

ISSN 2224-1159

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ «ВОЕННАЯ АКАДЕМИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ»

ВЕСТНИК ВОЕННОЙ АКАДЕМИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

№ 1 (54) 22 марта 2017 г.



ВОЕННЫЙ НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ВЕСТНИК ВОЕННОЙ АКАДЕМИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

№ 1 (54) 22 марта 2017 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 17.03.17 г.

Формат 60×84/8. Бумага писчая.

Гарнитура «Таймс». Печать ризография. Усл. печ. л. 13,25.

Тираж 100 экз. Зак. 140.

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

Бугай А.Н., Казаков Б.В. Некоторые вопросы противодействия незаконному обороту опасных материалов и веществ при обеспечении пограничной безопасности Союзного государства.....	3
Головатюк В. И., Кобрусев А. А., Комарчук Д. Е. Влияние факторов социально-политической и экономической обстановки на поставки людских мобилизационных ресурсов в угрожаемый период.....	11
Калинин В. М., Пылинский М. В. Методика оценки эффективности системы связи общевойскового соединения по обобщенному показателю доступности.....	16
Касинский В. А. Влияние характера современных и будущих войн на подходы к повышению эффективности управления.....	25
Пылинский М. В., Калинин В. М. Новый методический подход к оценке эффективности системы связи тактического звена управления.....	35

Системный анализ и информационные технологии в военном деле

Волощик В. В., Чайковский Л. Л. Способ расчета координат источников радиоизлучения и оценка требуемой точности измерения угла места в наземном угломерно-разностно-дальномерном комплексе местоопределения.....	41
Калитин С. Б., Шарамет А. В. Алгоритм оценки координат и составляющих скорости в специализированном спутниковом навигационном приемнике.....	48
Косачев И. М., Кулешов Ю. Е. Методология высокоточной оптимальной фильтрации случайных процессов, наблюдаемых в стохастических динамических системах со случайно изменяющейся структурой (часть 3).....	56
Рулько Е. В., Булойчик В. М., Герцев А. В. Организация процесса управления модельными объектами в системе имитационного моделирования военных действий...	66

Общетеоретические вопросы разработки и совершенствования вооружения и военной техники

Дмитренко А. А., Седышев С. Ю. Синтез устройства межпозиционного отождествления сигналов в базово-корреляционных комплексах пассивной локации....	76
Черкас Н. Л., Мишанчук Е. В., Павлович В. С. Люминесцентные трансформаторы излучения и описание спектров флуоресценции красителей арктангенс-нормальным распределением.....	84

Разработка, модернизация и эксплуатация вооружения и военной техники

Гатальский А. М., Лапука О. Г. Особенности подавления радиовзрывателей с частотной модуляцией зондирующего сигнала, построенных по принципу следящего измерителя высоты.....	90
Менжинский А. Б., Малашин А. Н., Каледа А. Е., Колчин Е. В. Применение короткоходовой схемы возвратно-поступательного электрического генератора для повышения механического КПД и эффективной мощности энергоустановок на базе свободнопоршневых двигателей.....	101

Проблемы военной педагогики, воинского обучения и воспитания

Верлуп С. В. Актуальные закономерности идеологической работы в Вооруженных Силах Республики Беларусь: обобщение и обоснование.....	109
--	-----

ОСНОВЫ ВОЕННОЙ НАУКИ И ВОЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

УДК 355/359

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ НЕЗАКОННОМУ ОБОРОТУ ОПАСНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ВЕЩЕСТВ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ ПОГРАНИЧНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА

А. Н. Бугай, кандидат военных наук; Б. В. Казаков*

В статье рассмотрены вопросы обеспечения пограничной безопасности Союзного государства в сфере противодействия незаконному трансграничному перемещению опасных материалов и веществ в рамках реализации пограничной политики.

The article deals with the questions of border security insurance methodology in the sphere of combating cross-border transportation of dangerous materials and substances within the framework of border policy realizations.

Развитие отношений между Российской Федерацией и Республикой Беларусь показывает, что Союзное государство заинтересовано в сотрудничестве со многими странами по таким вопросам международной безопасности, как противодействие распространению оружия массового поражения, урегулирование и предотвращение региональных конфликтов, противодействие международному терроризму и наркобизнесу, решение острых экологических и других проблем глобального характера, включая ядерную и радиационную безопасность. Однако, несмотря на наличие международных договоров и конвенций в сфере нераспространения опасных материалов и веществ, существование множества международных организаций, контролирующих их соблюдение, конкретного практического воплощения общих и универсальных подходов к безопасному существованию на планете пока нет.

В настоящее время важнейшими положениями актуальности в вопросах противодействия незаконному трансграничному перемещению опасных материалов и веществ являются:

изменение требований к защите и охране внешней границы Союзного государства в новых условиях Таможенного союза и единого экономического пространства;

вступление сопредельных государств (Польша, Литва, Латвия) в Шенгенскую зону, что значительно упростило либо упразднило систему контроля на их внутренних границах;

введение пунктов упрощенного пропуска (отсутствие в них таможенного контроля);

недостаточный уровень оснащения пунктов пропуска стационарными системами радиационного контроля (менее 20 %) и переносными средствами контроля иных опасных материалов;

большая протяженность участков границы, не оборудованных техническими средствами охраны (к примеру, 500-километровый участок проходит через зону радиоактивного загрязнения, которая до сих пор находится под воздействием ионизирующего излучения);

нахождение вблизи границы Союзного государства Игналинской (Литва), Чернобыльской и Ровенской АЭС (Украина);

принятие решения правительством Украины и Литвы о строительстве вблизи границы Союзного государства трех предприятий по захоронению твердых и жидких радиоактивных отходов [4].

Известны факты хищения ядерных материалов на вышеуказанных станциях, которые были обнаружены при попытке их сбыта. Так, в 1993 г. чистые топливные элементы длиной 7 м, весом около 270 кг, содержащие 112 кг 2 %-го обогатенного урана, были украдены с Игналинской атомной электростанции. Большая часть этого урана была обнаружена

в различных местах с 1994 по 2002 г. В 2007 г. на территории Литвы пресечена очередная попытка сбыта урана.

В 1997 г. на территории Республики Беларусь при попытке продажи изъяты элементы двух прутков, которые были отрезаны от нового топливного элемента и украдены с Чернобыльской атомной электростанции.

По данным МАГАТЭ, воровство и контрабанда радиоактивных источников – глобальное явление. Ежегодно отмечают как минимум 243 случая хищения и контрабанды радиоактивных источников.

С учетом данных обстоятельств нельзя исключать вероятность незаконного оборота ядерных и радиоактивных материалов и попыток их перемещения через Государственную границу Республики Беларусь. Следует четко понимать, что отсутствие необходимых видов контроля способствует созданию условий для незаконного перемещения опасных материалов и веществ.

Непосредственной угрозой национальной безопасности нашей страны в пограничном пространстве является противоправная деятельность преступных группировок, предпринимающих попытки превращения отдельных участков белорусской границы, преимущественно на украинском и прибалтийском направлениях, в устойчивые каналы наркотрафика, нелегальной миграции и контрабанды. Активизируются попытки некоторых зарубежных спецслужб и экстремистских организаций использовать территорию сопредельных с Российской Федерацией и Республикой Беларусь государств для проведения деятельности, наносящей ущерб экономическим интересам и национальной безопасности этих стран (завоз особо опасных материалов и веществ).

Так, в результате анализа количества правонарушений на границе по некоторым разделам учета за последние 5 лет в среднем за год задерживается более 700 нарушителей, изымается 40 кг наркотических средств и их прекурсоров, 7 кг взрывчатых веществ, 80 ед. оружия и около 3000 боеприпасов, уничтожается более 10 000 кг зеленой массы наркосодержащих растений.

В ходе осуществления радиационного контроля органами пограничной службы неоднократно выявлялись факты нарушения порядка перемещения через границу материалов с превышением допустимых санитарных норм. Благодаря использованию мобильных лабораторий оперативного реагирования и проведению более 1500 проверочных мероприятий по фактам срабатывания технических средств радиационного контроля при перемещении через границу грузов с повышенным радиационным фоном установлено, что более 50 из них представляли опасность и были возвращены в страны-отправители (Германия, Литва, Латвия, Италия, Польша и др.).

Для обеспечения безопасности Союзного государства на белорусском участке границы следует принимать все меры и по обеспечению международной безопасности через взаимодействие соответствующих структур.

Изучение проблем, связанных с незаконным трансграничным оборотом опасных материалов, приобретает сегодня особую актуальность и значимость как для теории, так и для практики обеспечения пограничной безопасности Союзного государства.

Перед пограничными ведомствами Союзного государства возникает целый ряд вопросов по обеспечению эффективного противодействия угрозам в сфере незаконного трансграничного перемещения опасных материалов и веществ. На сегодняшний день не определена роль пограничных ведомств Союзного государства при проведении мероприятий по противодействию незаконному трансграничному обороту опасных материалов на его внешних границах в условиях единого экономического пространства. Нередко возникают вопросы: как оценить их эффективность, нужны ли они в современных условиях или же противодействие данным угрозам является делом каждого государства в отдельности? Решение этих и других вопросов актуально не только для пограничных ведомств, но и для других государственных органов, защищающих интересы государств на их внешних границах и приграничных территориях [5].

Для эффективного исследования вопросов противодействия незаконному трансграничному обороту опасных материалов и веществ необходимо: изучить функционирование уже имеющейся системы противодействия; исследовать ее теоретические положения; обобщить накопленный опыт; проанализировать задачи противодействия незаконному трансграничному обороту опасных материалов и веществ; классифицировать и выявить характер угроз, связанных с незаконным оборотом опасных материалов; разработать методики работы органов пограничной службы по организации контроля опасных материалов на границе и порядку реагирования на факты их обнаружения (задержания); выявить особенности координации и взаимодействия разнородных сил и средств; разработать концепцию развития и совершенствования перспективной системы противодействия незаконному трансграничному обороту опасных материалов и веществ.

Как показывает теория и практика обеспечения пограничной безопасности Союзного государства в сфере противодействия незаконному трансграничному обороту опасных материалов основными элементами данного процесса могут являться:

1) определение интересов Союзного государства в сфере противодействия незаконному трансграничному обороту опасных материалов по направлениям (Северо-Западное, Западное, Южное и Северокавказское, Юго-Восточное, Дальневосточное, Арктическое);

2) формулирование угроз жизненно важным интересам личности, обществу и государству в сфере незаконного трансграничного оборота опасных материалов;

3) разработка основных методик, входящих в содержание методологии оценки пограничной безопасности страны в сфере противодействия незаконному трансграничному обороту опасных материалов на внешней границе Союзного государства;

4) определение требований к интегрированной системе противодействия незаконному трансграничному обороту опасных материалов Союзного государства (общие и специфические);

5) принятие решения и постановка задач по противодействию незаконному трансграничному обороту опасных материалов, решаемых пограничными органами и взаимодействующими структурами в пограничном пространстве Союзного государства [6].

