траекторий ВО (от модели воздушной обстановки) позволяет определить текущие значения систематических ошибок измерения координат ВО исследуемой РЛС после компенсации. Указанные данные, сопоставленные с порядковым номером и временем измерения, являются результатами моделирования и позволяют оценить динамику исследуемых процессов определения и компенсации систематических ошибок измерения.

В целях оценки работоспособности методики определения систематических абсолютных и относительных ошибок измерений координат, а также количества измерений, требуемых для получения необходимой и достаточной точности определения значений

систематических ошибок измерения координат проведено моделирование со следующими условиями и допущениями.

Исследуемая РЛС – 19Ж6М, модернизированная ОАО «2566-й завод по ремонту радиоэлектронного вооружения», характеристики соответствуют указанным в [10], режим обзора пространства в угломестной плоскости № 1 [11], скорость вращения антенны 6 об/мин, режим частого запуска [11].

Местоположение исследуемой РЛС известно с ошибкой не более 5 м.

Горизонтирование исследуемой РЛС производится с использованием уровней предварительного горизонтирования, без применения субблоков ИДЗУД01 и ИДЗУД02 [11].

При ориентировании исследуемой РЛС гироскоп 1Г25-1 не использовался.

Заданные ошибки ориентации и юстировки исследуемой РЛС составляют:

горизонтирование – наклон вниз на 1° , по азимуту 30° ;

ориентирование (абсолютная ошибка определения азимута) – $0,5^\circ$;

дальности – 200 м абсолютная и 0,5 % относительная;

угла места – 1° абсолютная и 1 % относительная.

Задержки обработки и передачи информации малы и не влияют на результат.

Все ВО обнаруживаются с вероятностью $P_{об} = 1$, трассы сопровождаются без пропусков, задача отождествления решается безошибочно.

В пределах зоны обнаружения исследуемой РЛС находится 10 сопровождаемых системой ВО. Координаты ВО случайным образом равномерно распределены в пространстве, скорость ВО лежит в пределах 100–300 м/с, курс 0–360°.

Для оценки работоспособности методики определения систематических абсолютных и относительных ошибок измерений координат производится сравнение зависимости разности координат, измеренных исследуемой РЛС, и координат сопровождаемых системой трасс ВО (массив разности КМОИ) с аналогичной разностью после компенсации систематических ошибок исследуемой РЛС, полученной через 200 измерений. Пример зависимости распределения разности определения дальности (Δd) до и после компенсации абсолютной и относительной систематических ошибок определения дальности исследуемой РЛС от дальности до ВО (D) приведен на рисунке 2.

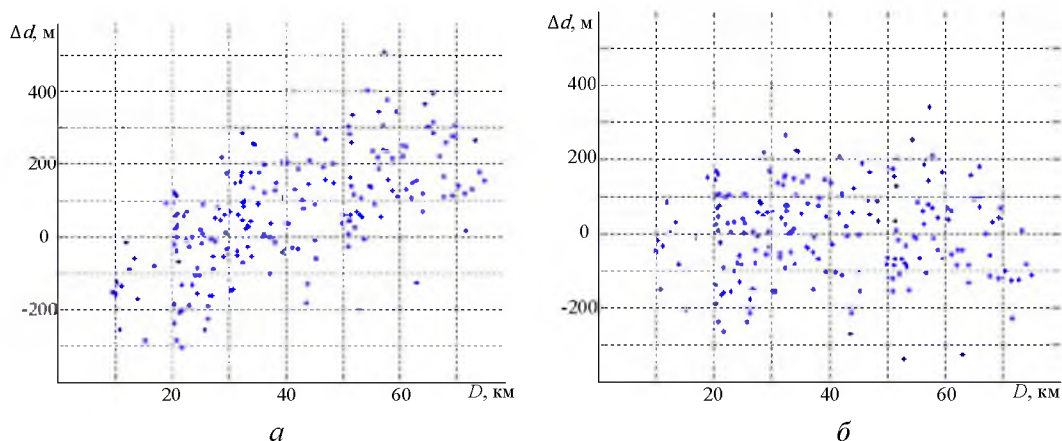


Рисунок 2. – Зависимость распределения разности определения дальности от дальности до ВО до компенсации систематических ошибок (а) и после (б)

Наблюдаемая на рисунке 2, а систематическая составляющая Δd и корреляция с дальностью свидетельствует о наличии систематических ошибок определения дальности. В представленном на рисунке 2, б распределении систематическая составляющая Δd и корреляция с дальностью отсутствуют, что свидетельствует о работоспособности методики определения и компенсации систематических ошибок в части измерения дальности.

Аналогичные выводы следуют и из сравнения зависимости распределения разности определения азимута ($\Delta\beta$) от азимута ВО до и после компенсации абсолютной систематической ошибки определения азимута (β) исследуемой РЛС (рисунок 3).

Для маловысотной РЛС 19Ж6М в режиме обзора по углу места № 1 максимальное значение угла места составляет 6° [11], что определяет незначительное влияние наклона РЛС на ошибку измерения азимута. Вместе с тем наклон РЛС оказывает существенное влияние на ошибку определения угла места. Полученные по результатам моделирования зависимости распределения разности определения угла места ($\Delta\varepsilon$) от угла места (ε) и азимута ВО показаны на рисунке 4.

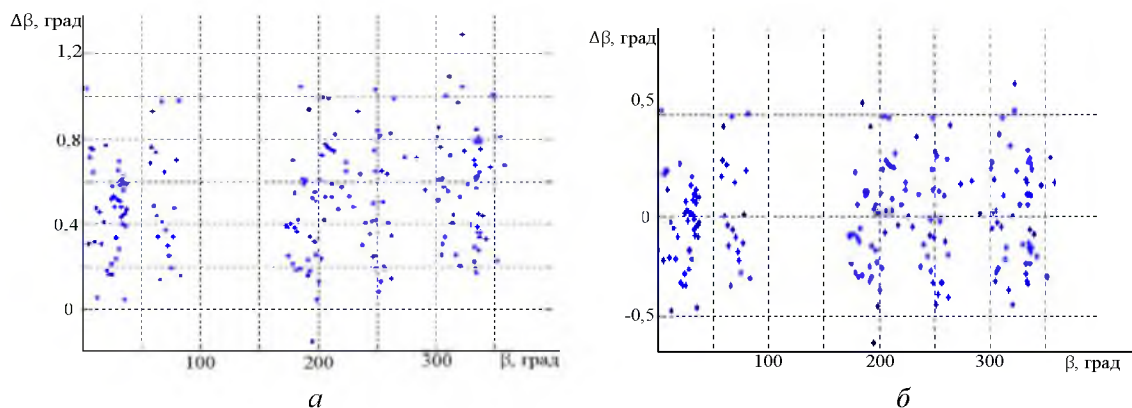


Рисунок 3. – Зависимости распределения разности определения азимута от азимута ВО до компенсации систематических ошибок (*а*) и после (*б*)

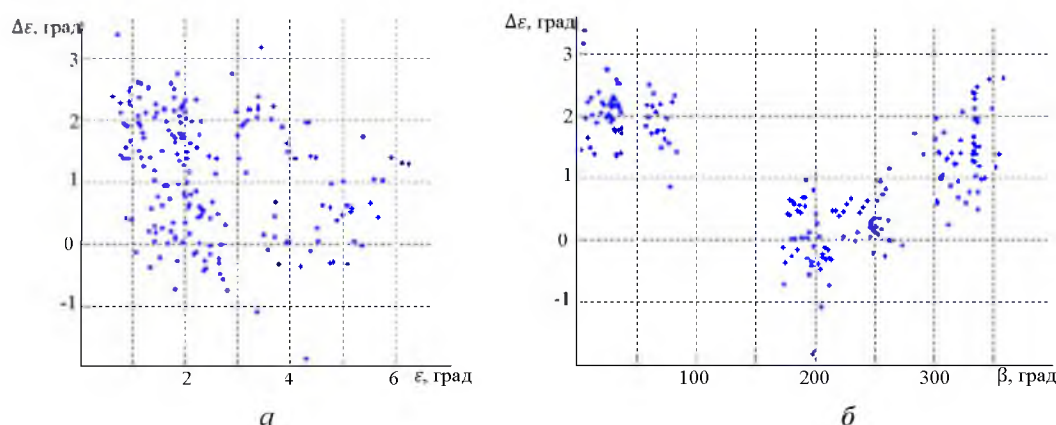


Рисунок 4. – Зависимости распределения разности определения угла места от угла места (*а*) и азимута (*б*) ВО

На рисунке 4, *а* хорошо видно наличие абсолютной систематической ошибки определения угла места, а корреляция, указывающая на наличие относительной систематической ошибки, практически не наблюдается, что связано с влиянием наклона РЛС. На рисунке 4, *б* имеется зависимость разности измерений угла места от азимута ВО, что и позволяет использовать их значения для определения угла и направления наклона.

Аналогичные данные после компенсации систематической ошибки определения угла места и наклона РЛС приведены на рисунке 5.

Отсутствие постоянного смещения и корреляции с аргументом, наблюдаемое на рисунке 5, свидетельствует о работоспособности методики определения и компенсации систематических ошибок в части измерения угла места, величины и направления наклона РЛС.

Для компенсации систематических ошибок используется их значение, определенное в соответствии с [6] по данным содержащихся в буфере сообщений. Зависимости определенных значений систематических ошибок дальности (δd) и азимута ($\delta\beta$) от количества измерений (n), полученные в рассматриваемом эксперименте, представлены на рисунках 6 и 7 соответственно.

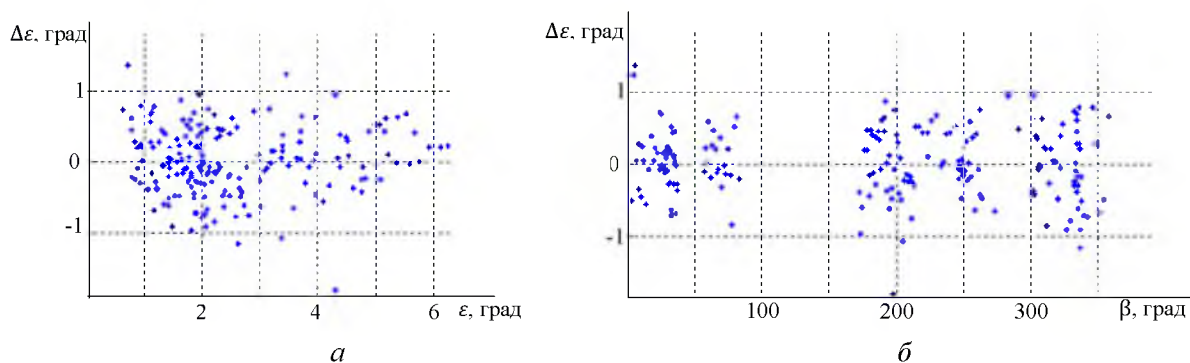


Рисунок 5. – Зависимости распределения разности определения угла места от угла места (*а*) и азимута (*б*) ВО после компенсации систематических ошибок

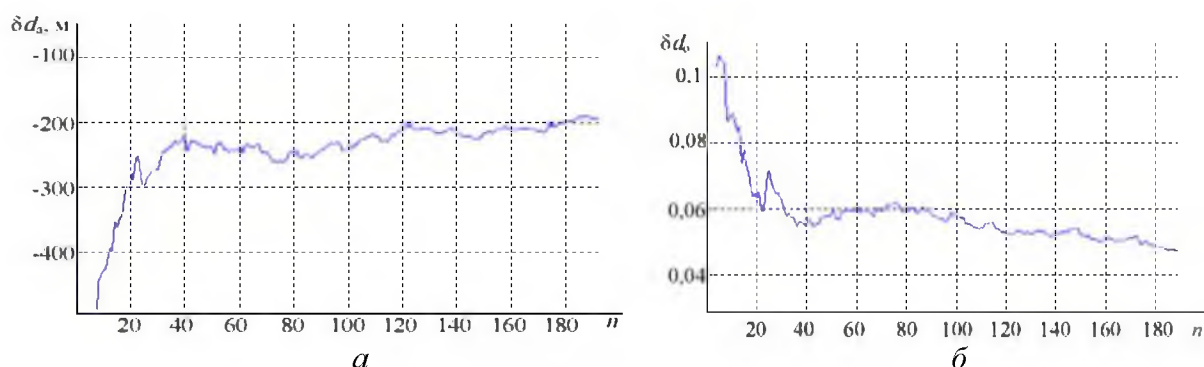


Рисунок 6. – Зависимости значений абсолютной (*а*) и относительной (*б*) систематических ошибок дальности от количества измерений

Анализ графиков, представленных на рисунке 6, показывает, что через 18–20 измерений ошибки определения систематических ошибок дальности достигают уровня, при котором дисперсия, вносимая систематической составляющей, становится меньше дисперсии случайной составляющей процесса измерения дальности, а при количестве измерений 118–147 и более дисперсия, вносимая систематической составляющей, пренебрежимо мала.

Для ошибок определения азимута в приведенном примере аналогичные уровни достигаются через 14 и 75 измерений соответственно (рисунок 7). При количестве измерений меньше 10 наблюдаются выбросы, обусловленные недостаточностью набранной статистики.

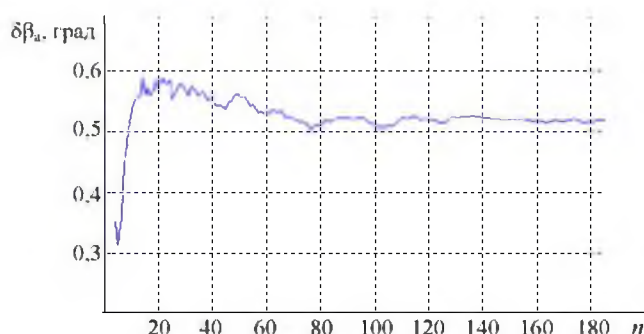


Рисунок 7. – Зависимость значений абсолютной систематической ошибки определения азимута от количества измерений

Процессы определения систематических ошибок угла места и наклона РЛС тесно взаимосвязаны. Зависимости рассчитанных значений систематических ошибок угла места ($\delta\varepsilon$) и наклона (β_n , ε_n) РЛС от количества измерений представлены на рисунках 8 и 9 соответственно.

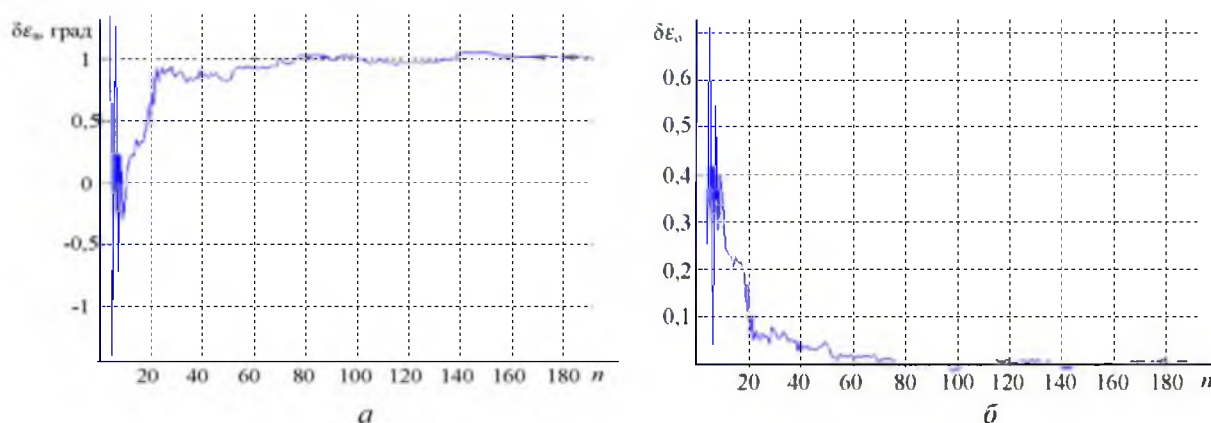


Рисунок 8. – Зависимости значений абсолютной (а) и относительной (б) систематических ошибок угла места от количества измерений

Анализ графиков, представленных на рисунке 8, показывает, что на протяжении первых 9–12 измерений наблюдаются существенные колебания измеряемых значений систематических ошибок угла места, что связано с отсутствием достоверных значений наклона РЛС. Затем, по мере уточнения наклона исследуемой РЛС, через 20–22 измерения наблюдается существенное улучшение точности, после чего плавное уточнение определяется величиной случайной ошибки измерения угла места. Семидесяти измерений достаточно для получения точности определения систематических ошибок угла места, обеспечивающей отсутствие статистически значимого влияния на результат.