Проблемы обеспечения пограничной безопасности Республики Беларусь и пути их решения представлены в Концепции обеспечения пограничной безопасности Республики Беларусь на 2008–2017 гг. В соответствии с Концепцией эффективное проведение государственной пограничной политики и обеспечение пограничной безопасности предусматривает совершенствование оперативно-служебной и иной деятельности органов пограничной службы. Реализация этих мероприятий осуществляется по трем направлениям: создание интегрированной системы охраны Государственной границы (ИСОГГ); создание системы управления; создание системы всестороннего обеспечения.

В настоящее время руководством Госпогранкомитета Республики Беларусь особое внимание уделяется вопросам, связанным с созданием ИСОГГ. Так, для определения порядка и способов ее разработки, внедрения, эксплуатации и дальнейшего развития в условиях оперативно-служебной деятельности органов пограничной службы, а также создания нормативной правовой базы, регламентирующей и определяющей состав и задачи ИСОГГ, проведена научно-исследовательская работа «Разработка концепции создания интегрированной системы охраны Государственной границы» [5], по итогам которой были сформулированы теоретические и практические рекомендации по внедрению ИСОГГ с обоснованием ее структурных элементов, что стало предметом рассмотрения системы обеспечения радиационной безопасности и противодействия незаконному трансграничному обороту опасных материалов и веществ как одной из основных подсистем ИСОГГ.

Поскольку в современных условиях одной из основных функций органов пограничной службы является противодействие незаконному трансграничному обороту опасных материалов и локализация связанных с этим угроз, рассматривается решение двух задач. Первая задача направлена на классификацию и систематизацию способов

противодействия, вторая – на определение характера угроз, связанных с незаконным трансграничным оборотом опасных материалов и веществ [3].

Исходными данными для решения этих задач были определены возможные условия функционирования системы противодействия незаконному трансграничному обороту опасных материалов на современном этапе ее развития. В ходе проведенных ранее теоретических исследований было установлено, что объектами оперативно-служебной деятельности органов пограничной службы в пограничном пространстве являются [3]:

белорусский участок границы Союзного государства на всем ее протяжении;
пограничная зона, расположенная на территории субъектов Республики Беларусь, непосредственно граничащих с сопредельными государствами;
пункты пропуска через Государственную границу Республики Беларусь;
воздушное пространство над территорией Республики Беларусь.

Для определения способов противодействия незаконному трансграничному обороту опасных материалов органами пограничной службы было проведено исследование современных систем охраны границы сопредельных государств и некоторых стран мира. Анализ деятельности органов пограничной охраны государств, граничащих с Республикой Беларусь, свидетельствует о неоднородности сил и средств, привлекаемых для охраны границы. В этих странах пограничные органы в большинстве случаев подчинены Министерству внутренних дел, а основным способом охраны границы является оперативно-войсковой.

Следует отметить, что все большее количество стран мира оснащает свои границы техническими средствами охраны и контроля ядерных и радиоактивных материалов, взрывчатых веществ, наркотических средств и других опасных материалов и веществ с использованием инспекторских досмотровых комплексов. А такие страны, как США, Финляндия, КНДР, Китай и Индия, на отдельных направлениях практически создали рубежи основных инженерных сооружений, что позволяет сделать вывод о комплексном и системном подходе к вопросам противодействия незаконному трансграничному обороту опасных материалов и веществ [4].

Потенциальные угрозы пограничной безопасности Союзного государства в сфере незаконного трансграничного оборота опасных материалов и веществ можно условно классифицировать на три группы.

К первой группе следует отнести угрозы, связанные с незаконным трансграничным перемещением ядерных и радиоактивных материалов, списочных химикатов, радиационными и химическими авариями на опасных объектах и транспорте, которые в большей степени оказывают влияние на возникновение на территории Союзного государства либо вблизи его границ крупномасштабных чрезвычайных ситуаций; распространение на его территории оружия массового поражения, его компонентов и средств доставки, технологий и оборудования двойного назначения; радиоактивное, химическое и биологическое загрязнение почв, земель, вод, недр, растительности и атмосферы [6].

Угрозы данной группы способны не только обострить обстановку на Государственной границе и повлечь за собой значительный материальный ущерб, но и оказать негативное влияние на пограничную безопасность Союзного государства в целом.

Ко второй группе относятся угрозы, связанные с незаконным трансграничным оборотом взрывчатых веществ, наркотических средств, психотропных веществ и их прекурсоров.

Данная группа угроз – это правонарушения, способные дестабилизировать обстановку в пограничном пространстве и нанести ущерб экономической, социальной и демографической безопасности государства.

К третьей группе угроз относится незаконный трансграничный оборот опасных отходов и другие экологические правонарушения. При определенном развитии событий эта группа, так же как и предшествующие, представляет собой достаточную опасность.

Систематизация угроз позволит определить их конкретное значение, характеристики,

место и роль в системе противодействия незаконному трансграничному обороту опасных материалов и веществ, как одной из основных подсистем обеспечения пограничной безопасности Союзного государства.

Выбор метода противодействия незаконному трансграничному обороту опасных материалов и веществ может зависеть от многих факторов, детальный анализ которых покажет их влияние на характер обозначенных выше угроз. Следовательно, при определении составляющих каждого фактора и оценке его влияния на степень угрозы можно найти итоговые значения угрозы. Данные факторы целесообразно представить в виде трех групп.

В первую группу следует отнести:

концентрацию на территории Союзного государства и вблизи его границ радиационно и химически опасных объектов, их размещение вблизи жилых зон и систем жизнеобеспечения;

радиоактивное загрязнение среды обитания вследствие аварии на Чернобыльской АЭС;

обеспеченность подразделений границы техническими средствами радиационного и химического контроля и оснащение ими пунктов пропуска через границу;

характерные случаи срабатывания технических средств радиационного и химического контроля либо подозрение на наличие ядерных и радиоактивных материалов, списочных химикатов и проведение проверочных мероприятий по данным фактам.

Вторая группа включает:

экономическую, социальную, демографическую составляющую всех приграничных районов;

обеспеченность подразделений границы техническими средствами контроля взрывчатых веществ, наркотических средств и их прекурсоров и оснащение ими пунктов пропуска через границу;

наличие служебных животных, подготовленных к поиску взрывчатых веществ и наркотических средств;

случаи задержания (обнаружения) взрывчатых веществ и наркотических средств.

Третья группа содержит:

правовые и экономические механизмы обеспечения экологической безопасности;

систему учета природных ресурсов;

систему мониторинга качества окружающей среды.

Получение соответствующих значений угроз в сфере незаконного трансграничного оборота опасных материалов и веществ и факторов, усиливающих уровень этих угроз, позволит разработать методику противодействия данным правонарушениям в пограничной структуре Союзного государства.

В рамках формирования системы обеспечения радиационной безопасности и противодействия незаконному трансграничному обороту опасных материалов (далее – Система) необходимо рассмотреть общие принципы ее формирования.

В целях работы на опережение и управление рисками Система должна позволять проводить оценку не только существующих угроз, но и потенциальных. Вовремя оцененная опасность и своевременно предпринятые меры отслеживания подозрительного транспортного средства, груза дают возможность предотвратить реальную угрозу нанесения ущерба опасными материалами здоровью людей, окружающей среде и возникновения чрезвычайных ситуаций как в пунктах пропуска, так и на «зеленой границе». В современных условиях стратегия превентивных ударов оправдала себя как наиболее эффективная [6].

Кроме того, Система должна позволять оценивать транспортные средства, товары, контейнеры, упаковки и т. п. на предмет содержания в них опасных материалов и веществ и давать оценку степени их опасности. Все это должно происходить автоматически, что, помимо экономии времени сотрудников, резко снизит влияние человеческого фактора. Сотрудник не сможет «не заметить» угрозу и не отреагировать», поскольку отчет

о состоянии груза и его оценка будут генерироваться системой и передаваться в центральную базу данных ведомства автоматически [5].

Приведенный пример автоматизации задач контроля является далеко не единственным. Эффективная система поиска и фильтрации в систематизированном наборе баз данных позволит автоматизировать любую практическую задачу контроля, требующую рутинного процесса обработки (например, сравнение веществ документа со списком веществ, рекомендованных к контролю. Также следует использовать эвристические методы анализа). Необходимо учитывать, что одно и то же вещество может иметь разное название, равно как и химические соединения имеют несколько возможных номенклатурных названий, другими словами, система контроля должна учитывать все возможные варианты названий веществ. Прототип такой информационно-поисковой системы (ИПС) «АИПСИН АнтиНаркотики», разработанный ООО «Белхард», прошел испытания на белорусской таможне. В настоящее время данной системой оснащаются мобильные лаборатории оперативного реагирования (МЛОР) пограничной службы Республики Беларусь. Примером использования ИПС «АИПСИН АнтиНаркотики» для решения таких задач является операция по выявлению и задержанию на белорусской границе так называемых «тайских комплексов» – сложных объектов, содержащих в своем составе как легальные фармацевтические формы, так и нелегальные их имитации.

Рассмотренная система работает в настоящее время только по наркотикам, однако есть возможность автоматизации и других задач.

Системе необходимо иметь несколько вариантов развертывания, среди которых должен быть сетевой и мобильный, что позволяет группам оперативного и оперативно-стратегического реагирования, оснащенным портативным компьютером, на выезде проверять информацию или запрашивать центральную базу данных. Система должна содержать базу данных по внешнему виду опасных материалов и веществ, что может быть использовано различными группами реагирования либо отдельными сотрудниками для первичной визуальной проверки того или иного обнаруженного подозрительного объекта на предмет принадлежности к опасным материалам и веществам.

Наиважнейшей особенностью Системы должна стать возможность построения на ее основе работы ведомственных центров и региональных пунктов реагирования, а также межведомственного аналитического центра Союзного государства или активизации работы уже существующих. На сегодняшний день разрабатываются только отдельные операции, в рамках которых задействуются силы различных ведомств, для уничтожения крупных каналов поставки и сбыта опасных материалов и веществ. Предполагаемая система, без сомнения, послужит мощным инструментом в противодействии незаконному трансграничному обороту опасных материалов и веществ, однако максимального эффекта в случае ее использования можно добиться только при наличии мощных оперативных и справочных информационных ресурсов.

Система предполагает возможность организации таких ресурсов, а также создания региональных и ведомственных центров реагирования, действующих на постоянной основе и отслеживающих в реальном режиме времени поступающую с различных участков границы информацию о задержаниях (обнаружениях), изъятиях.