Приемлемые значения параметров наклона исследуемой РЛС в рассматриваемом примере (рисунок 9) получаются через 9–12 измерений, а 40–43 измерения позволяют достичь достаточного уровня точности их оцениваемых значений.

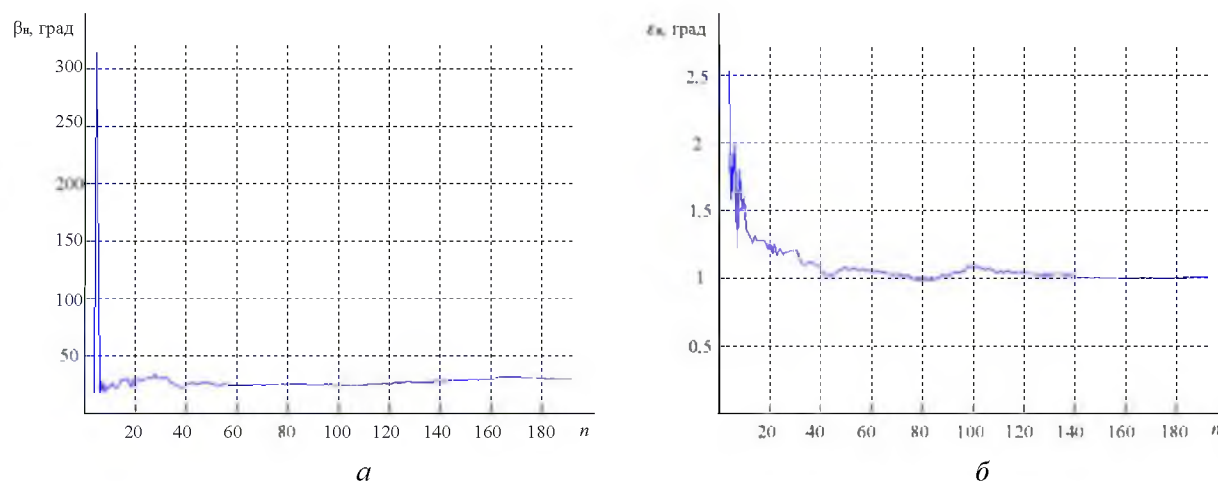


Рисунок 9. – Зависимости рассчитанных значений азимута (а) и величины (б) наклона РЛС от количества измерений

Рассмотренные промежуточные оценки точности значений систематических ошибок дают завышенное значение требуемого количества измерений, так как их корреляция, как правило, отрицательна. Для уточнения особенностей рассматриваемого процесса произведен расчет среднеквадратического значения отклонений измеренных исследуемой РЛС значений координат (дальности, азимута и угла места) без коррекции систематических ошибок ($\sigma_{дн}$, $\sigma_{βн}$, $\sigma_{ϵн}$) и с произведенной коррекцией ($\sigma_{дк}$, $\sigma_{βк}$, $\sigma_{ϵк}$) от их эталонного значения, сформированного в блоке моделирования воздушной обстановки. Динамика изменения указанных значений в зависимости от количества измерений и уровень значений среднеквадратических ошибок измерения координат, указанный в ТТХ на РЛС 19Ж6М ($\sigma_{дн}$, $\sigma_{βн}$, $\sigma_{ϵн}$), приведены на рисунке 10.

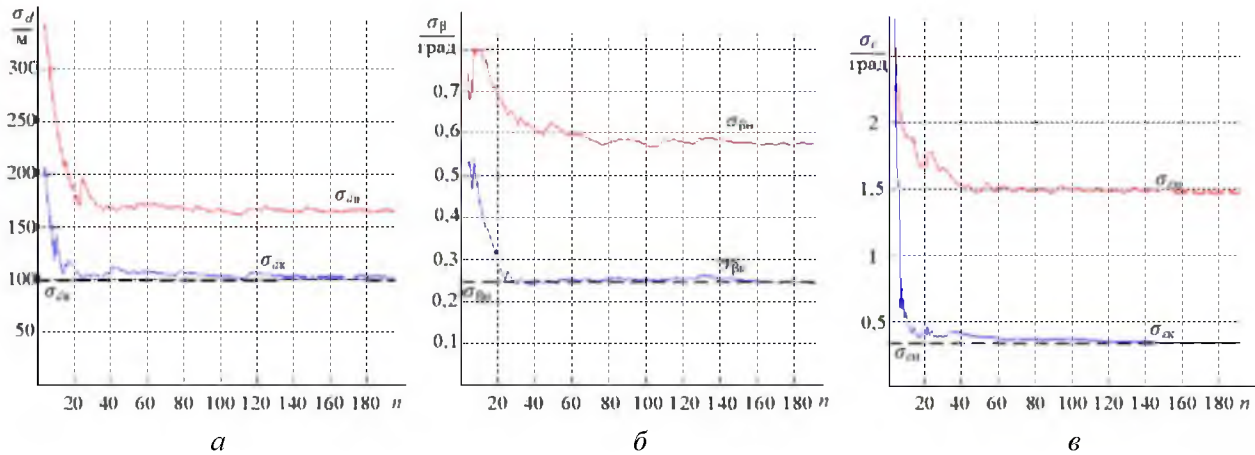


Рисунок 10. – Зависимости среднеквадратических ошибок измерения дальности (а), азимута (б) и угла места (в) от количества измерений

Оценка количества измерений, необходимых для выполнения условия $\sigma_k \leq 1,41 \sigma_n$ (ошибки, вносимые систематической составляющей, не более чем от случайной составляющей), дает диапазон значений 8–12. А 16–22 измерения позволяют достичь такого уровня точности определения систематических ошибок, что после компенсации их наличием можно пренебречь. Приведенные значения являются точечной оценкой для данного эксперимента. Аналогичные значения, усредненные за 200 экспериментов ($\sigma_{d\text{ср}}$, $\sigma_{\beta\text{ср}}$, $\sigma_{\gamma\text{ср}}$), приведены на рисунке 11. Значения $\sigma_{\text{мин}}$ и $\sigma_{\text{макс}}$ соответствуют границам интервала возможных значений среднеквадратических ошибок измерения координат с вероятностью 0,97.

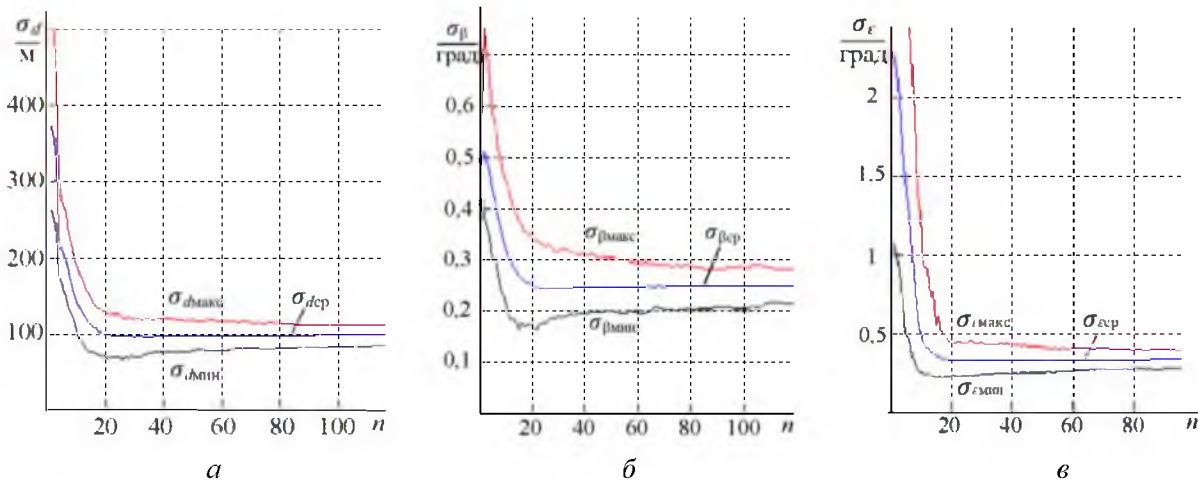


Рисунок 11. – Зависимость минимального, среднего и максимального значений среднеквадратических ошибок измерения дальности (а), азимута (б) и угла места (в) от количества измерений

Результаты обобщения на множестве вариантов воздушной обстановки показывают, что первые результаты измерения систематических ошибок получаются после данных трех измерений. По мере увеличения числа измерений и накопления статистических данных значения систематических ошибок уточняются. Сравнение полученных значений с необходимым и достаточным их уровнем показывает, что необходимая точность определения систематических ошибок (дисперсия, вносимая систематической составляющей, не превышает дисперсии, вносимой случайной составляющей) достигается в среднем обработкой данных 8–12 и максимум 14–16 измерений. Достижение достаточного уровня определения точности систематических ошибок измерения координат ВО в среднем требует обработки данных 15–18, а максимум 60–80 измерений для РЛС типа 19Ж6М.

Таким образом, проведенное моделирование процессов определения и компенсации систематических ошибок средств разведки воздушного пространства на примере РЛС 19Ж6М показало работоспособность предложенной в [3] методики и позволило произвести оценку требуемого количества измерений для достижения необходимого и достаточного уровня точности определения систематических ошибок в частном случае. Применение подобной методики оценки и компенсации систематических ошибок определения координат ВО позволит компенсировать имеющиеся в РЛС систематические ошибки, снизить требования по точности ориентирования и горизонтирования РЛС на позиции и тем самым уменьшить время ее развертывания. Использование данных от средств разведки воздушного пространства, лишенных систематических ошибок, повышает точность и достоверность информационной модели обстановки в АСУ ПВО, что, в свою очередь, способствует повышению ее эффективности.

Список литературы

1. Потетенко, С. В. Требования к точности боевой радиолокационной информации / С. В. Потетенко, С. В. Кругликов // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2012. – № 3. – С. 43–51.
2. Blackman, Samuel S. Design and analysis of modern tracking systems / Samuel S. Blackman, Robert Popoli. – Artech House Radar Library, 1999. – 1232 p.
3. Потетенко, С. В. Методика отождествления и обобщения информации о воздушной обстановке от разнотипных источников в АСУ / С. В. Потетенко, С. В. Кругликов // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2010. – № 3. – С. 25–34.
4. Фарина, А. Цифровая обработка радиолокационной информации. Сопровождение целей: пер. с англ./ А. Фарина, Ф. Студер. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.
5. Фарбер, В. Е. Основы траекторной обработки радиолокационной информации в многоканальных РЛС: учеб. пособие / В. Е. Фарбер. – М.: МФТИ, 2005. – 160 с.
6. Конторов, Д. С. Введение в радиолокационную системотехнику / Д. С. Конторов, Ю. С. Голубев-Новожилов. – М.: Сов. радио, 1971. – 367 с.
7. Кузьмин, С. З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию / С. З. Кузьмин. – Киев: Квіц, 2000. – 428 с.
8. Потетенко, С. В. Методика предварительной обработки информации о координатах воздушных объектов / С. В. Потетенко, С. В. Кругликов // Сб. науч. ст. докторантов, адъюнктов, соискателей. – 2010. – № 18. – С. 38–47.
9. Венцель, Е. С. Теория вероятностей: учеб. для студ. вузов / Е. С. Венцель. – 10-е изд., стер. – М.: Академия, 2005. – 576 с.
10. Модернизация РЛС 19Ж6 до уровня 19Ж6М [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://2566.by/ru/services/ModBBT/Mod3>.
11. Ляшенко, В. А. Радиолокационная станция 19Ж6 (СТ-68У) / В. А. Ляшенко, Л. Ю. Боскутис, Г. И. Тылец. – М.: Воениздат, 1992. – 392 с.

*Сведения об авторе:

Потетенко Сергей Викторович,

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 19.10.2016 г.

ОБЩЕТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

УДК 517.977

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ ПО КРИТЕРИЮ МАКСИМАЛЬНОЙ ДАЛЬНОСТИ ПОЛЕТА

В. А. Малкин, доктор технических наук, профессор;
А. Ф. Мелец, кандидат технических наук, доцент;
П. В. Иванишин, кандидат технических наук, доцент;
А. Я. Сенько, кандидат технических наук*

В статье рассмотрена задача синтеза оптимального управления реактивным снарядом с аэродинамическим управлением по критерию максимальной дальности планирования на управляемом участке траектории. Синтез оптимального управления проводился с использованием принципа максимума Понтрягина. Получен вид оптимального программного управления и траектории управляемого полета снаряда. Приведенные результаты позволяют оценить потенциальные возможности управляемого снаряда по достижению максимальной дальности полета.

The optimal control synthesis of the jet missile with aerodynamics surfaces at the guided flight stage on the maximum gliding range criterion is introduced. The optimal control synthesis is realized with use of Pontryagin's maximum principle. The optimal guidance program and flight trajectory are given. The results received makes possible to estimate potential maximum of missile flight range.

Рассматривается задача синтеза управления реактивным снарядом на пассивном участке движения в атмосфере, при котором обеспечивается полет на максимальную дальность. Предполагается, что первая ступень с реактивным двигателем обеспечивает полет снаряда по баллистической траектории с заданным начальным углом пуска $\Theta_{\text{п}}$. На этом участке траектории в заданной точке осуществляется разделение ступеней. Вторая ступень снаряда управляется с помощью аэродинамических рулей. Начало управляемого участка полета задается значением угла наклона траектории Θ_0 . Требуется найти закон изменения нормального (управляющего) ускорения снаряда в вертикальной плоскости $U_{\text{в}}(t)$, при котором дальность отлета от точки начала управления будет максимальной.

Задача является актуальной при разработке реактивных систем, в которых необходимо обеспечить максимальную дальность полета снаряда при заданных ограничениях на импульс реактивного двигателя. Характерные особенности, определяющие постановку и решение данной задачи:

сравнительно низкое аэродинамическое качество управляемой ступени снаряда, не обеспечивающее эффективное управление на больших высотах и требующее больших углов атаки на средних и малых высотах;

отсутствие маршевого двигателя и, как следствие, интенсивное гашение скорости полета на больших углах атаки, что не позволяет решить задачу путем обеспечения полета по траектории, близкой к горизонтальной.

В сочетании с высокой начальной скоростью второй ступени снаряда в точке начала управления указанные особенности позволяют сделать предположение, что функция

управления должна быть согласована с динамикой движения снаряда и наиболее рационально использовать запас его кинетической и потенциальной энергии.

Для определения функции оптимального программного управления снарядом в работе применяется принцип максимума Понтрягина [1].

Постановка задачи

Поскольку максимальная дальность полета управляемого снаряда будет зависеть от управления только в вертикальной плоскости, для определения оптимального закона управления достаточно рассмотреть движение объекта только в этой плоскости. Следовательно, можно принять горизонтальную составляющую управляющего ускорения равной нулю.