На основе анализа изъятых подозрительных материалов и веществ Система сможет выявлять реальные и строить гипотетические каналы их транспортировки и сбыта. Поскольку анализ подконтрольного вещества позволяет определить регион его производства и/или принадлежность к конкретной партии, то аналитическая служба, централизованно получающая информацию о задержанных (обнаруженных) опасных материалах и веществах на различных участках границы, может с высокой степенью достоверности определить географический маршрут их транзита. Это касается не только известных традиционных маршрутов, но и тех, о существовании которых можно только догадываться. Аналитический центр совместно с оперативно-дежурной службой пограничных ведомств может эффективнее выявлять каналы незаконного перемещения опасных материалов и веществ [2].

С этой целью в любой стране могут создаваться специальные органы, обеспечивающие решение указанных вопросов на стратегическом уровне.

На стратегическом уровне управления системой обеспечения пограничной безопасности на основе геополитических интересов Союзного государства решаются вопросы стратегического планирования по обеспечению пограничной безопасности и устойчивого развития международно-договорной, законодательной и иной деятельности в этой сфере. Решение подобных проблем находится в ведении президентов Республики Беларусь и Российской Федерации, а также правительств.

Следующим уровнем в системе обеспечения пограничной безопасности следует считать оперативный. Его основными задачами должны являться: формирование предложений по региональным аспектам государственной пограничной политики для стратегического уровня управления, проведение в жизнь его решений, управление процессами правоохранительной и правоприменительной, военно-технической и другой деятельности соответствующими органами, организация всестороннего обеспечения подразделений, непосредственно обеспечивающих пограничную безопасность. Решение таких вопросов возлагается на органы пограничной службы и военные ведомства Союзного государства.

Непосредственное противодействие угрозам в пограничной сфере должны обеспечивать органы пограничной службы и их подразделения. В связи с этим решение всех вопросов, связанных с оперативно-служебной деятельностью, будет относиться к тактическому уровню управления [1]. В настоящее время в органах пограничной службы Республики Беларусь функционирует автоматизированная система управления оперативно-служебной деятельностью (АСУ ОСД), в которую интегрируются и технические средства радиационного контроля.

Таким образом, для создания соответствующей инфраструктуры, которая сможет обеспечить эффективную работу данной трехуровневой Системы в целом, необходимо:

- сформировать нормативную правовую базу и четко распределить зоны ответственности заинтересованных органов государственного управления;
- разработать эффективный план реагирования;
- организовать тесное взаимодействие и обмен информацией с заинтересованными органами государственного управления;
- создать базы данных по опасным материалам и веществам;
- разработать соответствующее программное обеспечение;
- организовать обучение персонала всех уровней и компетенций;
- обеспечить специфицированным и тестированным оборудованием с сопровождением обучения персонала;
- обеспечить грамотную эксплуатацию и техническое обслуживание оборудования [2].

Направлением совершенствования и развития Системы должно стать проведение НИР, ОКР, НИОКР по разработке и созданию технических средств интегрированного мониторинга безопасности, например: разработка приборов (экспресс-анализаторов) комплексного обнаружения веществ (металлов, опасных химикатов, взрывчатых веществ, радиоактивных материалов, наркотических средств).

В то же время в целях обеспечения эффективной работы первой (оперативной) линии контроля необходимо планировать и осуществлять подготовку (обучение) специалистов подразделений границы методом проведения сборов (семинаров, тренировок и т. п.), разрабатывать алгоритмы, методические рекомендации, инструкции по порядку реагирования на факты, связанные с обнаружением и изъятием опасных материалов и веществ.

Мировой опыт решения проблем, связанных с угрозами неконтролируемого распространения ядерных и радиоактивных материалов, списочных химикатов, взрывчатых веществ, наркотических средств, показал, что необходимо сосредоточение совместных усилий в рамках трансграничного сотрудничества по созданию и совершенствованию надежного механизма предотвращения их незаконного трансграничного оборота [1].

Государственный пограничный комитет Республики Беларусь является разработчиком Концепции межгосударственной комплексной целевой программы «Укрепление и обустройство внешних границ государств – членов ЕврАзЭС», которая предполагает реализацию комплекса мер по укреплению и обустройству внешних границ Сообщества, обеспечивающего эффективную защиту от возможных угроз, и осуществление всех видов контроля.

Разработка же концепции совершенствования и развития в пограничной структуре Союзного государства интегрированной системы противодействия незаконному трансграничному обороту опасных материалов и веществ, учитывающей как имеющийся опыт, так и современные реалии, позволит реализовать Концепции обеспечения пограничной безопасности Республики Беларусь и Российской Федерации, которые являются неотъемлемой частью обеспечения национальной безопасности обеих стран.

Список литературы

1. О Государственной границе: Закон Респ. Беларусь от 10 янв. 2015 г. № 242-З. – Минск.
2. Клименко, А. Ф. Методика оценки военных угроз и меры по их нейтрализации / А. Ф. Клименко // Воен. мысль. – 1993. – № 5. – С. 26 – 34.
3. Концепция национальной безопасности Республики Беларусь: Указ Президента Респ. Беларусь от 9 нояб. 2010 г. № 575. – Минск: НЦПИ, 2010. – 34 с.
4. Разработка методологических основ обеспечения пограничной безопасности Союзного государства: отчет о НИР «Штамп» / ПНИЦ ФСБ РФ, ГПК РБ. – М.; Минск, 2011. – 193 с.
5. Разработка концепции создания интегрированной системы охраны Государственной границы: отчет о НИР «Базис» / ГПК РБ. – Минск, 2011. – 278 с.
6. Разработка основ пограничной политики Союзного государства: отчет о НИР «Чело» / ПНИЦ ФСБ РФ, ГПК РБ. – М.; Минск, 2010. – 635 с.

*Сведения об авторах:

Бугай Андрей Николаевич,

УО «Институт пограничной службы Республики

Беларусь»;

Казаков Борис Васильевич,

УО «Институт переподготовки и повышения квалификации»

Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь.

Статья поступила в редакцию 30.06.2016 г.

ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ СОЦИАЛЬНО-ПОЛИТИЧЕСКОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ НА ПОСТАВКИ ЛЮДСКИХ МОБИЛИЗАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ В УГРОЖАЕМЫЙ ПЕРИОД

В. И. Головатюк, А. А. Кобрусев, Д. Е. Комарчук*

В статье рассматривается подход к оценке выполнения планов поставки людских мобилизационных ресурсов в соединения и воинские части с учетом влияния дестабилизации социально-политической и экономической обстановки в государстве.

In article the approach to an estimation of performance of plans of delivery of human mobilization resources in connections and military units taking into account influence of destabilization of sociopolitical and economic conditions in the state is considered.

События последних десятилетий подтверждают тенденцию к изменению приоритетов в выборе средств достижения военных и политических целей. Широкомасштабные военные действия все чаще заменяются мерами политического и экономического воздействия (политическое давление, экономические санкции, изоляция на международной арене и т. д.), специальными операциями, призванными дестабилизировать обстановку в государстве и спровоцировать внутренний вооруженный конфликт (например, на Донбассе в Украине, Сирии и т. д.) [1].

Содержание материалов открытой печати, в которых отражены сведения о ходе призывной кампании, проводимой на фоне внутреннего вооруженного конфликта в Украине (2015), а также состав беженцев из Сирии (по данным управления Верховного комиссара ООН по делам беженцев, на июнь 2016 г. имеются сведения о 4,8 млн официально зарегистрированных сирийцев, прибывших в различные страны) свидетельствует, что значительную часть мигрантов из стран с внутренними вооруженными конфликтами составляют мужчины призывного возраста (до 25 %), а число уклонистов от призыва в районах с дестабилизированной обстановкой может варьироваться в широких пределах (до 90 %). Количество лиц, уклоняющихся от исполнения конституционного долга и участия в жизни государства, в значительной степени зависит от воздействия негативных изменений внешне- и внутривнутриполитической обстановки, информационной пропаганды, что в целом скажется на количественно-качественном составе людских мобилизационных ресурсов, призываемых из запаса.

Первый опыт по прогнозированию выполнения планов поставок людских мобилизационных ресурсов в соединения и воинские части с учетом влияния факторов, обусловленных дестабилизацией обстановки, и подверженности различных категорий граждан негативным воздействиям получен в 1034 центре военных исследований и информатизации ВВС и войск ПВО. В рамках подготовки и проведения мероприятий оперативной подготовки командования ВВС и войск ПВО разработан и апробирован на практике один из возможных подходов к решению данной задачи [3].

Исследуемый вопрос характеризуется высокой степенью неопределенности в установлении причинно-следственных связей, многофакторностью и сложностью формализации исходных условий.

Для определения возможного развития событий избран экспертный метод анализа иерархий (метод Саати). Достоинство данного метода заключается в том, что в условиях высокой неопределенности он позволяет получить научно обоснованное, вероятностное и верифицируемое значение показателей объекта либо альтернативных вариантов их развития. При разработке прогноза используются специальные объективные интуитивные знания, а также практический опыт экспертов. Эксперты имеют объективные сведения об особенностях и свойствах изучаемого объекта, высказывают суждения исходя из специальных знаний и практического опыта в областях поставки мобилизационных

ресурсов, психологии, развития государства и общества, несут ответственность за свое экспертное заключение.

Прогноз выполнения планов поставок людских мобилизационных ресурсов в соединения и воинские части с учетом влияния факторов, обусловленных дестабилизацией обстановки, и подверженности различных категорий граждан негативным воздействиям предлагается осуществлять в порядке, представленном на рисунке.