На пассивном участке полета траектория плоского движения снаряда будет определяться действием управляющей аэродинамической силы, силы аэродинамического сопротивления и силы тяжести. Результатом действия этих сил будет изменение модуля вектора скорости V и угла наклона траектории Θ . Изменение этих переменных в скоростной системе координат описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \dot{V} = \frac{m}{C_v^\alpha(q)} U_b^2 - \frac{C_{x0}(q)}{m} - g \sin \Theta, & V(t_0) = V_0, \\ \dot{\Theta} = \frac{1}{V} (U_b - g \cos \Theta), & \Theta(t_0) = \Theta_0, \end{cases} \quad (1)$$

где $C_{x0}(q)$ – коэффициент лобового сопротивления снаряда, зависящий от скоростного напора q ;

$C_v^\alpha(q)$ – коэффициент подъемной силы снаряда;

m – масса снаряда;

g – ускорение свободного падения;

$U_b(t)$ – управляющее ускорение в вертикальной плоскости.

Исходя из условия задачи критерием оптимальности будет являться дальность полета:

$$W = D_0 = \int_{t_0}^T V \cos \Theta dt, \quad (2)$$

где T – некоторый фиксированный момент времени, например время, при котором высота полета будет равна нулю;

t_0 – время начала управления.

Таким образом, задача оптимального управления ставится следующим образом: требуется найти такое программное управление объектом, принадлежащее заданной области Ω_U , при котором дальность полета на управляемом участке будет максимальной:

$$U_b(t) = \arg \max_{U \in \Omega_U} W. \quad (3)$$

Решение задачи

Используя принцип максимума Понтрягина, определим оптимальное управление. Для формализации задачи введем расширенный вектор состояния системы $X^T = (x_0, x_1, x_2)$, где фазовые переменные определяются соотношениями $x_1 = V$, $x_2 = \Theta$. Вспомогательная переменная x_0 находится из условия $\dot{x}_0 = \dot{W} = V \cos \Theta$. Тогда скалярные уравнения, описывающие динамику изменения расширенного вектора состояния, будут иметь вид:

$$\begin{aligned}
\dot{x}_0 &= f_0(x_1, x_2) = x_1 \cos x_2, & x_0(t_0) &= 0, \\
\dot{x}_1 &= f_1(x_2, U_B) = -\left(\beta_1 + \frac{U_B^2}{\beta_2}\right) - g \sin x_2, & x_1(t_0) &= V_0, \\
\dot{x}_2 &= f_2(x_1, x_2, U_B) = \frac{(U_B - g \cos x_2)}{x_1}, & x_2(t_0) &= \Theta_0,
\end{aligned} \tag{4}$$

где $\beta_1 = \frac{C_{x_0}(q)}{m}$, $\beta_2 = \frac{C_y^a(q)}{m}$.

Система уравнений (4) представляет собой систему нелинейных дифференциальных уравнений с известными начальными условиями. В соответствии с принципом максимума Понтрягина для системы (4) должна быть получена система сопряженных уравнений, определяемых соотношениями:

$$\dot{y}_i = -\sum_{j=0}^2 \frac{\partial f_j}{\partial x_i} y_j, \quad y_i(T) = y_{i0}, \quad i = 0, 1, 2. \tag{5}$$

Для системы сопряженных уравнений известны значения переменных в конечный момент времени T : $y_0(T) = -1$, $y_1(T) = y_2(T) = 0$.

Запишем систему уравнений, сопряженных уравнениям (4), в скалярной форме:

$$\begin{aligned}
\dot{y}_0 &= 0, & y_0(T) &= -1, \\
\dot{y}_1 &= -\cos x_2 y_0 + \frac{(U_B - g \cos x_2)}{x_1^2} y_2, & y_1(T) &= 0, \\
\dot{y}_2 &= x_1 \sin x_2 y_0 + g \cos x_2 y_1 - \frac{g \sin x_2}{x_1} y_2, & y_2(T) &= 0.
\end{aligned} \tag{6}$$

Из первого уравнения системы (6) следует, что $y_0 = \text{const} = -1$. В этом случае система (6) упрощается и может быть представлена как

$$\begin{aligned}
\dot{y}_1 &= \cos x_2 + \frac{(U_B - g \cos x_2)}{x_1^2} y_2, & y_1(T) &= 0, \\
\dot{y}_2 &= -x_1 \sin x_2 + g \cos x_2 y_1 - \frac{g \sin x_2}{x_1} y_2, & y_2(T) &= 0.
\end{aligned} \tag{7}$$

Для определения оптимального управления находим гамильтониан вида

$$H = \sum_{i=0}^2 f_i y_i = -x_1 \cos x_2 - \left[\left(\beta_1 + \frac{U_B^2}{\beta_2} \right) + g \sin x_2 \right] y_1 + \frac{(U_B - g \cos x_2)}{x_1} y_2. \tag{8}$$

Согласно принципу максимума Понтрягина, необходимым условием решения задачи оптимизации является такая функция $U_B(t)$, для которой гамильтониан (8) принимает максимальное значение. В открытой области управлений максимальное значение гамильтониана достигается при условии $\frac{\partial H}{\partial U_B} = 0$. Выражение для производной $\frac{\partial H}{\partial U_B}$ будет иметь вид

$$\frac{\partial H}{\partial U_B} = -\frac{2U_B}{\beta_2} y_1 + \frac{y_2}{x_1} = 0. \tag{9}$$

Таким образом, без учета ограничения на управляющее ускорение оптимальное управление определяется соотношением

$$U_{во} = \frac{1}{2} \beta_2 \frac{y_2}{x_1 y_1}. \quad (10)$$

С учетом ограничения на управляющее воздействие $|U_v| \leq U_{\max}$ функция управления будет иметь вид [5]:

$$U_{во} = \begin{cases} U_{во} & \text{при } |U_{во}| < U_{\max}, \\ U_{\max} \operatorname{sign} U_{во} & \text{при } |U_{во}| \geq U_{\max}. \end{cases}$$

Из соотношения (10) следует, что для определения оптимального управления необходимо знать фазовые переменные x_1, y_1 и y_2 , которые могут быть получены путем совместного решения основной (4) и сопряженной (7) систем уравнений. Решение такой системы нелинейных дифференциальных уравнений возможно только численными методами.

Существенной проблемой, возникающей при применении принципа максимума Понтрягина, является необходимость решения двухточечной краевой задачи, сущность которой заключается в том, что для системы уравнений (4) известными являются начальные условия интегрирования, а для системы (7) – конечные.

В работе [6] предлагается способ решения двухточечной краевой задачи путем отыскания начальных значений сопряженной системы методом неградиентного случайного поиска (НСП). Метод НСП заключается в случайном выборе начальных значений вектора сопряженной системы $Y(t_0)$ из некоторой области G_0 (рисунок 1), численном решении систем уравнений (4) и (7) и последующей статистической обработке результатов.

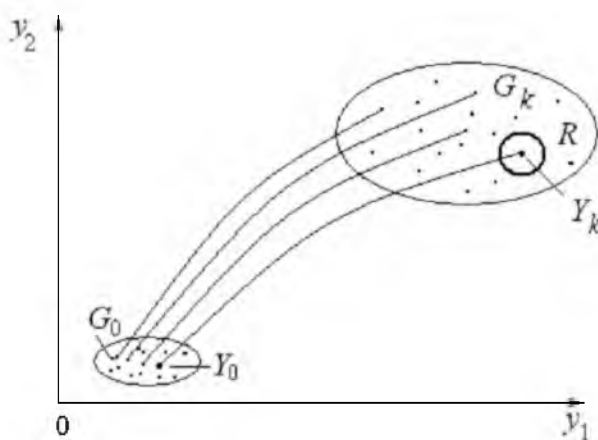


Рисунок 1. – Выбор начальных условий методом НСП

При выполнении N циклов интегрирования систем уравнений (4) и (7) запоминаются только те значения вектора $Y(t_0)$, при которых обеспечивается попадание вектора $Y(T_0)$ в заданную область G_{0k} , содержащую требуемое конечное значение Y_k (событие Θ). В результате статистической обработки координат y_{0i} , удовлетворяющих событию Θ , определяются оценки их математического ожидания m_i^{\ominus} и среднеквадратического отклонения σ_i^{\ominus} . Для следующего цикла интегрирования начальные значения координат сопряженной системы определяются по формуле [3]:

$$y_{0i}(k+1) = m_i^{\ominus}(k) + \sigma_i^{\ominus}(k) e_r, \quad i = 0, 1, 2, \quad (11)$$

где e_r – центрированная равномерно распределенная случайная величина с единичной дисперсией.

моделирования определялись фазовые координаты основной и сопряженной систем, вид оптимального программного управления $U_B(t)$, а также прямоугольные координаты снаряда в вертикальной плоскости (высота H и дальность управляемого полета D).

Вид оптимального управления $U_B(t)$ (функция 1), полученный в соответствии с формулой (10), представлен на рисунке 3.



Рисунок 3. – Зависимость управляющей перегрузки от времени

Анализ функции управления (рисунок 3) позволяет сделать следующие выводы:

оптимальное управление представляет собой гладкую унимодальную функцию (типа гауссовой кривой), которая достаточно точно описывается выражением $U_B(t) = U_{\max} \exp\left[-\frac{(t-t_m)^2}{a^2}\right]$, где U_{\max} – максимальное значение управляющего ускорения; t_m – временная задержка максимума управляющего воздействия по отношению к началу управления; a – параметр, характеризующий ширину управляющей функции;

при моделировании управляемого полета снаряда с заданными характеристиками ($C_{x0}(q)$, $C_y^u(q)$, V_0 , Θ_0) значения параметров управляющей функции равны: $U_{\max} = 50 \text{ м/с}^2$, $t_m = 26 \text{ с}$, $a = 18 \text{ с}$;

анализ численных значений параметров, характеризующих управляющую функцию, показывает, что для оптимального управления по заданному критерию располагаемая перегрузка снаряда не должна превышать 5–6 единиц, на конечном участке траектории управляющее воздействие должно стремиться к нулю.

Траектории полета снаряда в вертикальной плоскости, соответствующие различным видам функции управления, представлены на рисунке 4. Траектория 1 является баллистической ($U_B(t) = 0$), траектория 2 соответствует оптимальному управлению (10), траектория 3 – управляющему воздействию в виде прямоугольного импульса с амплитудой $U_{\text{и}} = U_{\max}$ и длительностью, равной ширине управляющей функции (10) по уровню $0,707U_{\max}$.

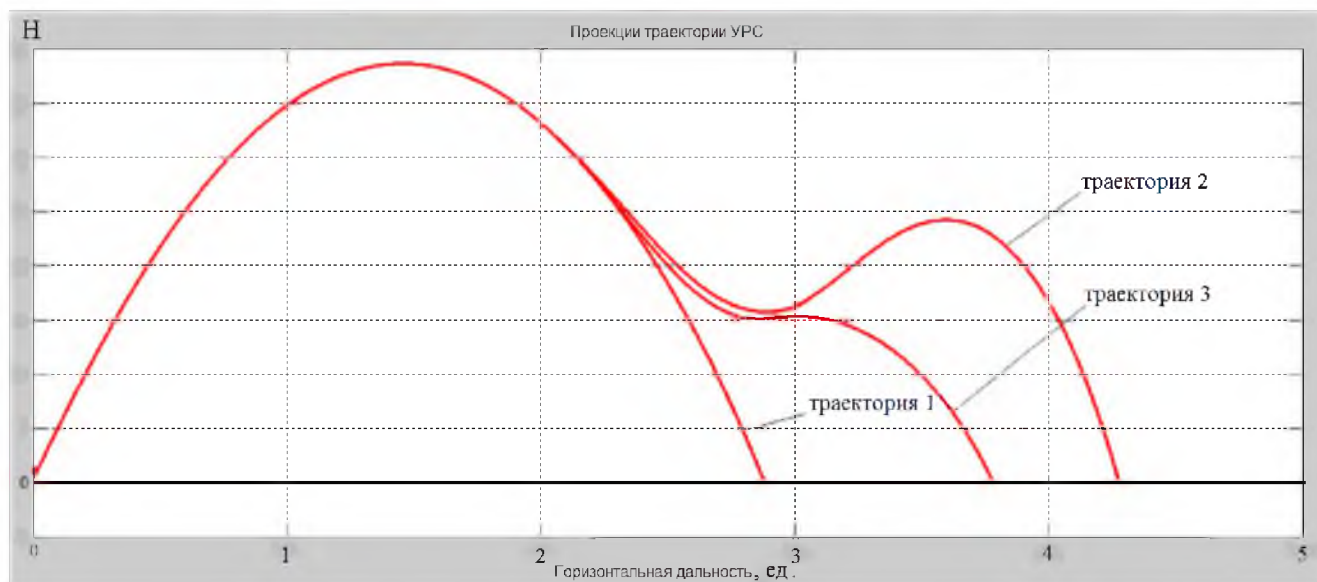


Рисунок 4. – Траектории снаряда для различных законов изменения управляющей перегрузки

Анализ траекторий, приведенных на рисунке 4, свидетельствует, что дальность полета снаряда при воздействии импульсного управления соответствует $D_{и} = 1,31D_0$, где D_0 – дальность полета по баллистической траектории при тех же начальных условиях пуска. Использование управления в виде функции (10) обеспечивает при тех же начальных условиях дальность полета $D_0 = 1,49D_0$, что на 14 % больше, чем при воздействии импульсного управления.

Приведенные в статье результаты позволяют оценить потенциальные возможности управляемого аэродинамического объекта по достижению максимальной дальности полета.

Список литературы

1. Понтрягин, Л. С. Математическая теория оптимальных процессов / Л. С. Понтрягин. – М.: Наука, 1976. – 392 с.
2. Методы классической и современной теории автоматического управления / под ред. К. А. Пупкова, Н. Д. Егупова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – Т. 4: Теория оптимизации САУ. – 742 с.
3. Гладков, Д. И. Оптимизация систем неградиентным случайным поиском / Д. И. Гладков. – М.: Энергоиздат, 1984. – 287 с.
4. Казаков, И. Е. Методы оптимизации стохастических систем / И. Е. Казаков, Д. И. Гладков. – М.: Наука, 1987. – 304 с.
5. Малкин, В. А. Решение двухточечной краевой задачи методом неградиентного случайного поиска / В. А. Малкин // Системный анализ и прикладная информатика. – 2016. – № 1. – С. 29–34.

*Сведения об авторах:

Малкин Виталий Александрович,

УО «Военная академия Республики Беларусь»;

Мелец Антон Фадеевич,

Иванишин Павел Валерьевич,

Сенько Александр Яковлевич,

Республиканское производственное унитарное предприятие «Завод точной электромеханики».

Статья поступила в редакцию 29.09.2016 г.

МОДЕЛЬ СЛУЧАЙНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА

А. Н. Мороз, кандидат технических наук;
С. А. Шабан, кандидат технических наук, доцент;
О. В. Сидорович, кандидат технических наук, доцент*

Методом вариации Аллана экспериментально определен состав и параметры шумов в выходном сигнале микромеханических гироскопов устройства MPU-6050. Построена математическая модель случайной составляющей выходного сигнала микромеханического гироскопа.

Component structure and noise parameters were determined experimentally by Allan variance method in the output signal of MPU-6050 device's micromechanical gyroscopes. Simulation model of output signal's random component in micromechanical gyroscope was developed.

Введение

Для определения ориентации подвижных объектов в пространстве активно используются микромеханические гироскопы. Это обусловлено их низкой стоимостью, малыми массой, габаритами и энергопотреблением. Однако наряду с указанными преимуществами микромеханические гироскопы имеют и недостатки, такие как наличие систематических и случайных погрешностей измерений. Указанные погрешности являются источниками ошибок навигационных определений в условиях длительного автономного движения.

Таким образом, для улучшения качества навигационных определений необходимо детальное описание модели погрешностей микромеханического гироскопа, учитывающей структуру и параметры шумов.

Целью статьи является получение математической модели случайной составляющей погрешностей микромеханического гироскопа, которая будет учитывать структуру и параметры шумов.