Формализация исходных данных для проведения прогноза

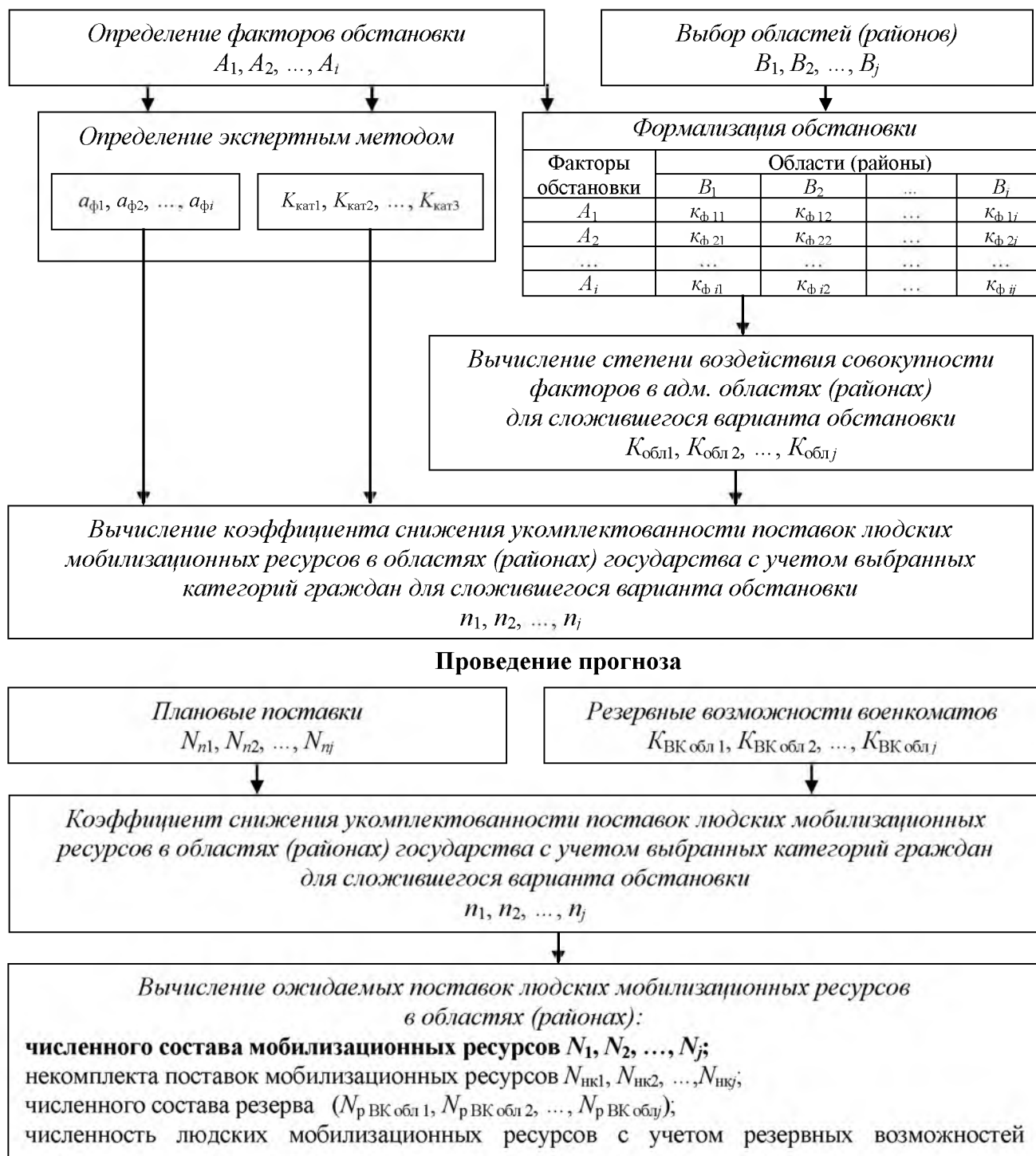


Рисунок. – Порядок проведения прогноза выполнения планов поставок людских мобилизационных ресурсов в соединения и воинские части с учетом влияния факторов, обусловленных дестабилизацией обстановки, и подверженности различных категорий граждан негативным воздействиям

В результате проведенных исследований к факторам, в наибольшей степени влияющим на мотивацию населения к от мобилизованию, могут быть отнесены [3]:

- наличие внешних политических и экономических санкций;
- снижение доходов населения, повышение уровня безработицы;
- информационно-психологическое воздействие на население с использованием средств массовой информации (провоцирование социального недовольства и протестных настроений);
- обострение внутривнутриполитической, социально-экономической и криминальной обстановки в государстве;
- проведение массовых антиправительственных митингов и выступлений в областных и крупных промышленных центрах страны;
- разжигание межнациональной и межконфессиональной розни, организация массовых беспорядков на межнациональной почве;
- проведение акций протеста, саботажа, забастовок на крупных промышленных предприятиях;
- организация и проведение диверсий на объектах промышленности.

Очевидно, что, помимо внешнего воздействия, значимое влияние на поставки людских мобилизационных ресурсов окажут личностные качества (уровень самосознания, образованности и другие характеристики) приписанных граждан.

Для оценки влияния факторов целесообразно определить совокупность общих признаков, характеристик и в соответствии с ними распределить приписанных граждан на категории. Предполагается, что чем шире набор характеристик, тем выше точность прогноза, но и сложнее условия работы экспертов. В проведенных исследованиях на основании имеющихся исходных данных использовались три категории военнообязанных: офицеры; прапорщики; солдаты, сержанты.

В дальнейшем в целях распределения факторов по степени их воздействия, определения степени подверженности категорий военнообязанных негативному воздействию, совокупности отобранных факторов проводился опрос (по методу Саати) должностных лиц командования ВВС и войск ПВО [3].

Для прогноза выполнения планов поставок мобилизационных ресурсов оценим:

в какой степени негативные факторы могут повлиять на прибытие граждан в военкоматы;

насколько различные категории граждан подвержены негативному влиянию.

Определим исходные данные:

1. Степень влияния i -го фактора обстановки на поставки мобилизационных ресурсов ($a_{\phi i}$).

2. Степень влияния i -го фактора обстановки на отдельные категории граждан ($K_{кат n}$) (для проведения расчетов использовались три категории граждан: $n=1$ – офицеры, $n=2$ – прапорщики, $n=3$ – солдаты, сержанты).

Показатели $a_{\phi i}$, $K_{кат n}$ определялись экспертным методом путем анализа результатов опроса группы экспертов.

3. Сведения о проявлении факторов согласно перечню в областях (районах) государства ($\kappa_{\phi ij}$).

4. Сведения о плановых поставках людских мобилизационных ресурсов в областях (районах) ($N_{пj}$).

5. Сведения о резервных возможностях военкоматов j -й области (района) государства по восполнению некомплекта поставки мобилизационных ресурсов за область (район) ($K_{ВК обл j}$) (в % от плановых поставок).

Произведем расчет показателей:

6. Степень воздействия совокупности i факторов в j -й области (районе) государства ($K_{обл j}$):

$$K_{обл j} = a_{\phi 1} \cdot \kappa_{\phi 1 j} + a_{\phi 2} \cdot \kappa_{\phi 2 j} + \dots + a_{\phi i} \cdot \kappa_{\phi i j},$$

где $a_{\Phi i}$ – степень влияния i -го фактора обстановки на поставки мобилизационных ресурсов;
 $\kappa_{\Phi ij}$ – сведения о проявлении i -го фактора согласно перечню в j -й области (районе) государства (равен 1, если проявление i -го фактора имеет место в j -й области (районе); 0, если проявление i -го фактора не имеет места в j -й области (районе)).

7. Коэффициент снижения укомплектованности поставок мобилизационных ресурсов в j -й области (районе) государства с учетом категории граждан (n_j):

$$n_j = 1 - K_{\text{обл}j} \cdot K_{\text{кат}n},$$

где $K_{\text{обл}j}$ – степень воздействия совокупности i факторов в j -й области (районе) государства;
 $K_{\text{кат}n}$ – степень влияния совокупности i факторов обстановки на отдельные категории граждан ($n = 1$ – офицеры, $n = 2$ – прапорщики, $n = 3$ – солдаты, сержанты).

Определим итоговые расчетные показатели:

8. Ожидаемый численный состав мобилизационных ресурсов в j -й области (районе) государства (N_j):

$$N_j = N_{\text{пл}j} \cdot n_j,$$

где $N_{\text{пл}j}$ – сведения о плановых поставках мобилизационных ресурсов в области (районе);
 n_j – коэффициент снижения поставок мобилизационных ресурсов в j -й области (районе) государства с учетом категории граждан.

9. Ожидаемый комплект поставок мобилизационных ресурсов в j -й области (районе) ($N_{\text{нк}j}$):

$$N_{\text{нк}j} = N_{\text{пл}j} \cdot N_j,$$

где $N_{\text{пл}j}$ – сведения о плановых поставках мобилизационных ресурсов в области (районе);
 N_j – ожидаемая численность мобилизационных ресурсов в j -й области (районе).

10. Ожидаемый численный состав резерва в j -й области (районе) ($N_{\text{р ВК обл}j}$):

$$N_{\text{р ВК обл}j} = N_{\text{пл}j} \cdot K_{\text{ВК обл}j},$$

где $N_{\text{пл}j}$ – сведения о плановых поставках мобилизационных ресурсов в j -й области (районе) государства;

$K_{\text{ВК обл}j}$ – резервные возможности военкоматов j -й области (района) государства по восполнению некомплекта поставок мобилизационных ресурсов за область (в % от плановых поставок).

11. Ожидаемая численность мобилизационных ресурсов в j -й области (районе) государства с учетом резервных возможностей военкоматов области ($N_{\text{р}j}$):

$$N_{\text{р}j} = N_j + N_{\text{р ВК обл}j},$$

где N_j – ожидаемая численность мобилизационных ресурсов в области (районе);

$N_{\text{р ВК обл}j}$ – ожидаемый численный состав резерва в j -й области (районе).

Предложенная методика расчета и разработанный математический аппарат позволяют [3]:

установить зависимость полноты выполнения планов поставок мобилизационных ресурсов от состояния социально-экономической и военно-политической обстановки в государстве;

произвести прогноз снижения укомплектованности мобилизационными ресурсами соединений и воинских частей в зависимости от складывающейся обстановки, сделать выводы о потребностях по восполнению некомплекта.

Таким образом, предлагаемый подход дает возможность оценить влияние складывающейся обстановки на полноту выполнения планов поставок мобилизационных ресурсов и определить вероятный процент ожидаемого некомплекта по категориям военнообязанных [3].

Сегодня с учетом результатов практического применения расчетов в ходе мероприятий оперативной и мобилизационной подготовки представляются целесообразными следующие направления совершенствования данной методики:

детальная проработка (с привлечением специалистов в области психологии, социологии) перечня факторов, оказывающих влияние на поставки мобилизационных ресурсов;

расширение исходных данных (до конкретных ВУС);

разработка расширенного перечня признаков, характеризующих военнообязанных как личность (с использованием сведений, получаемых в ходе изучения приписного состава), в целях более точного прогноза поведения граждан в различных условиях;

совершенствование математического аппарата обработки полученных массивов статистических данных для повышения точности и достоверности прогноза.

Список литературы

1. Латушко, С. М. Невооруженная агрессия как вид межгосударственного противоборства / С. М. Латушко // Наука и воен. безопасность. – 2014. – № 2. – С. 15–18.

2. Андрух, И. Н. Оценка состояния системы подготовки и накопления мобилизационных людских ресурсов в РВСН / И. Н. Андрух, А. Г. Кожемякин, С. В. Кондратьев // Воен. мысль. – 2009. – № 1. – С. 28–35.

3. Прогнозирование влияния факторов социально-политической и экономической обстановки на изменение количественных и качественных показателей поставки мобилизационных ресурсов в угрожаемый период экспертным методом: отчет по результатам исследований / 1034 ЦВИиИ. – Минск, 2016. – 33 с.

* Сведения об авторах:

Головатюк Владимир Иванович,
командование ВВС и войск ПВО;

Кобрусев Александр Александрович,

1034 центр военных исследований и информатизации командования ВВС и войск ПВО;

Комарчук Дмитрий Евгеньевич,

1034 центр военных исследований и информатизации командования ВВС и войск ПВО.