Описание метода вариации Аллана для исследования погрешностей гироскопов

Выходные сигналы трех гироскопов можно представить в виде [1, с. 149]:

$$\tilde{\omega} = (\mathbf{E} + 10^{-2} \delta \mathbf{K}^\Gamma) \omega - \left[\mathbf{M}_{\text{СВ}}^{\text{ИЗМ}} \times \right] \omega + \varepsilon,$$

где \mathbf{E} – единичная матрица; $\delta \mathbf{K}^\Gamma = \text{diag} \left[\delta k_x^\Gamma \quad \delta k_y^\Gamma \quad \delta k_z^\Gamma \right]$ – матрица относительных погрешностей коэффициентов преобразования гироскопов; $\omega = [\omega_X \quad \omega_Y \quad \omega_Z]^T$ – проекции вектора абсолютной угловой скорости объекта на оси связанной системы координат; $\left[\mathbf{M}_{\text{СВ}}^{\text{ИЗМ}} \times \right]$ – кососимметрическая матрица, соответствующая матрице направляющих косинусов, характеризующей отклонение измерительной системы координат, связанной с гироскопами, от связанной системы координат объекта; ε – смещение нуля.

Смещение нуля ε представляют в виде суммы систематической ε_s и случайной ε_r , составляющих

$$\varepsilon = \varepsilon_s + \varepsilon_r.$$

Предметом исследования в статье является случайная составляющая погрешности гироскопа ε_r . Выходной сигнал типового гироскопа может содержать различные составляющие случайной погрешности [1, 6]:

- шум квантования (angle white noise or angle quantisation noise);
- случайное блуждание угла (angle random walk or angular rate white noise);
- фликкер-шум или нестабильность смещения нуля (flicker noise or bias instability);
- случайное блуждание угловой скорости (angular rate random walk);
- шум ухода (angular rate trend);
- коррелированный шум (correlated noise);
- синусоидальный шум (sinusoidal noise).

Для оценки шумовых составляющих датчиков на сегодняшний день широко используют метод анализа по вариации Аллана [1–6, 8]. Методика измерения и расчета параметров микромеханических гироскопов и акселерометров изложена в стандарте Международного общества инженеров электроники и энергетики IEEE Std 952-1997 [3].

Метод вариации Аллана предполагает выделение семи составляющих шума измерений [5], при этом две составляющих – коррелированный и синусоидальный шумы – вносят незначительный вклад в суммарную случайную ошибку и проявляются только на больших интервалах опроса датчика [6]. В статье рассмотрены только пять шумовых характеристик.

Для определения вариации Аллана берется запись выходного сигнала микромеханического гироскопа $\tilde{\omega}_i$, включающая M отсчетов, каждый из которых имеет длительность T_0 . Определяется угол путем интегрирования выходного сигнала гироскопа $\tilde{\theta}_i$:

$$\theta_i = \theta_{i-1} + T_0 \tilde{\omega}_i, \quad i = \overline{1, M}.$$

Вариация Аллана рассчитывается по следующей формуле [1, с. 153; 3; 5]:

$$\sigma^2(nT_0) = \frac{1}{2(M-2n)\tau^2} \sum_{m=1}^{M-2n} (\theta_{m+2n} - 2\theta_{m+n} + \theta_m)^2, \quad (1)$$

где $n = 1, 2, 3, \dots, n_{\max} \leq (M-1)/2$; $\tau = nT_0$.

Затем строится график отклонения Аллана $\sigma(\tau)$ (корень квадратный из вариации) в логарифмическом масштабе. Далее осуществляется анализ наклона различных участков кривой отклонения Аллана.

Для вариации Аллана $\sigma^2(\tau)$ (1) используют следующее аппроксимирующее выражение [3, с. 38]:

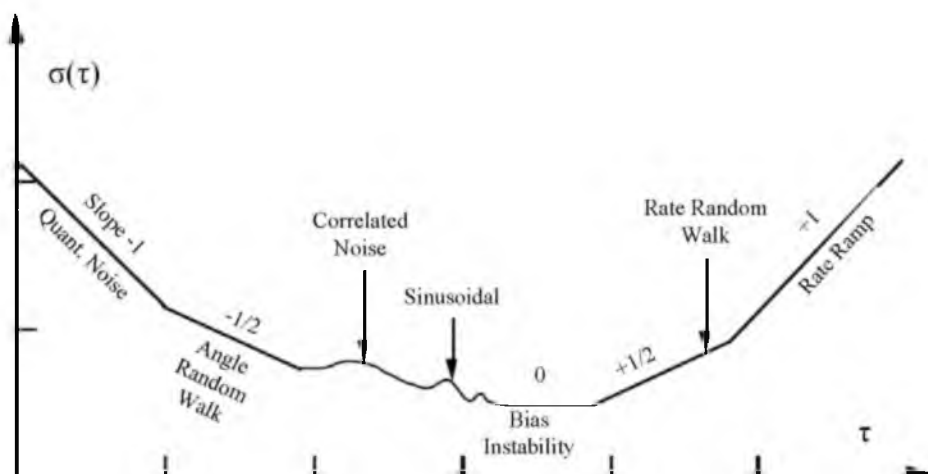
$$\sigma^2(\tau) \approx R^2 \frac{\tau^2}{2} + K^2 \frac{\tau}{3} + B^2 \frac{2}{\pi} \ln 2 + N^2 \frac{1}{\tau} + Q^2 \frac{3}{\tau^2}. \quad (2)$$

Коэффициенты R, K, B, N, Q полинома (2) характеризуют интенсивность отдельных шумовых составляющих выходного сигнала. В таблице 1 показаны соответствующие типовые углы наклона $\sigma(\tau)$ -графика с описанием их характеристик. Определение их численных значений осуществляется по методу наименьших квадратов, использованием алгоритмов нелинейной фильтрации или графически [2].

Таблица 1. – Соотношения между спектральной плотностью шума и вариацией Аллана

Тип погрешности в терминах	Спектральная плотность шума	Вариация Аллана $\sigma^2(\tau)$	Коэффициент полинома	Наклон графика
1. Шум квантования (angle quantisation noise)	$(2\pi f)^2 Q^2 T_0$ при $f < 1/2T_0$	$\frac{3Q^2}{\tau^2}$	Q	-1
2. Случайное блуждание угла (angle random walk)	N^2	$\frac{N^2}{\tau}$	N	$-\frac{1}{2}$
3. Фликкер-шум или нестабильность смещения нуля (angular rate flicker noise or bias instability)	$\left(\frac{B^2}{2\pi}\right) \frac{1}{f}$	$\frac{2B^2}{\pi} \ln 2$	B	0
4. Случайное блуждание угловой скорости (angular rate random walk)	$\left(\frac{K}{2\pi}\right)^2 \frac{1}{f^2}$	$\frac{K^2 \tau}{3}$	K	$\frac{1}{2}$
5. Шум ухода (angular rate trend, ramp noise)	$\frac{R^2}{(2\pi f)^3}$	$\frac{R^2 \tau^2}{2}$	R	1

Характерный вид $\sigma(\tau)$ -графика приведен на рисунке 1 [3, с. 71; 6].

Рисунок 1. – Характерный вид $\sigma(\tau)$ -графика

Математическая модель погрешностей гироскопов

Случайные погрешности гироскопов можно представить в виде

$$\varepsilon_r = \varepsilon_{qn} + \varepsilon_{arw} + \varepsilon_{bi} + \varepsilon_{rrw} + \varepsilon_{rn},$$

где ε_{qn} – шум квантования; ε_{arw} – случайное блуждание угла; ε_{bi} – нестабильность смещения нуля; ε_{rrw} – случайное блуждание угловой скорости; ε_{rn} – шум ухода.

Шум квантования (quantisation noise). Определим модель шума квантования. В соответствии с таблицей 1 спектральная плотность мощности шума квантования равна

$$S_{qn}(f) = (2\pi f)^2 Q^2 T_0 \Rightarrow S_{qn}(\omega) = \omega^2 Q^2 T_0,$$

где Q – коэффициент, определяемый по отклонению Аллана; T_0 – период квантования.

Чтобы найти частотную характеристику формирующего фильтра шума квантования, надо разложить спектральную плотность на комплексно-сопряженные множители

$$S_{qn}(\omega) = K_{qn}(j\omega) K_{qn}(-j\omega) = (j\omega Q \sqrt{T_0})(-j\omega Q \sqrt{T_0})$$

и выбрать

$$K_{\Phi_{qn}}(j\omega) = K_{qn}(j\omega) = j\omega Q\sqrt{T_0}.$$

Воздействие $\varepsilon_{qn}(t)$ можно представить как преобразование белого шума $\xi(t)$ с единичной спектральной плотностью звеном с передаточной функцией формирующего фильтра. Тогда модель шума случайного блуждания угла примет вид

$$\varepsilon_{qn}(t) = Q\sqrt{T_0}\dot{\xi}(t). \quad (3)$$

В дискретном виде модель шума квантования описывается разностным уравнением

$$\varepsilon_{qn,k} = \frac{Q}{T_0}(\xi_k - \xi_{k-1}), \quad (4)$$

где ξ_k – дискретный белый гауссовский шум с единичной дисперсией.

Случайное блуждание угла (angle random walk or angular rate white noise). При очередном использовании понятия формирующего фильтра получим модель случайного блуждания угла

$$\varepsilon_{arw}(t) = N \xi(t), \quad (5)$$

где N – коэффициент, определяемый по отклонению Аллана.

В теории дискретных систем модель (5) описывается разностным уравнением

$$\varepsilon_{arw,k} = \frac{N}{\sqrt{T_0}} \xi_k, \quad (6)$$

где T_0 – шаг квантования.

О факте наличия белого шума в выходном сигнале гироскопа свидетельствует наличие прямолинейного участка с наклоном «-0,5» на кривой отклонения Аллана.

Фликкер-шум или нестабильность смещения нуля (angular rate flicker noise or bias instability). В соответствии с таблицей 1 частотная характеристика формирующего фильтра фликкер-шума имеет вид

$$K_{\Phi_{bi}}(j\omega) = \frac{B}{\sqrt{j\omega}},$$

где B – коэффициент, определяемый по отклонению Аллана.

Модель воздействия $\varepsilon_{bi}(t)$ можно представить так:

$$\varepsilon_{bi}(p) = \frac{B}{\sqrt{p}} \xi(p).$$

Полученная передаточная функция не является дробно-рациональной, поэтому не может использоваться для описания фликкер-шума. Для аппроксимации фликкер-шума будем использовать Гауссо-Марковский процесс первого порядка [8]. При этом передаточная функция формирующего фильтра фликкер-шума примет следующий вид [8]:

$$\frac{\varepsilon_{bi}(p)}{\xi(p)} = \hat{K}_{\Phi_{bi}}(p) = \frac{\beta B}{p + \beta},$$

где β – величина, обратная времени корреляции.

При переходе от передаточной функции к дифференциальному уравнению модель фликкер-шума можно описать с помощью стохастического дифференциального уравнения

$$\dot{\varepsilon}_{bi}(t) = -\beta \varepsilon_{bi}(t) + \beta B \xi(t). \quad (7)$$

В дискретном виде модель описывается разностным уравнением

$$\varepsilon_{bi,k} = (1 - \beta T_0) \varepsilon_{bi,k-1} + \beta \sqrt{T_0} B \xi_k. \quad (8)$$

Коэффициент неустойчивости нуля гироскопа B определяется по кривой отклонения Аллана, имеющей наклон «0».

Случайное блуждание угловой скорости (angular rate random walk). В соответствии с таблицей 1 математическая модель случайного блуждания угловой скорости описывается стохастическим дифференциальным уравнением

$$\dot{\varepsilon}_{rrw}(t) = K \xi(t), \quad (9)$$

где K – коэффициент, определяемый по кривой отклонения Аллана.

Уравнение (9) представляет собой Винеровский процесс [1, с. 162]. О факте наличия случайного блуждания угловой скорости говорит присутствие на кривой отклонения Аллана участка с наклоном «+0,5».

Шум ухода (angular rate trend, ramp noise). В соответствии с таблицей 1 модель шума ухода имеет вид

$$\varepsilon_{rm}(p) = \frac{R}{(p)^2} \xi(p),$$

где R – коэффициент шума ухода, определяемый из кривой отклонения Аллана.

Полученная передаточная функция не является дробно-рациональной, поэтому используем аппроксимацию шума ухода Гауссо-Марковским процессом второго порядка [8]:

$$\frac{\varepsilon_{rm}(p)}{\xi(p)} = \hat{K}_{\Phi_{rm}}(p) = \frac{R}{p^2 + \sqrt{2}\omega_0 p + \omega_0^2},$$

где ω_0 – частота собственных незатухающих колебаний системы второго порядка.

При переходе от передаточной функции к дифференциальному уравнению модель шума ухода можно описать с помощью стохастического дифференциального уравнения [8]:

$$\ddot{\varepsilon}_{rm}(t) + \sqrt{2}\omega_0 \dot{\varepsilon}_{rm}(t) + \omega_0^2 \varepsilon_{rm}(t) = R \xi(t). \quad (10)$$

Дискретная модель шума ухода будет иметь следующий вид:

$$\varepsilon_{rm,k} = \frac{2 + \sqrt{2}\omega_0 T_0}{1 + \sqrt{2}\omega_0 T_0 + \omega_0^2 T_0^2} \varepsilon_{rm,k-1} - \frac{1}{1 + \sqrt{2}\omega_0 T_0 + \omega_0^2 T_0^2} \varepsilon_{rm,k-2} + \frac{RT_0^2}{1 + \sqrt{2}\omega_0 T_0 + \omega_0^2 T_0^2} \xi_k. \quad (11)$$

О наличии шума ухода свидетельствует присутствие участка с наклоном «+1» на кривой отклонения Аллана.

В уравнениях (3)–(11) формирующие шумы $\xi(t)$ и ξ_k являются независимыми.

Экспериментальная часть

По методу вариации Аллана была проведена обработка выходной измерительной информации трехосевого микромеханического гироскопа (ММГ), установленного на приборе MPU-6050, разработки InvenSense Inc., USA. Подробное описание MPU-6050 приведено в [7]. Для этого было проведено шесть запусков прибора MPU-6050 в статическом положении с интервалом записи информации 1,5 ч. Шаг дискретизации – 0,06 с. Информация снималась при комнатной температуре. Показания встроенного датчика температуры MPU-6050 находились в пределах 33–35°.

Обработка выходной информации прибора MPU-6050 по методу вариации Аллана осуществлялась с помощью программного обеспечения, разработанного в среде

программирования Embarcadero RAD Studio, а также с использованием системы MathCad. В целях проверки адекватности разработанного программного обеспечения проведено его тестирование путем сравнения полученных результатов с результатами, получаемыми Программой обработки массивов данных методами вариаций Аллана, Адамара и их обобщений AlaVar 5.2 (доступна в Интернете).

Прибор MPU-6050 находился в стационарном положении, при котором ось чувствительности OZ микромеханического гироскопа была ориентирована вдоль линии отвеса вверх (оси OX и OY находились в горизонтальной плоскости).

Исследовались микромеханические гироскопы по трем осям – OX , OY и OZ . На рисунке 2 в логарифмическом масштабе по обеим осям приведены $\sigma(\tau)$ -графики, построенные по результатам обработки выходной информации ММГу для шести экспериментов длительностью 1,5 ч.