Статья поступила в редакцию 14.12.2016 г.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ СВЯЗИ ОБЩЕВОЙСКОВОГО СОЕДИНЕНИЯ ПО ОБОБЩЕННОМУ ПОКАЗАТЕЛЮ ДОСТУПНОСТИ

В. М. Калинин, кандидат технических наук, доцент;
М. В. Пылинский, кандидат военных наук*

В настоящей статье предлагается научно обоснованная методика определения эффективности системы связи, которая позволяет аргументированно моделировать ее структуру. Научная новизна предлагаемого подхода заключается в применении обобщенного показателя, который позволяет полнее и разносторонне оценить систему связи с учетом влияющих на нее разнородных факторов, комплексном учете пропускной способности, устойчивости и доступности – пространственной и информационно-канальной.

In this article we propose a scientifically sound method of determining the efficiency of a communication system that allows you to reasonably simulate its structure. The scientific novelty of the proposed approach is to use the generalized indicator, which allows fuller and versatile to assess the system with regard to the underlying heterogeneous factors, integrated accounting for throughput, stability and availability of spatial information and channel.

Наиболее характерными особенностями построения систем связи военного назначения являются высокая степень неопределенности и недостаток исходных данных. В таких условиях важен правильный выбор аппарата оценки принимаемых решений, который позволит должностным лицам органов управления связью приобрести уверенность в своих действиях и достигаемых результатах.

Принятие решения на построение системы связи любого уровня, как правило, включает определение цели ее функционирования, выбор показателей и обоснование критериев оценки, синтез альтернативных структур и поиск рационального варианта.

Практика войск убедительно показала, что в теории и практике организации связи назрела необходимость в совершенствовании методических подходов и математического аппарата, которые будут соответствовать современным условиям функционирования систем управления и обеспечивать более адекватную оценку эффективности создаваемых систем связи. При этом одно из главных направлений их совершенствования и развития – использование нового подхода в определении показателей и критериев оценки эффективности, соответствующих современным условиям и факторам боевых действий, а также требованиям, предъявляемым к системе связи со стороны системы управления.

В соответствии с таким подходом эффективность системы связи – один из показателей ее роли и целевого предназначения. Несмотря на то, что система связи не оказывает непосредственного влияния на выполнение поставленных задач и нанесение противнику максимального ущерба, ее роль в достижении цели боя огромна. Для определения этой роли введено понятие оперативно-тактической эффективности системы связи, под которой понимается степень реализации ее возможностей по передаче и приему информации в конкретных условиях обстановки [1, 5].

Расчет показателей эффективности напрямую связан с определением результатов оцениваемого решения. При этом имеют место два варианта: первый связан с экспериментальной проверкой рекомендаций, и потому определение результата сводится к измерениям; второй возникает при априорной оценке эффективности, когда результата пока еще нет, но его надлежит предсказать, вследствие чего результаты решения определяются методами прогнозирования [5, 6]. Для теории наиболее важен первый случай, а для практики – второй, поскольку оценка эффективности должна предшествовать принятию решения и определять его ценность. Прогнозирование исчерпывает свои цели предсказанием результата, но данные прогнозирования используются гораздо шире, чем итоги оценки эффективности. Более того, результаты прогнозирования служат оправданными

данными для оценки эффективности. Так как оценка эффективности предназначена для отыскания наилучшего решения и имеет смысл лишь при наличии альтернатив, именно она является основой для воздействия на результат в нужном направлении и максимального «приспособления» его к достижению цели.

Применительно к системе связи тактического уровня, эффективность системы связи общевойскового соединения должна оцениваться на основе характеристик ее свойств. Поскольку система связи обладает множеством свойств, перечень свойств, по которым целесообразно проводить оценку качества системы связи, следует ограничивать. На практике это означает, что оценка качества должна проводиться на базе не всех, а только наиболее существенных свойств, отражающих основные аспекты системы связи и ее отдельных элементов. Такой подход дает возможность акцентировать внимание на главных свойствах системы связи, которые позволяют ей решать свою основную задачу в прогнозируемых условиях функционирования наилучшим образом. Поэтому комплексная всесторонняя и объективная оценка эффективности системы связи может быть осуществлена с помощью системы показателей и критериев, включающей главный и дополнительные показатели по основному и частным свойствам соответственно [1, 5, 12].

В качестве основного свойства, с учетом его особой значимости для ТЗУ [10–12], предлагается принять доступность системы связи и получить его зависимость от других частных свойств. Поскольку доступность характеризует способность системы военной связи обеспечивать получение органами управления (оперативным составом) необходимых им ресурсов связи (ее видов, сервисов, услуг), очевидно, что показатель доступности, с одной стороны, должен отражать пространственный аспект, с другой – учитывать конечную объективную устойчивость элементов системы связи в условиях комплексного воздействия противника. При этом под пространственным аспектом подразумевается такое объективное (пространственное и топологическое) положение пользователей системы управления относительно элементов системы связи, когда они всегда в состоянии воспользоваться созданным ею каналным ресурсом, имея в своем распоряжении штатные и приданные средства связи [13, 14].

Указанные особенности формирования обобщенного показателя доступности, так как они имеют принципиальное значение именно для системы связи ТЗУ, должны найти свое отражение в соответствующей усовершенствованной методике оценки эффективности системы связи соединения. Вместе с тем следует понимать, что доступность системы связи зависит прежде всего от структуры и размещения ее элементов в полосе обороны, местонахождения пользователей, протяженности линий доступа, физико-географических условий местности, наличия сил и средств связи [11]. Именно поэтому в усовершенствованной методике для оценки доступности системы связи использована вероятность доступа пользователя к ресурсу системы связи с первой попытки, вычисляемая по функционалу [10, 11]:

$$P^D = f(D, P_i^D). \quad (1)$$

Данный показатель зависит как от количества элементов системы связи, которые потенциально способны предоставить пользователям каналный ресурс и могут быть использованы ими из районов своей дислокации с помощью имеющихся средств связи (т. е. от численного значения компонент вектора доступности D), так и от их объективной устойчивости P_i^D . При этом кратность доступа i (возможность предоставления пользователю одновременно одного, двух и более независимых маршрутов передачи информации) позволяет говорить о более высокой вероятности получения доступа к каналному ресурсу с первой попытки.

Поскольку полоса боевых действий в ТЗУ требует сплошного покрытия в отношении связи, показатель пространственной доступности должен отражать принцип «площадной»

направленности системы связи. При таком подходе пространственную доступность наиболее целесообразно оценивать вектором $D = \{d_l\}$, компонентами которого являются некоторые скалярные значения d_l . Смысл скалярной величины $d_l = 0 \dots 1$ заключается в том, что с d_l -й части площади полосы обороны сеть радиодоступа, состоящая из L элементов, способна обеспечить любому пользователю потенциальную возможность получить требуемую часть канального ресурса системы связи по l независимым маршрутам:

$$D = \{d_1, d_2, d_3, \dots, d_l, \dots, d_L\}, l = 1, L, \quad (2)$$

где L – общее количество элементов системы связи, развернутых для обеспечения пользователей канальным ресурсом.

При этом

$$L = \sum_{k=1}^m n_k, \quad (3)$$

где m – количество эшелонов (уровней) в системе связи;

n_k – количество элементов в k -м эшелоне (уровне).

Здесь и далее под эшелонами будем понимать диапазон высот поднятия антенн станций радиодоступа (СРД) и ретрансляторов связи.

Для определения в (2) компонент вектора D необходимо найти отношение площади, с которой пользователь (абонент) способен получить доступ к элементам системы связи, ко всей площади полосы обороны соединения. Тогда

$$d_l = \frac{S_l}{S_{\text{общ}}}, \quad (4)$$

где S_l – площадь зоны радиодоступа от l элементов системы связи;

$S_{\text{общ}}$ – общая площадь полосы обороны соединения.

Поскольку пространственная доступность характеризуется значениями компонент $\{d_{l_{\min}}\}$ вектора доступности D , их взаимосвязь можно представить в виде коэффициента пространственной доступности $K_{\text{дост. пр}}$. Тогда

$$K_{\text{дост. пр}} = \frac{S_l}{S_{\text{общ}}} \text{ при } l = l_{\min}. \quad (5)$$

По характеру своего построения сеть радиодоступа является зоной. Зоны покрытия представляют собой часть территории (полосы обороны соединения), примыкающей к одному из элементов сети радиодоступа, а также зоны их пересечения. Размеры этих зон зависят от тактико-технических характеристик радиосредств, высот поднятия их антенн, рабочей частоты, помеховой обстановки и других факторов, влияющих на качество обеспечиваемой радиосвязи [10].

Выходным продуктом предлагаемой последовательности расчета показателя доступности системы связи соединения является матрица $A(i)$ вида $M \times N$ (где M и N – это количество d_l -х частей площади по фронту и в глубину полосы обороны соответственно), элементы которой $a_{mn}(i)$ представляют собой единичную площадь в принятом по электронной карте масштабе. В результате расчетов для i -го элемента системы связи элементы матрицы принимают значения $a_{mn}(i) = 1$ в случае возможного доступа пользователя с a_{mn} -го участка площади к i -му элементу системы либо $a_{mn}(i) = 0$ в обратном случае [10].

Использование цифровой информации о местности при расчетах доступности ресурса системы связи позволяет более точно, чем ранее, определять реальную площадь зоны покрытия каждого элемента полевой системы связи S_i в соответствии с выражением

$$S_i = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N a_{mn}(i), \quad (6)$$

где $M \times N = S_{\text{общ}}$ – общая (покрываемая) площадь полосы обороны.

Зная, что структура полевой системы связи состоит из L элементов, находящихся в различных взаимосвязях, можно рассчитать вектор доступности D для всей системы в целом. Для этого необходимо иметь L матриц $A(i)$ для каждого i -го элемента в отдельности, определяющих по сути площади покрытия S_i для каждого элемента системы связи. Тогда площадь зоны пересечения не менее чем l ее элементов S_i предлагается рассчитывать по формуле

$$S_i = \bigcup_{i=1}^{C_L^l} \left(\bigcap_{1} \bigcap_{2} \dots \bigcap_l S_i \right), \quad (i = \overline{1, L}; l = \overline{1, L}), \quad (7)$$

где C_L^l – число сочетаний из L по l , отражающее потенциально возможное количество зон перекрытия кратностью l , которое может быть создано в полосе предстоящих боевых действий [11].

Таким образом, определив значение величин множества $\{S_i\}$, представляется возможным в соответствии с выражениями (2) и (4) найти значение всех компонент вектора доступности D . Для проведения расчетов при оценке показателя доступности и вектора D предлагается использовать следующий подход к его вычислению.

Исходными данными для расчета являются: число L элементов системы связи соответствующей структуры G ; максимальное число M строк матриц A ; максимальное число N столбцов матриц A ; множество матриц $\{A\}$, элементы которых рассчитаны в соответствии с выражением (6), сведенные в трехмерный массив данных $A [1..M, 1..N, 1..L]$. Для хранения промежуточных и выходных данных необходимо иметь переменную S , счетчик кратности k и одномерный массив $S [1..k]$ [5, 10, 11].