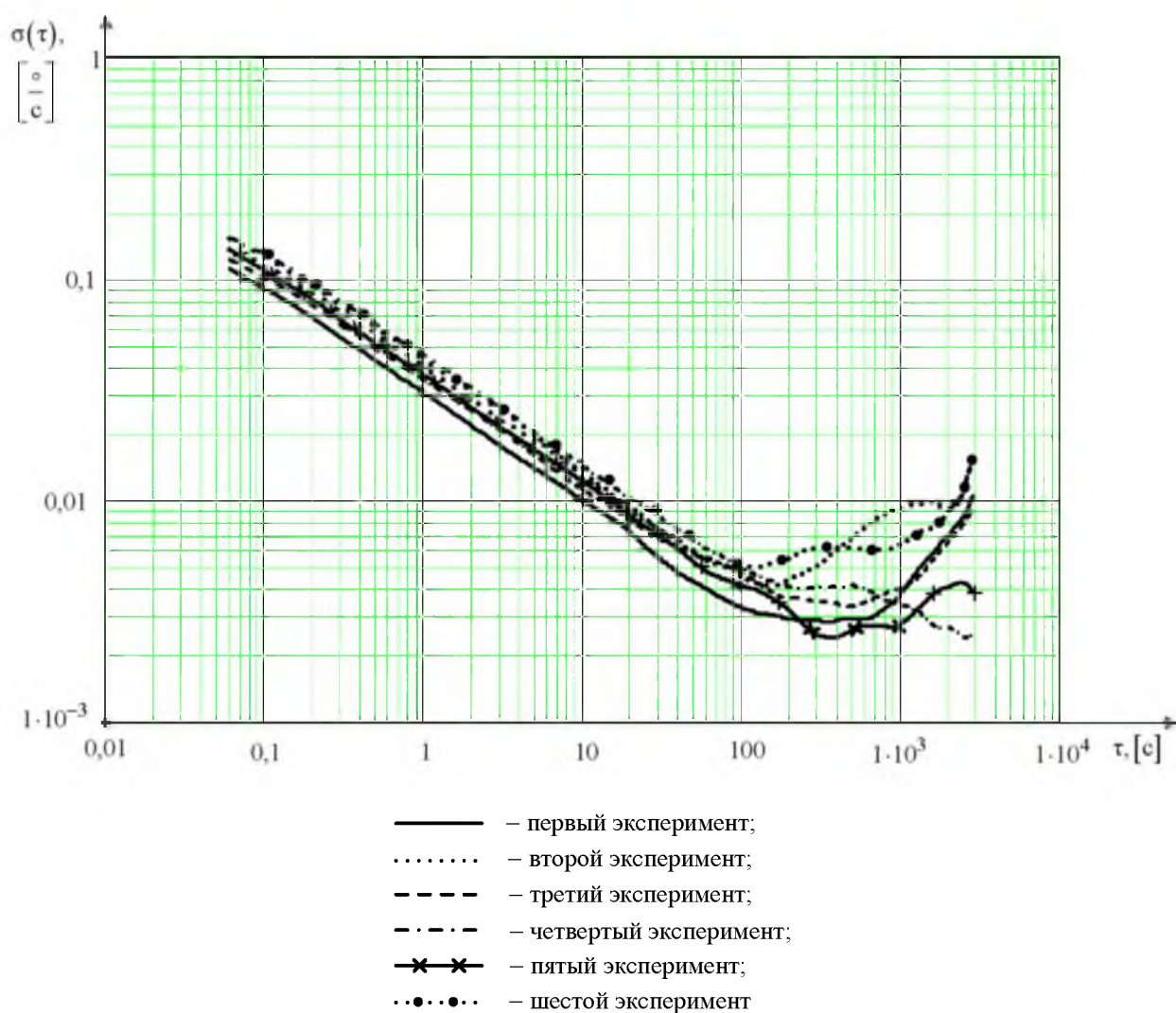


Рисунок 2. – Зависимости $\sigma(\tau)$ -графиков от времени осреднения τ в логарифмическом масштабе, построенные для ММГу

Из рисунка 2 видно, что присутствуют участки с наклоном «-0,5», «0», «+0,5», «+1». В таблице 2 приведены численные оценки коэффициентов R , K , B , N , Q , полученные для ММГу по результатам 1,5-часовых экспериментов. Таблица содержит также результаты расчета математических ожиданий коэффициентов по всем запускам.

Таблица 2. – Оценки коэффициентов для вариации Аллана ММГу

Время эксперимента	Номер эксперимента	Коэффициенты полинома $\sigma(\tau)$				
		$ R , \left[\frac{\circ}{c^2} \right]$	$ K , \left[\left(\frac{\circ}{c} \right) \sqrt{\Gamma_{ц}} \right]$	$ B , \left[\frac{\circ}{c} \right]$	$ M , \left[\frac{\circ}{\sqrt{c}} \right]$	$ Q , \left[\frac{\circ}{c} \right]$
1-й день	1	$5,23 \cdot 10^{-6}$	—	$2,834 \cdot 10^{-3}$	0,03	—
	2	$8,616 \cdot 10^{-6}$	—	$9,143 \cdot 10^{-3}$	0,039	—
	3	$4,74 \cdot 10^{-6}$	—	$4,297 \cdot 10^{-3}$	0,035	—
2-й день	4	—	$7,246 \cdot 10^{-5}$	$4,384 \cdot 10^{-3}$	0,044	—
	5	—	$1,693 \cdot 10^{-4}$	$2,692 \cdot 10^{-3}$	0,036	—
	6	$2,685 \cdot 10^{-6}$	$3,353 \cdot 10^{-4}$	$6,628 \cdot 10^{-3}$	0,042	—
МО		$5,3 \cdot 10^{-6}$	$1,92 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$	0,038	—
DataSheet		—	—	—	0,005	—

Символ «—» в таблице 2 указывает, что значение коэффициента не определено. Как следует из полученных результатов по показаниям ММГ MPU-6050, по всем экспериментам определены коэффициенты N и B . Коэффициент R не определен в двух, коэффициент K – в трех, коэффициент Q – ни в одном из экспериментов. Сравним полученные коэффициенты с паспортными данными, представленными в таблице 3 [7, с. 12].

Таблица 3. – Параметры шумов ММГ MPU-6050

GYROSCOPE NOISE PERFORMANCE	FS_SEL = 0	TYP	UNITS
Total RMS noise	DLPCFG = 2	0,05	$^{\circ}/s\text{-rms}$
Low-frequency RMS noise	Bandwidth 1 Hz to 10 Hz	0,033	$^{\circ}/s\text{-rms}$
Rate Noise Spectral Density	At 10 Hz	0,005	$(^{\circ}/s)/\sqrt{Hz}$

В таблице 3 значение коэффициента N (ARW) названо *Rate Noise Spectral Dencity*. Из полученных результатов видно, что экспериментальное значение коэффициента N больше заявленного. Это может быть объяснено следующим:

1. Значения коэффициентов, представленные в технических описаниях, снимались в лабораторных (заводских) условиях с применением специализированных регистраторов информации. Ввиду отсутствия специализированного оборудования (термокамер, регистраторов информации) были внесены дополнительные составляющие погрешностей, которые привели к увеличению коэффициента N .

2. Значение коэффициента N приведено в техническом описании для полосы 10 Гц. В экспериментах полоса пропускания ММГ составляла 17 Гц ($1/T_0 = 1/0,06$). Увеличение полосы привело к росту N .

На базе проведенного анализа структуры шумов средствами Simulink была разработана имитационная модель случайных погрешностей гироскопов. Модель включает блоки формирования: шума квантования; фликкер-шума; белого шума; случайного блуждания угла; случайного блуждания угловой скорости; шума ухода.

Для проверки адекватности разработанной модели результаты имитационного моделирования сравнивались с сигналом реального гироскопа. Результаты моделирования и экспериментов совпали на 95 %, из чего можно сделать вывод об адекватности разработанной модели погрешностей гироскопов. Кроме того, по выходному сигналу имитационной модели были построены вариации Аллана, которые с высокой точностью совпали с вариациями, полученными в результате экспериментов.

Заключение

Метод вариации Аллана позволяет с высокой точностью идентифицировать состав и параметры шумов в выходном сигнале микромеханического гироскопа.

Результаты исследования полезны для моделирования систем автоматического управления, использующих инерциальные микромеханические датчики. Результаты также могут быть использованы для оценки характеристик реальных датчиков и разработки фильтров Калмана.

Список литературы

1. Матвеев, В. В. Инерциальные навигационные системы: учеб. пособие / В. В. Матвеев. – Тула: ТулГУ, 2012. – 199 с.
2. Степанов, О. А. Сравнение методов идентификации моделей ошибок датчиков, основанных на вариациях Аллана и алгоритмах нелинейной фильтрации / О. А. Степанов, А. В. Моторин // ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», НИУ ИТМО, С.-Петербург, Россия. – 2014. – С. 98–103.
3. IEEE Std 952-1997 Standard Specification Format Guide and Test Procedure for Single Axis Interferometric Fiber Optic Gyros, 1997.
4. IEEE Std 1554-2005 Recommended Practice for Inertial Sensor Test Equipment, Instrumentation, Data Acquisition, and Analysis, 2005.
5. Woodman, O. J. An introduction to inertial navigation / O. J. Woodman // Technical reports publ. by the Univ. of Cambridge. – 2007. – № 696.
6. Allan Variance Analysis on Error Characters of MEMS Inertial Sensors for an FPGA-Based GPS/INS System / X. Zhang [et al.] // In Proceeding of the Intern. Symp. on GPS/GNSS, Tokyo, 11–14 Nov. 2008. – Tokyo, 2008. – P. 127–133.
7. MPU-6000 and MPU-6050. Product Specification. Document Number: PS-MPU-6000A-00. Revision 3.3. Release Date: 5/16/2012.
8. Songlai, H. Using Allan variance to determine the calibration model of inertial sensors for GPS/INS integration / H. Songlai, W. Jinling, K. Nathan // 6th Intern. Symp. on Mobile Mapping Technology, PresidentePrudente, San Paulo, 21–24 July 2009. – San Paulo, 2009.

*Сведения об авторах:

Мороз Андрей Николаевич.

Шабан Сергей Александрович.

Сидорович Олег Викторович.

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 08.06.2016 г.

РАЗРАБОТКА, МОДЕРНИЗАЦИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

УДК 621.396

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОКАНАЛЬНОГО ОБНАРУЖИТЕЛЯ ШИРОКОПОЛОСНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ПРИ НЕРАВНОМЕРНОЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ НОРМАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПОМЕХ

Р. В. Быков, кандидат технических наук*

В статье представлены аналитические выражения для определения и анализа статистических характеристик многоканальных обнаружителей. При этом принимается, что нормально распределенные помехи на выходе каналов приема имеют неравномерный спектр.

Analytical expressions for determining and analyzing the statistical characteristics of the multichannel detectors are presents in article. It is assumed that the normally distributed noise on the output channels to have an uneven spectrum.

Введение

В [1] предложено устройство для обнаружения и измерения направления прихода фронта волн акустических сигналов в спектральной области. В основу статистического синтеза устройства положены:

критерий Неймана – Пирсона;

пространственная корреляция сигналов и ее отсутствие у помех;

нормальное распределение комплексных амплитуд дискретных элементов спектра (ДЭС) сигнала и помех на выходе каждого из M каналов приема (КП).

Решение о наличии (отсутствии) сигнала $A_{1(0)}^*$ в этом устройстве принимается в соответствии с правилом

$$\begin{cases} \text{если } z(\Omega) \geq z_*, \text{ то } A_1^*; \\ \text{если } z(\Omega) < z_*, \text{ то } A_0^*, \end{cases} \quad (1)$$

где z_* – порог принятия решения, который формируется на основе оценок средних мощностей помехи $\hat{\sigma}_{0_n,m}^2$ для каждого n -го ($n = \overline{1, N}$) ДЭС на выходе каждого m -го ($m = \overline{1, M}$) КП и предполагаемой формой спектра сигнала; N – общее число ДЭС; $z(\Omega) = \ln \Lambda(\Omega)$ – результат обработки ДЭС с выхода M КП, который однозначно связан с логарифмом отношения правдоподобия; $\Omega = \{\Omega_1, \dots, \Omega_J, \dots, \Omega_J\}$ – вектор J параметров полезного сигнала (направление прихода фронта волны, положение спектра, его ширина и др.).

Результат обработки ДЭС с выхода M КП определяется алгоритмом, полученным в результате статистического синтеза, который, исключая ранее введенные ограничения (равенства помех в КП и соседних ДЭС спектра), может быть представлен в виде

$$z(\Omega) = \sum_{n=1}^N \left[E_n + \sum_{m=1}^{M-1} \sum_{l=m+1}^M |Q_{n,m} \xi_{n,m} + q_{n,ml}(\Omega) Q_{n,l} \xi_{n,l}|^2 \right], \quad (2)$$

где $E_n = -\ln\left(1 + \sum_{h=1}^M \rho_{n,h}\right)$ – смещение для n -го ДЭС;

$Q_{n,m} = \sqrt{\rho_{n,m} \left[2 \left(1 + \sum_{h=1}^M \rho_{n,h} \right) \sigma_{0_{n,m}}^2 \right]^{-1}}$ – весовой коэффициент для n -го ДЭС; $\xi_{n,m}$ – n -й

нормально распределенный ДЭС на выходе m -го КП; $\rho_{n,m} = \hat{\sigma}_{s_{n,m}}^2 / \hat{\sigma}_{0_{n,m}}^2$ – отношение сигнал/помеха на выходе m -го КП для n -го ДЭС; $\hat{\sigma}_{s_{n,m}}^2$ – оценка средней мощности n -го ДЭС сигнала на выходе m -го КП, определяющая в общем предполагаемую форму спектра сигнала; $q_{n,ml}(\Omega)$ – комплексный коэффициент взаимной корреляции n -х ДЭС сигнала с выходов m -го и l -го КП при $m = \overline{1, (M-1)}$ и $l = \overline{(m+1), M}$, который зависит от параметров сигнала Ω .

В представленном алгоритме под знаком модуля осуществляется когерентное суммирование взвешенных ДЭС с последующим некогерентным суммированием квадратов модулей этих сумм. Работоспособность полученного алгоритма (2) была подтверждена в [1], однако статистические характеристики подобных алгоритмов при неравномерности спектральной плотности помех в КП не анализировались.

Постановка задачи

Как принято в [2, 3], под показателями качества обнаружения понимаются условные вероятности правильного обнаружения и ложной тревоги, которые определяются в виде

$$D = \int_{z_*}^{\infty} p_1(z) dz \quad \text{и} \quad F = \int_{z_*}^{\infty} p_0(z) dz, \quad (3)$$

где $p_{1(0)}(z)$ – плотность распределения вероятности (ПРВ) величины z , формируемой в соответствии с алгоритмом обработки (2), при наличии (отсутствии) сигнала на входе устройства обработки, при этом полагается, что вектор параметров сигнала Ω является априорно известным и его для упрощения восприятия можно опустить, т. е. $z = z(\Omega)$ и $q_{n,ml}(\Omega) = 1$.

Соответственно, для определения вероятности правильного обнаружения D требуется: вычислить значения порога z_* для фиксированной вероятности ложной тревоги F на основе ПРВ $p_0(z)$;

после вычисления порога z_* определить ПРВ $p_1(z)$ и в соответствии с первым выражением (3) вычислить вероятность правильного обнаружения D .

Для определения статистических характеристик $p_0(z)$ и $p_1(z)$ возможны два варианта: аналитический; эмпирический.

Для использования этих двух вариантов решений и получения аналитических выражений для ПРВ $p_{1(0)}(z)$ целесообразно в алгоритме (2) сократить смещение и изменить порядок суммирования. При этом алгоритм (2) можно представить как

$$z = \sum_{m=1}^{M-1} \sum_{l=m+1}^M z_{ml} = \sum_{m=1}^{M-1} \sum_{l=m+1}^M \sum_{n=1}^N y_{n,ml} = \sum_{m=1}^{M-1} \sum_{l=m+1}^M \sum_{n=1}^N |Q_{n,m} \xi_{n,m} + Q_{n,l} \xi_{n,l}|^2, \quad (4)$$

где $y_{n,ml} = |Q_{n,m} \xi_{n,m} + Q_{n,l} \xi_{n,l}|^2$ и $z_{ml} = \sum_{n=1}^N y_{n,ml}$.

В этом случае ПРВ $p(y_{n,ml})$ определяется экспоненциальным законом распределения [4], поскольку ПРВ отдельных квадратурных составляющих $\xi_{n,m(l)}$ имеют нормальный закон распределения, т. е.

$$p(y_{n,ml}) = \frac{1}{2\sigma_{y_{n,ml}}^2} \exp\left(-\frac{y_{n,ml}}{2\sigma_{y_{n,ml}}^2}\right), \quad y_{n,ml} > 0, \quad (5)$$

где $\sigma_{y_{n,ml}}^2$ – дисперсия случайной величины $y_{n,ml}$.

Причем:

при наличии на входе обнаружителя только сигнала

$$\sigma_{y_{n,ml}}^2 = \sigma_{s_{n,ml}}^2 = (Q_{n,m}\sigma_{s_{n,m}} + Q_{n,l}\sigma_{s_{n,l}})^2;$$

при наличии на входе обнаружителя только помехи

$$\sigma_{y_{n,ml}}^2 = \sigma_{h_{n,ml}}^2 = Q_{n,m}^2\sigma_{h_{n,m}}^2 + Q_{n,l}^2\sigma_{h_{n,l}}^2;$$

при наличии на входе обнаружителя аддитивной смеси сигнала и помехи

$$\sigma_{y_{n,ml}}^2 = \sigma_{s_{n,ml}}^2 + \sigma_{h_{n,ml}}^2.$$

Плотность вероятности суммы N квадратов модулей ДЭС $z_{ml} = \sum_{n=1}^N y_{n,ml}$ при

наличии на входе обнаружителя только сигнала ввиду высокой корреляции соседних (с различными номерами n) ДЭС может быть аппроксимирована экспоненциальной кривой [3]:

$$p_s(z_{ml}) = \frac{1}{2\sigma_{s\Sigma_{ml}}^2} \exp\left(-\frac{z_{ml}}{2\sigma_{s\Sigma_{ml}}^2}\right), \quad z_{ml} > 0, \quad (6)$$

где $\sigma_{s\Sigma_{ml}}^2 = \sum_{n=1}^N \sigma_{s_{n,ml}}^2 = \sum_{n=1}^N (Q_{n,m}\sigma_{s_{n,m}} + Q_{n,l}\sigma_{s_{n,l}})^2$.

В результате суммирования z_{ml} на выходе устройства обработки формируется

величина $z = \sum_{m=1}^{M-1} \sum_{l=m+1}^M z_{ml}$ с законом распределения, близким к экспоненциальному:

$$p_s(z) = \frac{1}{2\sigma_{s\Sigma}^2} \exp\left(-\frac{z}{2\sigma_{s\Sigma}^2}\right), \quad z > 0, \quad (7)$$

где $\sigma_{s\Sigma}^2 = \sum_{m=1}^{M-1} \sum_{l=m+1}^M \sigma_{s\Sigma_{ml}}^2$.

Далее для определения ПРВ сигнала на выходе устройства обработки $p_{1(0)}(z)$, когда на входе КП присутствует аддитивная смесь сигнала и помехи (только помеха), необходимо учесть неравномерность спектра помехи при отсутствии корреляции ее ДЭС между собой в каждом КП.

Аналитическое определение статистических характеристик

Плотность вероятности суммы N квадратов модулей для (ml) -й пары КП при наличии на входе обнаружителя только помехи может быть аппроксимирована кривой вида [5]:

$$p_0(z_{ml}) = \sum_{n=1}^N \frac{\exp\left(\frac{z_{ml}}{2\sigma_{h_n,ml}^2}\right)}{2\sigma_{h_n,ml}^2 \prod_{\substack{u=1 \\ u \neq n}}^N \left(1 - \frac{\sigma_{h_u,ml}^2}{\sigma_{h_n,ml}^2}\right)}, z_{ml} > 0. \quad (8)$$

Аналитическое выражение для ПРВ величины $z = \sum_{m=1}^{M-1} \sum_{l=m+1}^M z_{ml}$ при наличии на входе устройства обработки только помехи определяется через «свертки» выражений (8) для различных индексов $m \neq l$ как

$$p_0(z) = \sum_{n_{12}=1}^N \dots \sum_{n_{ml}=1}^N \dots \sum_{n_{(M-1)M}=1}^N \frac{\exp\left(\frac{z}{2(M-1)\sigma_{h_n_{ml},ml}^2}\right)}{2(M-1)\sigma_{h_n_{ml},ml}^2 \prod_{k=1}^{M-1} \prod_{\substack{d=k+1 \\ d \neq l}}^M \left(1 - \frac{\sigma_{h_n_{kd},kd}^2}{\sigma_{h_n_{ml},ml}^2}\right)} \cdot \frac{1}{\prod_{m=1}^{M-1} \prod_{l=m+1}^M \prod_{\substack{u_{ml}=1 \\ u_{ml} \neq n_{ml}}}^N \left(1 - \frac{\sigma_{h_u_{ml},ml}^2}{\sigma_{h_n_{ml},ml}^2}\right)}, z > 0. \quad (9)$$

Аналитически ПРВ $p_1(z)$ определяется сверткой ПРВ (7) и (9):

$$p_1(z) = \sum_{n_{12}=1}^N \dots \sum_{n_{ml}=1}^N \dots \sum_{n_{(M-1)M}=1}^N \frac{1}{\prod_{m=1}^{M-1} \prod_{l=m+1}^M \prod_{\substack{u_{ml}=1 \\ u_{ml} \neq n_{ml}}}^N \left(1 - \frac{\sigma_{h_u_{ml},ml}^2}{\sigma_{h_n_{ml},ml}^2}\right)} \times$$

$$\times \sum_{m=1}^{M-1} \sum_{l=m+1}^M \left[\frac{\exp\left(\frac{z}{2\sigma_{h_n_{ml},ml}^2}\right)}{2\sigma_{h_n_{ml},ml}^2 \left(1 - \frac{\sigma_{s\Sigma}^2}{\sigma_{h_n_{ml},ml}^2}\right) \prod_{k=1}^{M-1} \prod_{\substack{d=k+1 \\ d \neq l}}^M \left(1 - \frac{\sigma_{h_n_{kd},kd}^2}{\sigma_{h_n_{ml},ml}^2}\right)} + \right. \quad (10)$$

$$\left. + \frac{\exp\left(\frac{z}{2\sigma_{s\Sigma}^2}\right)}{2\sigma_{s\Sigma}^2 \prod_{k=1}^{M-1} \prod_{d=k+1}^M \left(1 - \frac{\sigma_{h_n_{kd},kd}^2}{\sigma_{s\Sigma}^2}\right)} \right], z > 0$$

В соответствии с выражениями (3) и с учетом выражений (9), (10) зависимости вероятностей ложной тревоги и правильного обнаружения от порога z_* будут определяться как

$$F(z_*) = \sum_{n_{12}=1}^N \dots \sum_{n_{ml}=1}^N \dots \sum_{n_{(M-1)M}=1}^N \frac{\exp\left(\frac{z_*}{2(M-1)\sigma_{h_n_{ml},ml}^2}\right)}{\prod_{k=1}^{M-1} \prod_{\substack{d=k+1 \\ d \neq l}}^M \left(1 - \frac{\sigma_{h_n_{kd},kd}^2}{\sigma_{h_n_{ml},ml}^2}\right)} \prod_{m=1}^{M-1} \prod_{l=m+1}^M \prod_{\substack{u_{ml}=1 \\ u_{ml} \neq n_{ml}}}^N \left(1 - \frac{\sigma_{h_u_{ml},ml}^2}{\sigma_{h_n_{ml},ml}^2}\right) \quad (11)$$

и

$$D(z_*) = \sum_{n_{12}=1}^N \dots \sum_{n_{ml}=1}^N \dots \sum_{n_{(M-1)M}=1}^N \frac{1}{\prod_{m=1}^{M-1} \prod_{l=m+1}^M \prod_{\substack{u_{ml}=1 \\ u_{ml} \neq n_{ml}}}^N \left(1 - \frac{\sigma_{ho_u_{ml},ml}^2}{\sigma_{ho_n_{ml},ml}^2}\right)} \times$$

$$\times \sum_{m=1}^{M-1} \sum_{l=m+1}^M \left[\frac{\exp\left(\frac{z_*}{2\sigma_{ho_n_{ml},ml}^2}\right)}{\left(1 - \frac{\sigma_{so\Sigma}^2}{\sigma_{ho_n_{ml},ml}^2}\right) \prod_{k=1}^{M-1} \prod_{\substack{d=k+1 \\ d \neq l}}^M \left(1 - \frac{\sigma_{ho_n_{kd},kd}^2}{\sigma_{ho_n_{ml},ml}^2}\right)} + \frac{\exp\left(\frac{z_*}{2\sigma_{so\Sigma}^2}\right)}{\prod_{k=1}^{M-1} \prod_{d=k+1}^M \left(1 - \frac{\sigma_{ho_n_{kd},kd}^2}{\sigma_{so\Sigma}^2}\right)} \right] \quad (12)$$

Теперь для определения зависимости вероятности правильного обнаружения от отношения сигнал/помеха на входе обнаружителя достаточно численным методом из выражения (11) найти значение порога для фиксированной вероятности ложной тревоги и в соответствии с выражением (12) для различных значений отношения сигнал/помеха вычислить вероятности правильного обнаружения.

Необходимо отметить, что выражения (11) и (12), хоть и являются точным решением для определения характеристик обнаружения, громоздки и для вычисления порога обнаружения требуют значительных вычислительных затрат, особенно при $M > 3$. Для снижения вычислительных затрат возможно:

ограничить число обрабатываемых ДЭС, т. е. $n_{ml} = \overline{N_n, N_v}$, где $N_{n(v)}$ – номер ДЭС, определяющий нижнюю (верхнюю) границу обрабатываемого спектра;

исключить второстепенные базы из обработки, т. е. когда значение m в выражениях (11) и (12) фиксировано и равно 1;

воспользоваться аппроксимацией ПРВ (9) с некоторой модификацией χ^2 закона распределения на основе общепринятых в [2, 3] выводов, что ПРВ суммы экспоненциально распределенных квадратов модулей ДЭС помехи на выходе устройства обработки имеет такой закон.

Эмпирическое определение статистических характеристик

Можно предположить, что ПРВ помехи на выходе устройства обработки имеет χ^2 закон распределения:

$$\tilde{P}_0(z) = \left(\frac{\tilde{N}}{2\tilde{\sigma}_{h\Sigma}^2}\right)^{\tilde{N}} \frac{z^{\tilde{N}-1}}{\Gamma(\tilde{N})} \exp\left(-\frac{\tilde{N}}{2\tilde{\sigma}_{h\Sigma}^2} z\right), z > 0, \quad (13)$$

где $\tilde{N} = N(M-1)$ или $\tilde{N} = (N_v - N_n)(M-1)$ – число степеней свободы при обработке всего спектра или его ограниченной части; $\Gamma(x)$ – гамма-функция от x ;

$\tilde{\sigma}_{h\Sigma}^2 = \sum_{m=1}^{M-1} \sum_{l=m+1}^M \sum_{n=1}^N \sigma_{h_n,ml}^2$ или $\tilde{\sigma}_{h\Sigma}^2 = \sum_{l=2}^M \sum_{n=N_n}^{N_v} \sigma_{h_n,l}^2$ – средняя мощность помехи на

выходе устройства обработки при обработке всех ДЭС или ограничении обрабатываемых ДЭС и исключении второстепенных баз.

С учетом свертки (7) и (13) ПРВ аддитивной смеси сигнала и помехи $\tilde{p}_1(z)$ на выходе устройства обработки будет определяться как

$$\tilde{p}_1(z) = \frac{\tilde{N}^{\tilde{N}} \sigma_{s\Sigma}^{2(\tilde{N}-1)}}{2(\tilde{N}\sigma_{s\Sigma}^2 - \tilde{\sigma}_{h\Sigma}^2)^{\tilde{N}}} \left[\exp\left(-\frac{z}{2\sigma_{s\Sigma}^2}\right) - \exp\left(-\frac{\tilde{N}}{2\tilde{\sigma}_{h\Sigma}^2} z\right) \sum_{q=0}^{\tilde{N}-1} \frac{1}{q!} \left(\frac{\tilde{N}\sigma_{s\Sigma}^2 - \tilde{\sigma}_{h\Sigma}^2}{2\sigma_{s\Sigma}^2 \tilde{\sigma}_{h\Sigma}^2} z\right)^q \right], z > 0. \quad (14)$$

Интегрируя выражения (13) и (14) в соответствии с (3), зависимости вероятностей ложной тревоги $\tilde{F}(z_*)$ и правильного обнаружения $\tilde{D}(z_*)$ от величины порога будут определяться следующими выражениями:

$$\tilde{F}(z_*) = \exp\left(-\frac{\tilde{N}}{2\tilde{\sigma}_{h\Sigma}^2} z_*\right) \sum_{q=0}^{\tilde{N}-1} \frac{1}{q!} \left(\frac{\tilde{N}}{2\tilde{\sigma}_{h\Sigma}^2} z_*\right)^q \quad (15)$$

и

$$\tilde{D}(z_*) = \frac{\tilde{N}^{\tilde{N}} \sigma_{s\Sigma}^{2(\tilde{N}-1)}}{2(\tilde{N}\sigma_{s\Sigma}^2 - \tilde{\sigma}_{h\Sigma}^2)^{\tilde{N}}} \left\{ 2\sigma_{s\Sigma}^2 \exp\left(-\frac{z_*}{2\sigma_{s\Sigma}^2}\right) - 2\tilde{\sigma}_{h\Sigma}^2 \exp\left(-\frac{\tilde{N}}{2\tilde{\sigma}_{h\Sigma}^2} z_*\right) \sum_{q=0}^{\tilde{N}-1} \left[\frac{1}{\tilde{N}^{q+1}} \left(\frac{\tilde{N}\sigma_{s\Sigma}^2 - \tilde{\sigma}_{h\Sigma}^2}{\sigma_{s\Sigma}^2}\right)^q \sum_{g=0}^q \frac{1}{g!} \left(\frac{\tilde{N}}{2\tilde{\sigma}_{h\Sigma}^2} z_*\right)^g \right] \right\}. \quad (16)$$

Далее, как и для аналитического определения статистических характеристик обнаружения, определяется зависимость вероятности правильного обнаружения от отношения сигнал/помеха. Для подтверждения основных аналитических и эмпирических выражений проведено статистическое моделирование.

Основные результаты статистического моделирования

При СМ использованы модели широкополосного сигнала и помехи. Форма спектра, усредненного по $L_s = 2000$ реализациям этих сигналов и помех, представлена на рисунке 1. Спектр получен при использовании быстрого преобразования Фурье с полосой фильтра $\Delta F_{\Pi} = 48,8$ Гц. Для снижения вычислительных затрат в обработке использовалось 5 ДЭС ($N_n = 11$, $N_v = 15$) при $M = 3$. Гистограммы, характеризующие ПРВ сигнала, помехи и их аддитивной смеси на выходе устройства обработки, представлены на рисунках 2–4.