После ввода исходных данных определяется общая площадь полосы боевых действий (полоса обороны соединения) и обнуляется массив входных данных. Затем последовательно проверяются одинаковые элементы всех матриц на возможность доступа. В случае удовлетворительного ответа изменяется значение счетчика кратности k и соответствующее значение массива S_k . После окончания проверки всех элементов производится расчет отношения площади соответствующей кратности доступа к общей площади и вывод полученных результатов. Выходные данные показывают, с какой доли площади боевых действий (покрываемой или обслуживаемой в отношении связи территории) имеется возможность доступа к l элементам сети связи, т. е. создания l независимых маршрутов [5, 10, 11].

На основании результатов расчета вектора доступности должностные лица органов управления связью в состоянии сделать выводы о том, что анализируемый (планируемый) G -й вариант построения структуры системы связи позволяет обеспечить доступ пользователей (потребителей канального ресурса) хотя бы к одному ее элементу со $100 \times d_1$ % территории, двум – со $100 \times d_2$ %, трем – со $100 \times d_3$ % и т. д. [10].

Следовательно, значения компонент вектора доступности позволяют сделать вывод о том, насколько анализируемый (планируемый) вариант построения системы связи обеспечит доступ пользователей к ее канальному ресурсу. Однако одних только полученных значений компонент вектора доступности недостаточно для того, чтобы однозначно

определить необходимое количество независимых маршрутов доступа. В условиях комплексного воздействия противника необходимо располагать информацией о прогнозируемой объектовой устойчивости элементов системы связи, обеспечивающих доступ. Если бы их устойчивость $P_{уст\ i}$ была идеальной ($P_{уст\ i} = 1, i = 1..L$), то для гарантированного доступа к каналному ресурсу каждому из пользователей было бы достаточно одного абсолютно надежного маршрута к одному элементу системы связи. В ином случае возникает вполне обоснованный вопрос о том, сколько же в планируемом к реализации варианте системы связи необходимо создавать независимых маршрутов, чтобы обеспечить ее требуемую устойчивость.

Решить данный вопрос можно следующим образом [6, 10, 11]. Пусть пользователь, находясь в определенной точке полосы обороны соединения, имеет возможность развернуть имеющимися у него средствами l линий связи соответственно к l элементам системы связи. Также известны значения показателей объектовой устойчивости ее элементов $\{P_{уст\ i}\}$. Для простоты расчетов принято, что все элементы системы связи, обеспечивающие доступ пользователей, равнозначны: $P_{уст\ i} = P_i^д$. Тогда вероятность наступления события $P_{треб}^д$, заключающегося в том, что пользователь получит доступ к каналному ресурсу системы связи, можно найти из выражения [11]:

$$P_{треб}^д = 1 - \prod_{i=1}^l (1 - P_i^д). \quad (8)$$

Определив значение $P_i^д$ и задаваясь требованием к значению показателя $P_{треб}^д$, можно найти минимально необходимое число l_{\min} элементов системы связи, к которым пользователю должен быть обеспечен доступ:

$$l_{\min} = \log_{(1-P_i^д)} [1 - P_{треб}^д]. \quad (9)$$

Определив минимальный уровень количества независимых маршрутов для пользователя в конкретных условиях воздействия противника, соответствующий требованиям по устойчивости системы связи, оцениваются значения компонент вектора доступности (4) и делается обоснованный вывод о достаточности или недостаточности значений данной структурной характеристики для конкретного варианта реализации системы связи. В отличие от известных методик [1–3, 5–7], при расчете пространственной доступности системы связи учитывается объектовая устойчивость элементов, предоставляющих доступ.

Исходя из требований системы управления, каждому пользователю, наряду с возможностью получить пространственный доступ, должен быть предоставлен требуемый (достаточный) ресурс пропускной способности системы связи, который, как правило, для аналогового варианта ее практической реализации количественно выражается в каналах связи, а для цифрового – в скорости передачи информации (бит/с). Поэтому в часы наибольшей нагрузки (ЧНН) существенное значение имеет такой показатель, как возможность СРД по одновременному предоставлению доступа сразу нескольким пользователям (A_i). Количественные значения данного показателя определяются минимальными возможностями СРД по следующим характеристикам: канальной емкости линий привязки к сети общего пользования (СОП); числу каналов радиодоступа; наличию и режимам работы аппаратуры засекречивания [12]. Таким образом,

$$A_i = \min (B_{прив}; C_{радио}; Z_{зас}), \quad (10)$$

где $B_{\text{прив}}$ – канальная емкость линий привязки;
 $C_{\text{радио}}$ – число каналов радиодоступа (канальная емкость СРД);
 $Z_{\text{зас}}$ – наличие аппаратуры засекречивания.

В целях определения показателя доступности системы связи, характеризующего ее возможности в вопросе предоставления пользователям требуемого канального ресурса и отражающего смысл пропускной способности, для аналоговых систем передачи (АСП) может быть использован коэффициент доступности по пропускной способности

$$K_{\text{дост.ПС}}^{\text{АСП}} = \min \left\{ \frac{A_i}{A_{\text{тр}}}, 1 \right\}, \quad (11)$$

где $A_{\text{тр}}$ – требуемое количество каналов связи.

Для определения показателя доступности системы связи, использующей цифровые системы передачи (ЦСП), целесообразно ввести коэффициент доступности по пропускной способности в виде

$$K_{\text{дост.ПС}}^{\text{ЦСП}} = \min \left\{ \frac{V_{\text{пл}}}{V_{\text{тр}}}, 1 \right\}, \quad (12)$$

где $V_{\text{пл}}$ – планируемая (реализуемая) скорость передачи;

$V_{\text{тр}}$ – требуемая скорость передачи.

Если значение $K_{\text{дост.ПС}}$ по величине превышает 1, то производится расчет резерва информационных возможностей сети $Q_{\text{рез}}$ посредством использования следующего выражения:

$$Q_{\text{рез}} = K_{\text{дост.ПС}} - 1. \quad (13)$$

Поскольку коэффициенты, рассчитанные с использованием выражений (5), (11), (12), отражают физический смысл двух разных видов доступности – пространственной (по степени покрытия территории) и канальной (по показателю пропускной способности), требования по которым должны быть выполнены совместно, имеет смысл ввести обобщенный показатель системы связи

$$K_{\text{СС}} = \min \{ K_{\text{дост. пр}}, K_{\text{дост.ПС}} \}. \quad (14)$$

В целях повышения обоснованности принимаемого решения по выбору варианта структуры системы связи в соответствии с требованием по ее основному целевому назначению – обмену информацией, а значит и доступу к ней должностных лиц органов управления, критериальные значения обобщенного показателя (14) следует устанавливать в соответствии со степенью удовлетворения потребностей системы управления по пропускной способности как главному показателю эффективности, отражающему наиболее существенное свойство системы военной связи.

Структура предлагаемого подхода к оценке эффективности системы связи представлена на рисунке 1, а блок-схема определения обобщенного показателя системы связи в бою по частным показателям ее эффективности – на рисунке 2.

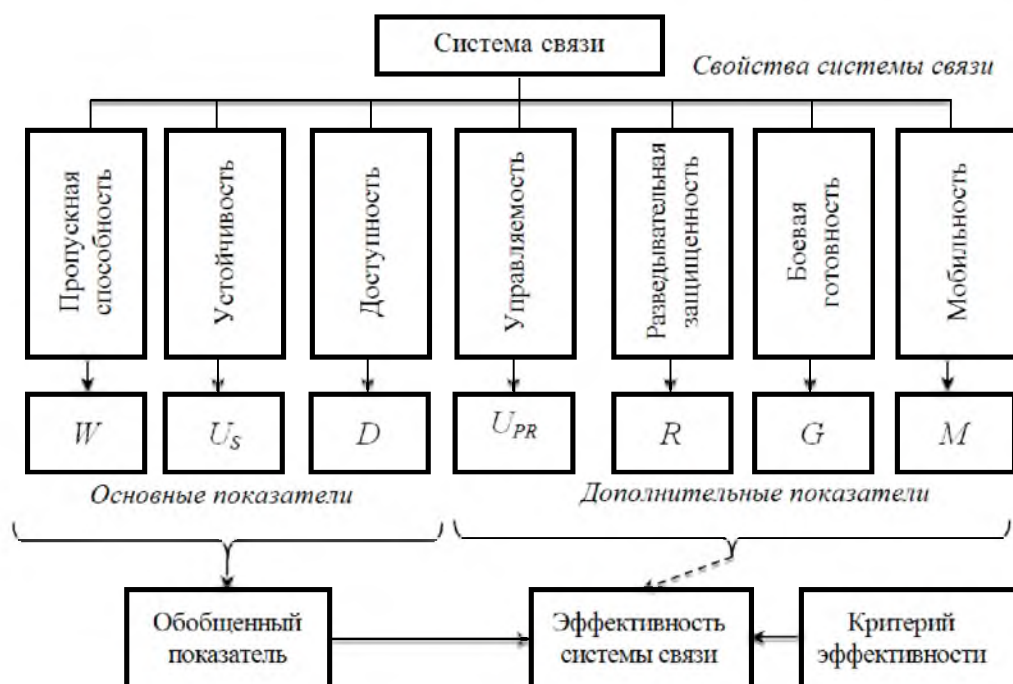


Рисунок 1. – Предлагаемый подход к оценке эффективности системы связи

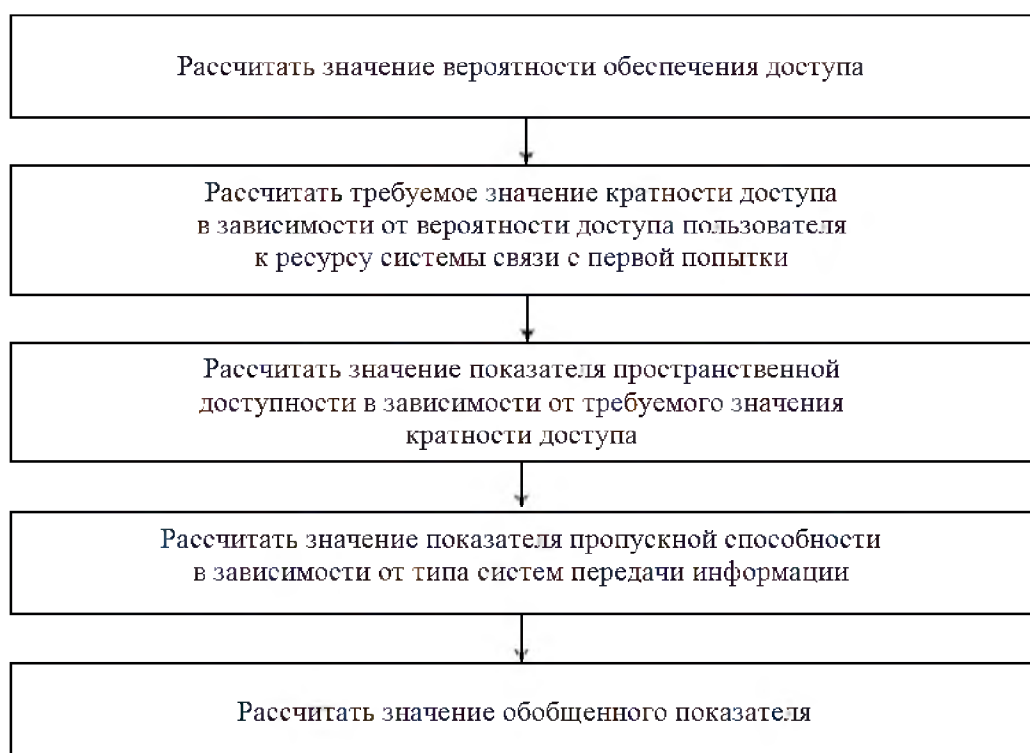


Рисунок 2. – Блок-схема последовательности определения значения обобщенного показателя системы связи