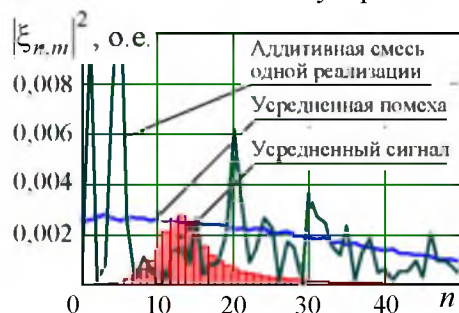


Рисунок 1. – Фрагменты усредненных спектров сигнала, помехи и их аддитивной смеси

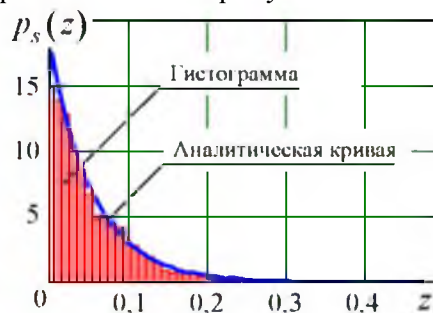


Рисунок 2. – Гистограмма и аналитическая кривая ПРВ, полученная в соответствии с выражением (7)

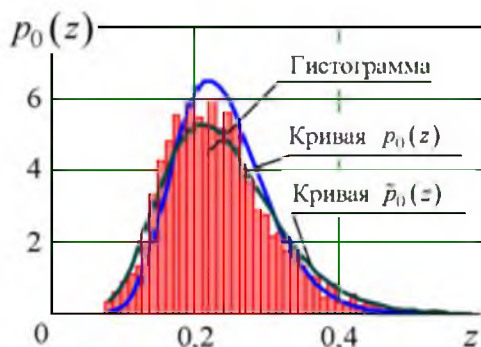


Рисунок 3. – Гистограмма и аналитическая кривая ПРВ, полученная в соответствии с выражениями (9) и (13)

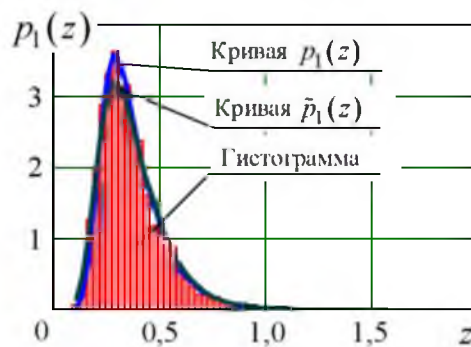


Рисунок 4. – Гистограмма и аналитическая кривая ПРВ, полученная в соответствии с выражениями (10) и (14)

На рисунках 2–4 сплошными линиями обозначены ПРВ $p_s(z)$, $p_0(z)$, $p_1(z)$, $\tilde{p}_0(z)$ и $\tilde{p}_1(z)$, полученные аналитически в соответствии с выражениями (7), (9), (10), (13) и (14).

Зафиксировав значение вероятности ложной тревоги на заданном уровне, из выражений (11) и (15) можно численно определить значение порога z^* , для которого вычислить вероятность правильного обнаружения в соответствии с выражениями (12) и (16). Изменяя значение отношения сигнал/помеха на входе устройства обработки, можно получить зависимость вероятности правильного обнаружения от этого отношения $D(\gamma)$ (при использовании выражения (12)) и $\tilde{D}(\gamma)$ (при использовании выражения (16)). В качестве примера на рисунках 5 и 6 представлены зависимости вероятностей правильного обнаружения от отношения сигнал/помеха на входе двух- ($M=2$), трех- ($M=3$) и четырех- ($M=4$) канальных обнаружителей при вероятности ложной тревоги $F=10^{-4}$ и количестве обрабатываемых ДЭС:

в первом случае $N_n=10$, $N_v=15$;

втором случае $N_n=11$, $N_v=13$.

Соотношения средних мощностей помех относительно средней мощности помехи в первом КП составили: во втором КП – 1,44; третьем КП – 3,24; четвертом КП – 2,25.

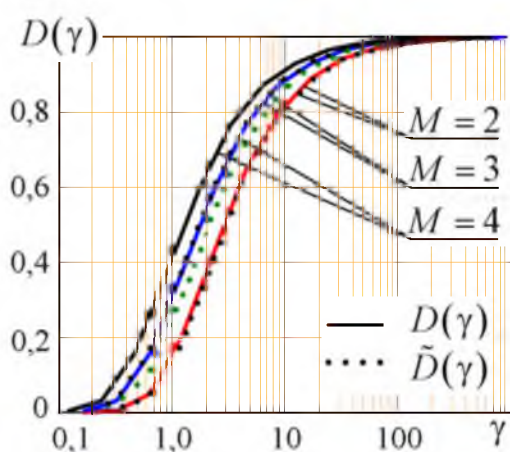


Рисунок 5. – Зависимость вероятности правильного обнаружения от отношения сигнал/помеха на входе устройства обработки при $n=[10,15]$

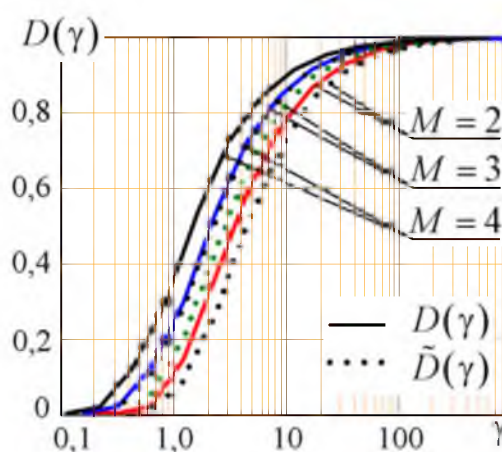


Рисунок 6. – Зависимость вероятности правильного обнаружения от отношения сигнал/помеха на входе устройства обработки при $n=[11,13]$

Из результатов моделирования (см. рисунки 5 и 6) видно, что при вероятности ложной тревоги, равной $F = 10^{-4}$, и обеспечении вероятности правильного обнаружения $D = 0,8$ при согласованности весовых коэффициентов с формой спектра сигнала требуемое отношение сигнал/помеха при использовании выражений (11), (15) и (12), (16) должно составлять:

в первом случае:

для двухканального обнаружителя ($M = 2$) – 9 и 10;

трехканального обнаружителя ($M = 3$) – 5,5 и 7;

четырёхканального обнаружителя ($M = 4$) – 4,0 и 5,2;

во втором случае:

для двухканального обнаружителя ($M = 2$) – 10,3 и 15;

трехканального обнаружителя ($M = 3$) – 7 и 9;

четырёхканального обнаружителя ($M = 4$) – 4,7 и 7,2.

Анализ СМ показывает, что:

плотность распределения вероятностей помехи на выходе устройства обработки (см. рисунок 3) более точно аппроксимируется χ^2 законом распределения, что в свою очередь позволяет повысить точность и снизить вычислительные затраты при вычислении порога, а также более точно определить зависимость вероятности правильного обнаружения от отношения сигнал/помеха на входе устройства обработки;

при увеличении числа обрабатываемых ДЭС, как и при увеличении КП, требуемое значение отношения сигнал/помеха при заданной величине вероятности правильного обнаружения снижается, т. е. при широкополосных сигналах в какой-то степени можно ограничить ширину обрабатываемого спектра для обнаружения сигнала. Однако необходимо отметить, что обработка ограниченного числа ДЭС принимаемого сигнала является неоптимальной. Уровень снижения требований к отношению сигнал/помеха для обеспечения необходимого уровня вероятности правильного обнаружения при фиксированном уровне ложной тревоги также зависит от ширины спектра сигнала.

Заключение

Полученные аналитические выражения позволяют определить статистические характеристики многоканальных обнаружителей широкополосных сигналов в спектральной области при неравномерных спектральных плотностях помех для различных дискретных элементов спектра, а также для разных каналов приема. Эти выражения могут использоваться для анализа обнаружителей акустических, сейсмических и других сигналов с дискретным (многомодальным или ограниченным) спектром. При этом с помощью полученных выражений можно проводить анализ влияния количества выбранных дискретных элементов спектра (формы весовых коэффициентов) на качество обнаружения. Также необходимо отметить, что ограничение числа обрабатываемых элементов спектров на выходе каналов приема может быть ограничено в целях увеличения этих каналов при сохранении вычислительных способностей устройства обработки и устройства формирования порога.

Для снижения вычислительных затрат и повышения точности определения порога целесообразно использовать аппроксимацию плотности распределения вероятности помех на выходе устройства обработки χ^2 законом распределения при соответствующих значениях средней мощности помехи и числа степеней свободы, которые зависят от числа обрабатываемых дискретных элементов спектра, предполагаемой формы спектра полезного сигнала, уровня помех в каждом элементе спектра, а также числа каналов приема.

Список литературы

1. Быков, Р. В. Алгоритм для однопозиционных многоканальных пассивных акустических систем определения направления на источник сигнала в спектральной области / Р. В. Быков // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2013. – № 3 (40). – С. 90–96.
2. Горшков, С. А. Основы радиолокации: конспект лекций / С. А. Горшков, В. В. Латушкин, С. Ю. Седышев. – Минск: ВА РБ, 2004. – Ч. 2. – 176 с.
3. Охрименко, А. Е. Основы радиолокации и РЭБ / А. Е. Охрименко. – М.: Воениздат, 1983. – 456 с.
4. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей: учеб. для вузов / Е. С. Вентцель. – 8-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2002. – 575 с.
5. Миддлтон, Д. Введение в статистическую теорию связи / Д. Миддлтон; пер. с англ. Б. А. Смиренина; под ред. Б. Р. Левина. – М.: Сов. радио, 1962. – Т. 2. – 832 с.

*Сведения об авторе:

Быков Руслан Викторович.

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 11.10.2016 г.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗВРАТНО-ПОСТУПАТЕЛЬНОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОУСТАНОВОК АВТОНОМНЫХ ОБРАЗЦОВ ВООРУЖЕНИЯ

А. Б. Менжинский;

А. Н. Малашин, кандидат технических наук, доцент;

А. Е. Каледа, кандидат технических наук, доцент;

О. В. Сидяко*

В статье представлено математическое моделирование возвратно-поступательного электрического генератора. Проведена сравнительная оценка линейного и возвратно-поступательного электрического генератора по КПД и удельной массе.

The article presents mathematical modeling of a reciprocating electric generator. It gives a comparative evaluation of linear and reciprocating electric generator by efficiency and specific mass.

Анализ современных военных конфликтов свидетельствует о широком использовании войсками высокотехнологического вооружения, а именно: военных робототехнических систем, средств связи, радиоэлектронного, информационного и высокоточного оружия. К такому классу вооружения, как правило, предъявляются повышенные требования по энерговооруженности и мобильности, а следовательно, вводятся достаточно жесткие ограничения по массе и габаритам. Это также относится и к системе энергоснабжения (СЭС) автономных образцов вооружения (АОВ) [1, 2].

В настоящее время существует потребность в разработке СЭС АОВ, составной частью которой являлся бы электромеханический преобразователь энергии с высокими энергетическими и минимальными массогабаритными показателями. В связи с этим в военно-исследовательских центрах ведущих стран в качестве перспективного электромеханического преобразователя энергии рассматривается свободнопоршневой двигатель (СПД) с линейным электрическим генератором (ЛЭГ) [3, 4].

Основным достоинством такой системы является отсутствие кривошипно-шатунного механизма в конструкции двигателя, что позволяет увеличить его КПД до 65 %, достичь средней удельной массы 1 кг/кВт, уменьшить удельный расход топлива двигателя до 140 г/кВт·ч, реализовать модульную структуру электромеханического преобразователя энергии [5, 6]. Средний ресурс до капитального ремонта увеличится до 50 тыс. ч, в зависимости от типа СПД.

Сравнительный анализ характеристик электромеханических преобразователей энергии на базе СПД и двигателя внутреннего сгорания (ДВС) с кривошипно-шатунным механизмом (КШМ) показал, что электромеханические преобразователи энергии на базе СПД, по сравнению с электромеханическими преобразователями энергии на базе ДВС с КШМ, обладают большим КПД (на 20–25 %), меньшей удельной массой (в 8–15 раз), меньшим удельным расходом топлива (в 1,5–2 раза) и большим ресурсом до капитального ремонта (в 2–3 раза).

В современных опытных разработках электромеханических преобразователей энергии на базе СПД в качестве электрической машины применяются ЛЭГ. Как показал анализ, ЛЭГ имеют ряд принципиальных недостатков: необходимость наличия демпфирующих устройств в электромеханических преобразователях энергии на базе СПД и ЛЭГ; отсутствие возможности обеспечения, полного согласования электромагнитной силы ЛЭГ с силой, действующей на подвижную часть СПД и др., которые ограничивают эффективность использования преимуществ СПД [8, 9]. В результате возникает необходимость исследования новых конструкций и оптимизации уже существующих электромеханических преобразователей энергии возвратно-поступательного движения, которые позволяли бы с максимальной эффективностью использовать преимущества СПД. В [8] отмечено, что наличие высокоэффективного электромеханического преобразователя энергии возвратно-

поступательного движения с малой величиной перемещения подвижной части позволило бы с максимальной эффективностью использовать преимущества СПД.

Рассмотрим конструкцию простейшего возвратно-поступательного электрического генератора (ВПЭГ), состоящую из неподвижной и подвижной части (рисунок 1). Неподвижная 1 и подвижная 2 часть ВПЭГ представляет собой П-образный магнитопровод с рабочей обмоткой 3 и постоянными магнитами 4 соответственно.

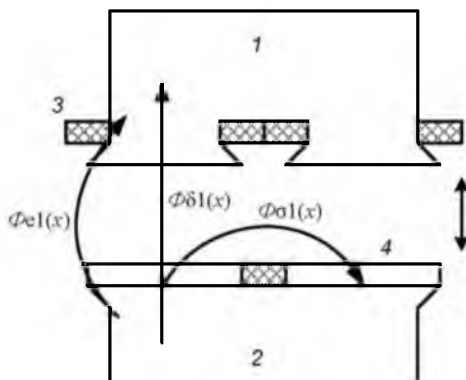


Рисунок 1. – Возвратно-поступательный электрический генератор

Математическому описанию линейных электрических машин посвящено достаточное количество работ, однако только некоторые из них описывают линейную электрическую машину в генераторном режиме работы [5, 7, 8]. Математическое описание ЛЭГ в данной статье проводится на основе уже существующих уравнений с учетом некоторой специфики конструктивного исполнения используемого типа генератора. Что касается математического описания предлагаемой выше конструкции ВПЭГ, то на сегодняшний день его не существует, поэтому разработка математической модели ВПЭГ в целях сравнительной оценки ЛЭГ и предлагаемого ВПЭГ по КПД и удельной массе является актуальной задачей.

При разработке математических моделей ЛЭГ и ВПЭГ был принят ряд допущений:

- 1) целесообразно пренебречь потерями в магнитопроводе от вихревых токов, магнитным сопротивлением магнитопровода и постоянных магнитов;
- 2) наличие чисто активной нагрузки;
- 3) однофазное исполнение обоих типов генераторов;
- 4) перемещение индуктора генератора вдоль оси с синусоидальным законом изменения координаты во времени.

С учетом принятых допущений эквивалентная электрическая цепь ЛЭГ и ВПЭГ может быть представлена в виде схемы (рисунок 2).

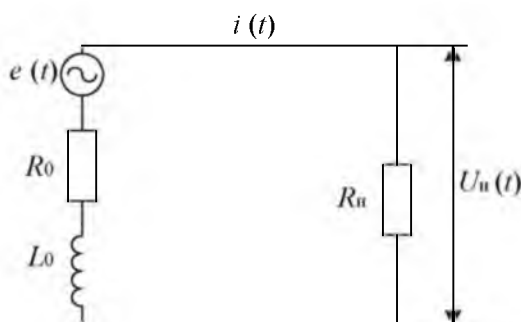


Рисунок 2. – Эквивалентная электрическая цепь ЛЭГ и ВПЭГ

Согласно второму закону Кирхгофа для эквивалентной электрической цепи генераторов уравнение напряжений имеет вид [9]:

$$E_0 = IR_n + I\sqrt{R_0^2 + X_0^2},$$

где E_0 – действующее значение ЭДС движения (ЭДС ХХ);

I – действующее значение тока;

R_n – активное сопротивление нагрузки;

R_0 – активное сопротивление рабочей обмотки генератора;

X_0 – индуктивное сопротивление рабочей обмотки генератора.