Предлагаемый подход к оценке эффективности системы связи выгодно и очевидно отличается от известных [1–9]. Так, используемые в настоящее время отдельные методики оценки эффективности системы связи отражают, как правило, одно или несколько ее частных свойств, например разведзащищенность [1, 5], устойчивость (в аспекте структурной живучести) [6, 8] или пропускную способность [2, 7], что с точки зрения системного подхода является недостаточным, поскольку отдельно взятые свойства, пусть даже существенные, но

рассматриваемые порознь, не отражают их взаимного влияния друг на друга. По этой причине оценка эффективности системы связи формально представляется разносторонней, но не является комплексной. В усовершенствованной же методике показатель доступности связывается с основным показателем пропускной способности и интегральным показателем устойчивости, который включает частные показатели живучести, помехоустойчивости и надежности, что позволяет комплексно оценить систему связи соединения, а значит, принять более обоснованное решение на ее построение.

Выводы:

1. Выявленные противоречия между потребностями системы управления и возможностями системы связи, а также расхождения в оценках ее прогнозируемой и реальной эффективности по основным показателям могут быть разрешены:

организационно – на основе применения принципа системности, обоснования и реализации новой территориально-распределенной структуры, включающей сеть радиодоступа и СОП;

технически – за счет цифровизации системы связи и перевода ее на качественно более высокую технологическую платформу с преимущественным использованием средств связи отечественного производства;

методологически – посредством совершенствования методики оценки ее эффективности и выработки научно обоснованных рекомендаций по практической реализации и формированию структуры системы связи, соответствующей современным и перспективным требованиям управления войсками.

2. При этом следует искать не оптимальное, а рациональное решение между необходимой эффективностью и приемлемой стоимостью.

Список литературы

1. Боговик, А. В. Эффективность систем военной связи и методика ее оценки / А. В. Боговик, В. В. Игнатов. – СПб.: ВАС, 2006. – 184 с.
2. Голубцов, С. Г. Методика оценки эффективности функционирования полевой опорной сети связи объединения по комплексному показателю доступности / С. Г. Голубцов, Г. А. Леонович // Наука и воен. безопасность. – 2009. – № 3. – С. 23–29.
3. Гришко, В. Д. Методика поддержки принятия решения о размещении на местности элементов полевой системы военной связи на основе нейронных сетей: дис. ... канд. техн. наук: 15.01.05 / В. Д. Гришко. – Минск, 2005. – 152 с.
4. Дмитриев, В. И. Средства и комплексы подвижной радиосвязи / В. И. Дмитриев. – СПб.: ВАС, 2007. – 268 с.
5. Ермишян, А. Г. Теоретические и научно-практические основы построения систем связи в локальных войнах и вооруженных конфликтах / А. Г. Ермишян, Г. В. Сызранцев, В. В. Дыков; под ред. А. Г. Ермишяна. – СПб.: ВАС, 2006. – 220 с.
6. Исаков, Е. Е. Устойчивость военной связи в условиях информационного противоборства / Е. Е. Исаков. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 400 с.
7. Леонович, Г. А. Методика расчета зоны покрытия станции радиодоступа подвижных абонентов связи тактического звена управления / Г. А. Леонович, В. М. Калинин // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2004. – № 4 (5). – С. 56–61.
8. Семашко, Ю. А. Проблемные аспекты и инновационные концепции управления войсками (силами) и организация связи в сетевых операциях / Ю. А. Семашко, В. М. Калинин, В. Н. Шептуро // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2012. – № 1 (34). – С. 27–36.
9. Системы и сети цифровой радиосвязи: учеб. пособие / Н. И. Листопад [и др.]. – Минск: Изд-во Гревцова, 2009. – 200 с.
10. Пылинский, М. В. Методика оценки доступности системы связи для подвижных пользователей в тактическом звене управления / М. В. Пылинский, Д. М. Леонов // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2010. – № 4 (29). – С. 52–60.

11. Пылинский, М. В. Методика оценки эффективности системы связи тактического звена управления по показателю доступности ее ресурса подвижным пользователям / М. В. Пылинский, Д. М. Леонов, В. Г. Мельник // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2011. – № 29. – С. 96–105.

12. Голубцов, С. Г. Повышение доступности системы связи в тактическом звене управления за счет совершенствования ее структуры / С. Г. Голубцов, М. В. Пылинский // Наука и воен. безопасность. – 2011. – № 1 (29). – С. 51–56.

13. Пылинский, М. В. Методика автоматизированного расчета показателя доступности системы связи тактического звена управления / М. В. Пылинский // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2011. – № 1 (30). – С. 39–47.

14. Пылинский, М. В. Системное решение проблемы обеспечения доступности подвижных пользователей в тактическом звене управления / М. В. Пылинский // Сб. науч. ст. – 2012. – № 22. – С. 38–45.

Сведения об авторах:

Калинин Владимир Митрофанович,

Пылинский Максим Валерьевич,

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 03.02.2017 г.

ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРА СОВРЕМЕННЫХ И БУДУЩИХ ВОЙН НА ПОДХОДЫ К ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ

В. А. Касинский, кандидат военных наук, доцент*

В статье приведены результаты анализа тенденций развития современной вооруженной борьбы и прогноз характера будущих войн. На этой основе предложены новые подходы к повышению качества управления войсками, новые принципы управления и показатели для оценки его эффективности, что позволит решить важную прикладную проблему по обеспечению превосходства над противником в качестве управления.

In article results of the analysis of tendencies of development of the modern armed struggle and the forecast of character of the future wars are resulted. On this basis new approaches to improvement of quality of management by armies, new principles of management and indicators for an estimation of its efficiency that will allow to solve the important applied problem on maintenance of the superiority over the opponent as management are offered.

Введение

Научно-технический прогресс, бурное развитие информационных технологий, всевозрастающая роль высокоточных средств поражения, повышение эффективности средств разведки, интенсивная автоматизация систем управления (СУ) войсками и оружием меняют характер современной вооруженной борьбы, оказывают неуклонное влияние на развитие военного искусства, в том числе обуславливают необходимость дальнейшего совершенствования теории управления.

Министр обороны Республики Беларусь в ноябре 2016 г. на Международной военно-научной конференции отметил [1], что «... успех в современных военных действиях определяется не только количественно-качественным соотношением сил и средств, но и достижением превосходства в управлении». Обеспечить такое превосходство способна СУ, основанная на сетцентрических принципах построения и функционирования адаптивных организационно-технических систем.

Оценка эффективности управления во многом зависит от корректности решения задач по прогнозу изменений обстановки и невозможна без расчета динамических показателей взаимодействия противоборствующих сторон [3]. При этом, если методы количественного выражения таких известных требований к управлению, как устойчивость, непрерывность, оперативность, скрытность, достаточно широко исследованы [5, 6, 8, 9, 16, 20], то описание возможностей по сбору, анализу и преобразованию информации не нашло должного отражения в научных публикациях. А ведь без учета этих процессов невозможно обеспечить требуемый уровень адекватности необходимых в современных условиях систем поддержки принятия решений (СППР) в органах военного управления. Этим и обусловлена актуальность рассматриваемых в статье вопросов.

Основная часть

Из анализа тенденций развития современной вооруженной борьбы в научных публикациях [2, 7, 10–15, 18, 19, 21–24, 27–29], характера современных и будущих войн [4, 17, 25, 26] следует, что на развитие практики управления оказывают влияние следующие тенденции:

а) расширение и объединение пространства вооруженной борьбы, ведение противоборства в информационной сфере как результат развития новейших информационных технологий до уровня значительного влияния на ход и исход военных действий, информация становится той сферой, которая «связывает» всю совокупность ударов в единую операцию, в том числе и стратегическую;

б) повышение управляемости вооруженной борьбой за счет системного

использования информационных технологий для управления войсками (силами) и оружием в масштабе реального времени. Ведение военных действий в едином информационном пространстве управления (создание разведывательно-ударных систем, обеспечивающих единство средств разведки, целеуказания и поражения), что обеспечивает переход от управления оружием и войсками к управлению вооруженной борьбой (когда одна сторона добивается полного и безраздельного руководства ходом военных действий);

в) изменение соотношения времени непосредственной подготовки военного конфликта и этапов его ведения – увеличение времени подготовки для завоевания превосходства в информационной сфере, захвата инициативы и сокращение времени ведения активных действий;

г) увеличение приоритета средств нападения перед средствами защиты, что делает расчет на отражение агрессии только оборонительными средствами нереализуемым, повышение важности поражения объектов системы государственного и военного управления, критически важных объектов информационной инфраструктуры.

Таким образом, одно из важнейших принципиальных отличий вооруженной борьбы будущего – стремление достигнуть превосходства в качестве управления, прежде всего благодаря значительному информационно-коммуникационному превосходству своей СУ над противником. Предполагаемый сценарий управления вооруженной борьбой будущего имеет ярко выраженный сетцентрический характер.

Проводимое автором исследование показывает, что именно превосходство в качестве управления играет ключевую роль в формировании нового характера войн будущего, поскольку обеспечивает доминирующей стороне перехват инициативы и последовательное навязывание противнику выгодных форм и способов вооруженной борьбы. Отметим, что такое превосходство достигается не только за счет реализации преимуществ своей СУ, но и путем одновременного воздействия на СУ противника для снижения ее возможностей.

В результате количественного анализа обобщенных данных реального функционирования СУ и сопоставления их с существующими положениями теории управления можно предположить, что **имеется устойчивая повторяющаяся связь между способностью СУ получать, преобразовывать, распространять информацию и ее возможностями по эффективному функционированию в условиях ведения современных и будущих войн.** Причем скорость работы всех подсистем СУ является решающим фактором развития такого явления, как «системный кризис» – процесс навязывания избранных форм и способов вооруженной борьбы одной из сторон в современных операциях (рисунок 1).