Тогда действующее (номинальное) напряжение на выводах генератора рассчитывается по выражению

$$U_n = E_0 - I\sqrt{R_0^2 + X_0^2}.$$

В [9, с. 161] показано, что электромеханическое преобразование энергии связано только с ЭДС движения, следовательно, массогабаритные и энергетические параметры генератора напрямую зависят от наводимой в его обмотке ЭДС движения. Прежде чем записать выражения для ЭДС движения ЛЭГ и ВПЭГ, определим, как перемещается подвижная часть генератора относительно неподвижной части.

При моделировании перемещения подвижной части генератора (индуктора) относительно неподвижной части примем допущение о синусоидальном законе изменения координаты индуктора во времени, при этом аналитическое представление перемещения подвижной части генератора (индуктора) будет следующим:

для ЛЭГ:

$$x_{\text{ЛЭГ}}(t) = \left(\frac{b_m}{2} + \frac{\Delta b}{2} \right) \sin(\omega t);$$

для ВПЭГ:

$$x_{\text{ВПЭГ}}(t) = h_{\text{хода}} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin(\omega t) \right) + \delta_{\min},$$

где b_m – ширина постоянного магнита;

Δb – ширина изоляционной вставки;

$h_{\text{хода}}$ – величина хода подвижной части генератора;

δ_{\min} – минимально возможная величина воздушного зазора.

На основании закона электромагнитной индукции Фарадея [9], запишем выражение мгновенного значения ЭДС движения, наводимой в рабочей обмотке генератора:

$$e(t) = -\frac{d\Phi_a}{dt} w, \quad (1)$$

где Φ_a – магнитный поток через k -й контур рабочей обмотки генератора;

w – количество витков рабочей обмотки генератора.

Для расчета магнитного потока через рабочую обмотку генераторов, ЛЭГ и ВПЭГ, составим эквивалентные схемы магнитных цепей, показанные на рисунке 3, *а* и *б* соответственно.

На рисунке 3 индексы 1 и 2 относятся к левому и правому магнитам соответственно.

$$G_1(x) = \frac{G_{e1}(x)G_{\delta1}(x)}{G_{e1}(x) + G_{\delta1}(x)} \quad \text{и} \quad G_2(x) = \frac{G_{e2}(x)G_{\delta2}(x)}{G_{e2}(x) + G_{\delta2}(x)},$$

$G_{\delta1}(x)$ и $G_{\delta2}(x)$ – магнитные проводимости воздушных зазоров постоянных магнитов;

$G_{e1}(x)$ и $G_{e2}(x)$ – магнитные проводимости воздушных промежутков по путям потоков краевого эффекта (выпучивания для ВПЭГ);

$G_{\sigma1}(x)$ и $G_{\sigma2}(x)$ магнитные проводимости воздушных промежутков по путям потоков рассеяния;

F_{m1} и F_{m2} – МДС постоянных магнитов ($F_{m1} = F_{m2}$);

F_{ar} – МДС рабочей обмотки; $\Phi_a(x)$ – магнитный поток через рабочую обмотку.

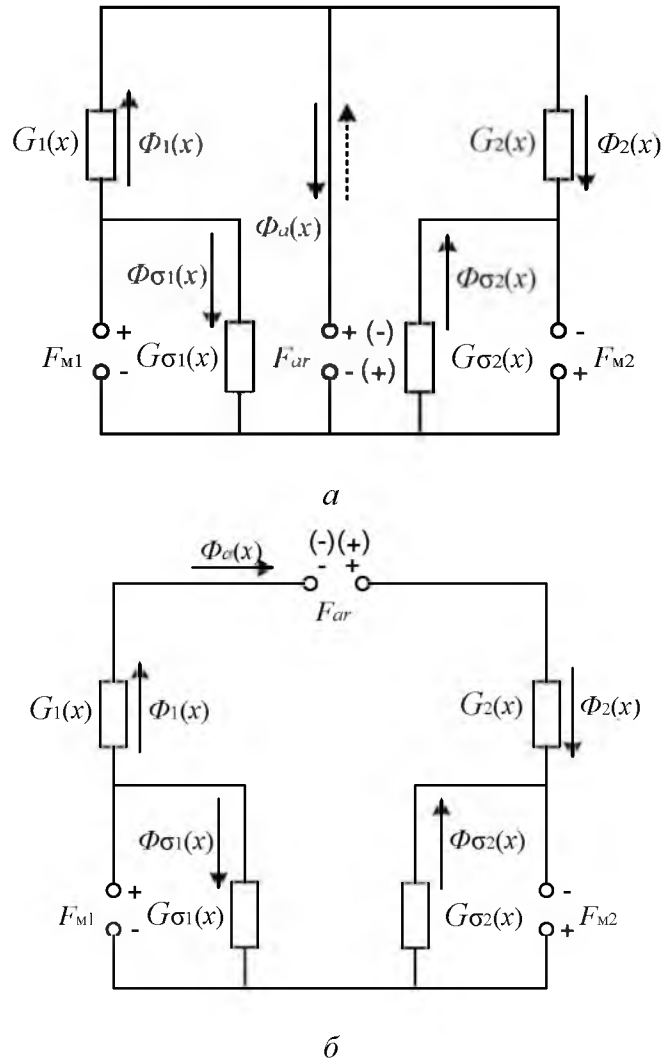


Рисунок 3. – Эквивалентные схемы магнитных цепей ЛЭГ (а) и ВПЭГ (б)

На эквивалентных схемах магнитной цепи показаны магнитные потоки рассеяния и полезные магнитные потоки:

для эквивалентной схемы магнитной цепи ЛЭГ:

$$\Phi_1(x) = \frac{\Phi_{e1}(x) + \Phi_{\delta 1}(x)}{\sigma}, \quad \Phi_2(x) = \frac{\Phi_{e2}(x) + \Phi_{\delta 2}(x)}{\sigma}, \quad \Phi_a(x) = \Phi_1(x) - \Phi_2(x);$$

для эквивалентной схемы магнитной цепи ВПЭГ:

$$\Phi_1(x) = \frac{\Phi_{e1}(x) + \Phi_{\delta 1}(x)}{\sigma}, \quad \Phi_2(x) = \frac{\Phi_{e2}(x) + \Phi_{\delta 2}(x)}{\sigma}, \quad \Phi_a(x) = \Phi_1(x) = \Phi_2(x),$$

где σ – коэффициент рассеяния магнитного потока (1,05–1,3).

Для определения магнитных потоков эквивалентных магнитных цепей (рисунок 4) применимы законы Кирхгофа [10]: закон равновесия МДС и закон равенства потоков в узле.

Для ЛЭГ получим

$$\begin{cases} \frac{F_{M1}}{\sigma} + \frac{F_{M2}}{\sigma} = \frac{\Phi_1(x)}{G_1(x)} + \frac{\Phi_2(x)}{G_2(x)}, \\ \frac{F_{M1}}{\sigma} \pm \frac{F_{ar}}{\sigma} = \frac{\Phi_1(x)}{G_1(x)}, \\ \Phi_1(x) = \Phi_2(x) + \Phi_a(x). \end{cases}$$

Полагаем $F_{M1} = F_{M2} = F_M$ и $F_{ar} = 0$. Тогда магнитный поток через k -й контур рабочей обмотки генератора равен

$$\Phi_a(x) = \frac{F_M}{\sigma} (G_1(x) - G_2(x)). \quad (2)$$

МДС постоянного магнита: $F_M = H_c h_m$,

где H_c – коэрцитивная сила по индукции;

h_m – длина магнита вдоль оси полюсов (толщина магнита).

Для ВПЭГ получим

$$\frac{F_{M1}}{\sigma} + \frac{F_{M2}}{\sigma} \pm \frac{F_{ar}}{\sigma} = \frac{\Phi_1(x)}{G(x)} = \frac{\Phi_2(x)}{G(x)}.$$

Полагаем $F_{M1} = F_{M2} = F_M$, $F_{ar} = 0$, $G(x) = G_1(x)/2 = G_2(x)/2$. Магнитный поток через k -й контур рабочей обмотки генератора равен

$$\Phi_a(x) = \frac{F_M}{\sigma} G_1(x) = \frac{2F_M}{\sigma} G(x). \quad (3)$$

Следует отметить, что если координата перемещения x является независимой функцией времени $x(t)$, то все параметры электрической машины, которые зависят от координаты перемещения, также будут независимой функцией времени. Таким образом, с учетом закона изменения во времени магнитного потока через рабочую обмотку (см. формулы (2) и (3)) и на основании закона электромагнитной индукции Фарадея (согласно уравнению (1)) запишем выражения действующего номинального напряжения на выводах генераторов:

для ЛЭГ:

$$U_n = \frac{F_M w}{\sigma} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{d(G_1(t) - G_2(t))}{dt} \right)^2 dt} - I \sqrt{R_0^2 + X_0^2};$$

для ВПЭГ:

$$U_n = \frac{2wF_M}{\sigma} \sqrt{\frac{2}{T} \int_0^T \left(\frac{d(G(t))}{dt} \right)^2 dt} - I \sqrt{R_0^2 + X_0^2}.$$

Для сравнительной оценки двух типов генераторов по КПД и удельной массе используем данные таблицы 1.

Таблица 1. – Исходные данные для сравнительной оценки генераторов

Параметр	Значение
Номинальная мощность, кВт	3
Номинальное напряжение, В	220
Плотность тока, А/м ²	$6 \cdot 10^6$
Коэффициент мощности	1
Величина воздушного зазора для ЛЭГ, мм	0,5
Минимальная величина воздушного зазора для ВПЭГ, мм	0,5
Средняя скорость перемещения подвижной части генератора, м/с	10

Магнитная система обоих типов генераторов содержит постоянный магнит (NdFeB) с параметрами: $B = 1,12$ Тл, $H_c = 950 \cdot 10^3$ А/м. Толщина постоянного магнита с учетом механической прочности принимается равной $L_m = 5$ мм [10].

Результаты расчета КПД и удельной массы генераторов обоих типов представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Расчет КПД и удельной массы генераторов

Показатели	Результаты расчета	
	ЛЭГ	ВПЭГ
Расчетный КПД, %	96,56	99,41
Расчетная удельная масса, кг/кВт	1,79	0,27
Частота колебания подвижной части генератора, Гц	125	125
Амплитуда колебания подвижной части генератора, мм	20	20

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что при одной и той же амплитуде, частоте и средней скорости колебания подвижной части генератора ВПЭГ, по сравнению с ЛЭГ, обладает большим КПД (на 3 %) и меньшей удельной массой (в 6,5 раза). При экспериментальной проверке адекватности простейшей математической модели ВПЭГ [11, с. 271–277] было выявлено, что характеристики ВПЭГ зависят от величины перемещения подвижной части генератора. Поэтому для оценки эффективности ВПЭГ от величины перемещения подвижной части проведем анализ зависимости КПД и удельной массы ВПЭГ от амплитуды колебания подвижной части генератора при постоянной средней скорости подвижной части. Результаты расчетов представлены в таблице 3.

Таблица 3. – Оценка зависимости КПД и удельной массы ВПЭГ от амплитуды колебания подвижной части генератора

Показатели	Возвратно-поступательный электрический генератор			
	7,5/333	10/250	20/125	25/100
Амплитуда / частота колебания подвижной части генератора, мм/Гц				
Расчетный КПД	0,9962	0,9957	0,9941	0,994
Удельная масса, кг/кВт	0,18	0,22	0,28	0,42

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что КПД и удельная масса ВПЭГ ограничены величиной перемещения подвижной части генератора, что можно отнести к недостатку данного типа генератора. Однако, как отмечалось выше, именно наличие высокоэффективного электромеханического преобразователя энергии возвратно-поступательного движения с малой величиной перемещения подвижной части [8] позволит с максимальной эффективностью использовать преимущества СПД. Кроме того, в отличие от ЛЭГ, ВПЭГ обладает свойством демпфера, что снимает необходимость наличия дополнительных демпфирующих устройств в конструкции энергоустановки. Другими словами, уменьшаются массогабаритные параметры энергоустановки, а также обеспечивается полное согласование электромагнитной силы ВПЭГ с силой, действующей на подвижную часть СПД. Таким образом, технические возможности разработки СЭС АОВ, составной частью которой являлся бы электромеханический преобразователь энергии на базе СПД с высокими энергетическими и минимальными массогабаритными показателями, позволяют решить задачу повышения энерговооруженности АОВ с одновременным уменьшением массогабаритных показателей СЭС АОВ.

Список литературы

1. Косачев, И. М. Методика сравнительного анализа однотипных образцов вооружения и военной техники / И. М. Косачев, И. М. Аношкин // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2013. – № 2. – С. 18–39.
2. Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Система менеджмента качества. Общие требования: ГОСТ РВ 15.002-2012. – М.: Госстандарт России, 2012. – 52 с.
3. Cawthorne, W. R. Optimization of a Brushless Permanent Magnet Linear Alternator for Use With a Linear Internal Combustion Engine: Diss. College Eng. and Mineral Resources / W. R. Cawthorne. – Morgantown, 1999. – 113 p.

4. Hanson, J. Analysis and Control of a Hybrid Vehicle Powered by a Free-Piston Energy Converter, Electrical Machines and Power Electronics School of Electrical Engineering / J. Hanson. – Stockholm, 2006. – 110 p.
5. Темнов, Э. С. Разработка теоретических основ расчета и конструирования малоразмерных двигатель-генераторных установок как единой динамической системы: дис. ... канд. техн. наук / Э. С. Темнов. – Тула, 2005. – 134 л.
6. Костиков, В. Г. Источники электропитания электронных средств. Схемотехника и конструирование: учеб. для вузов / В. Г. Костиков, Е. М. Парфенов, Е. М. Шахнов. – 2-е изд. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 344 с.
7. Хитерер, М. Я. Синхронные электрические машины возвратно-поступательного движения / М. Я. Хитерер, И. Е. Овчинников. – СПб.: КОРОНА принт, 2013. – 368 с.
8. Герасимов, Д. В. Анализ и синтез свободнопоршневых механизмов энергоустановок летательных аппаратов: дис. ... канд. техн. наук: 05.07.05 / Д. В. Герасимов. – Самара, 2005. – 123 с.
9. Иванов-Смоленский, А. В. Электрические машины: учеб. для вузов / А. В. Иванов-Смоленский. – М.: Энергия, 1980. – 928 с.
10. Балагуров, В. А. Электрические машины с постоянными магнитами / В. А. Балагуров, Ф. Ф. Галтеев, А. Н. Ларионов. – М.: Энергия, 1964. – 480 с.
11. Экспериментальная проверка адекватности математической модели перспективного генератора возвратно-поступательного движения / А. Б. Менжинский [и др.] // Проблемы создания и перспективы развития Единой (Объединенной) системы противовоздушной и противоракетной обороны ОДКБ: материалы Междунар. воен.-науч. конф., Тверь, 1–2 апр. 2015 г. / Воен. акад. воздуш.-косм. обороны Рос. Федерации. – Тверь, 2015. – С. 271–277.

*Сведения об авторах:

Менжинский Андрей Борисович.

Малашин Андрей Николаевич.

Каледа Андрей Евгеньевич.

УО «Военная академия Республики Беларусь»;

Сидяко Олег Викторович.

ГВПК РБ «ВОЛАТАВТО».

Статья поступила в редакцию 06.09.2016 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, обоснованием 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:

УДК (выравнивание по левой стороне);

название (шрифт полужирный, буквы прописные, выравнивание по центру);

инициалы, фамилия, ученая степень и ученое звание автора (-ов) (выравнивание по центру);

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 (УДК, название, авторы, аннотация, основной текст, список литературы) по вертикали – 6 pt.

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.