На рисунке показано развитие процесса опережения стороной А стороны Б в качестве управления по мере повторения их боевыми системами «цикла Бойда» – наблюдение (Н); – ориентирование (О); – решение (Р); – действие (Д). Качественный анализ этого явления позволяет сделать ряд выводов:

– качество управления K является показателем интегрированным и зависит от текущей скорости боевого цикла системы и качества принимаемых решений;

– ухудшение качества решения ведет к увеличению потерь, в том числе и СУ, что, в свою очередь, снова снижает качество управления;

– значения качества управления ухудшаются не только пропорционально росту потерь в СУ, но и снижению ее возможностей по скорости сбора, преобразования и передачи информации в боевой системе;

– в одних и тех же условиях сокращение времени цикла T может ограничивать качество решений K , и наоборот, повышение качества решения может увеличивать время цикла;

– качество решений отражает степень их соответствия реальной обстановке;

– превосходство одной из сторон в качестве управления позволяет ей изменять условия противоборства, что усиливает действие на другую сторону перечисленных выше факторов;

– кризис в управлении боевой системой наступает, когда одна из сторон успевает завершить реализацию принятого решения, а другая – не успевает на это отреагировать:

– критерием системного кризиса стороны Б является ее отставание на 30–50 % от времени цикла стороны А, тогда сторона Б выполняет решение, принятое для условий, уже не соответствующих текущим;

– степень адаптивности управления прямо пропорциональна скорости боевого цикла системы.

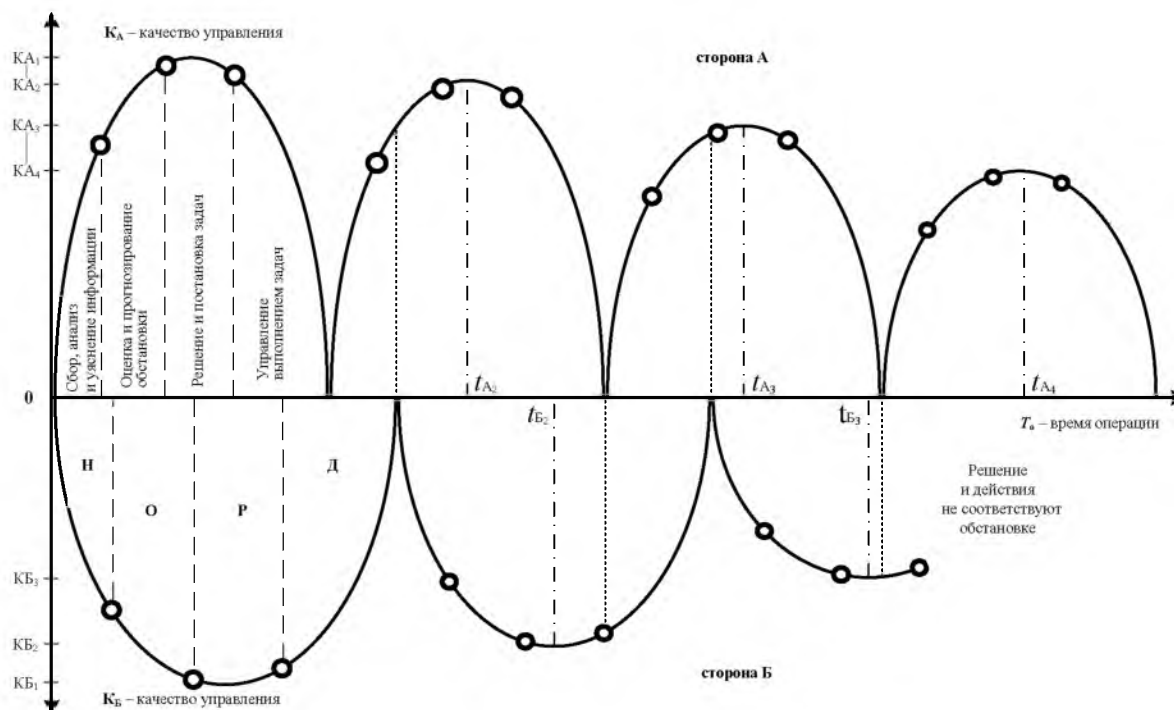


Рисунок 1. – Динамика развития системного кризиса (петля Бойда)

На основе обобщения тенденций совершенствования современной теории и практики управления выявлен ряд устойчивых связей, сопровождающих:

- а) связь со способностью системы управления получать, преобразовывать и доводить информацию до объектов управления;
- б) связь с эффективностью функционирования системы управления;
- в) связь с превосходством одной из сторон в качестве управления.

Данные выводы позволили сформулировать не существовавшие ранее в теории управления **новые закономерности** и механизмы их проявления на практике в современных условиях:

- а) взаимная обусловленность эффективности функционирования СУ – ее способностью получать, преобразовывать и доводить информацию;
- б) взаимная обусловленность превосходства стороны в качестве управления – эффективностью функционирования ее СУ;
- в) взаимная обусловленность возможности успешного применения избранных форм и способов вооруженной борьбы – превосходством в качестве управления.

Новые закономерности представлены в последовательности, наглядно демонстрирующей, что возможность перехвата инициативы, навязывания выгодных форм и способов вооруженной борьбы обусловлена способностью СУ получать, преобразовывать и доводить информацию подчиненным в кратчайшие сроки. При этом качество решений должно быть не хуже, чем у противника.

Применением метода восхождения от общего к частному выявлены факторы, обеспечивающие практическое проявление сформулированных закономерностей (рисунок 2).

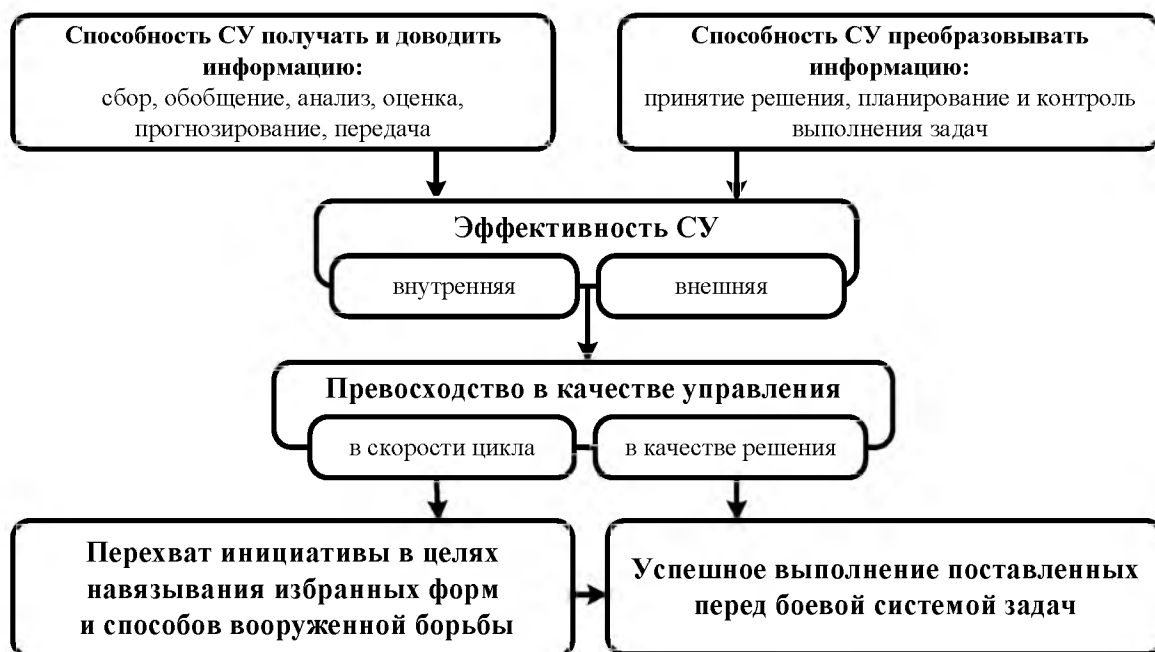


Рисунок 2. – Факторы и последовательность проявления новых закономерностей

Дальнейшее изучение особенностей воздействия данных факторов путем верификации их признаков по общему основанию позволило представить их в виде двух **новых требований** к качеству управления:

а) относительно способности СУ получать и доводить информацию – требование информативности;

б) относительно способности СУ преобразовывать информацию – требование компетентности.

В целях выработки в дальнейшем практических рекомендаций по соблюдению сформулированных требований предложены **новые принципы** управления (рисунок 3):

а) относительно требования информативности – принцип достаточности, ценности, достоверности, актуальности, целостности, преобразуемости;

б) относительно требования компетентности – принцип рациональности, соответствия, адаптивности, вариативности, степени ситуационной осведомленности, цикличности, когнитивности, единого понимания.



Рисунок 3. – Требования и принципы управления, обеспечивающие применение новых закономерностей на практике

Принцип достаточности информации

С увеличением объема необходимой информации качество выполнения ОВУ любой задачи быстро растет, а расходуемое при этом время на принятие решения существенно

сокращается. Однако после достижения определенного объема информации его дальнейшее увеличение уже не приводит к заметному повышению качества решения. Более того, время на принятие решения в этом случае резко увеличивается.

Таким образом, изучение этого принципа и его практическое применение для решения конкретных задач позволяют установить тот необходимый объем информации, который обеспечивает принятие достаточно качественного решения в минимально допустимое в данных условиях время.

Принцип достоверности информации

Достоверность прогнозов развития обстановки напрямую связана с используемыми для этого методами работы и применяемыми алгоритмами, что выдвигает требования к достоверности информации, получаемой из различных источников.

Этот принцип показывает необходимость обеспечения ОБУ информацией для принятия решений не только в достаточном количестве, но и установленного качества. Степень достоверности получаемой информации должна определяться заранее и служить исходным критерием для принятия решения при организации применения средств разведки.

Принцип ценности информации

Средства сбора информации ограничены своими техническими характеристиками по возможностям ведения разведки в пространстве и во времени. Вместе с тем все объекты, подлежащие вскрытию, имеют различные свойства по степени опасности или чувствительности к видам воздействия на них, причем важность объектов меняет свои значения в зависимости от этапа операции и их положения в боевом порядке. Не всякие сведения будут одинаково ценны для принятия текущего решения относительно конкретно заданной целевой функции.

Этот принцип реализует направленность средств разведки на добывание в первую очередь наиболее ценной (необходимой) в данный момент информации, в зависимости от этапов работы ОБУ и текущих задач.

Принцип актуальности информации

В современной высокодинамичной вооруженной борьбе добытые сведения быстро утрачивают степень своего соответствия реальной текущей обстановке, что заставляет периодически запрашивать ее подтверждение, дополнительно расходовать выделенный разведывательный ресурс.

Таким образом, одним из важнейших показателей является степень актуальности используемой информации, что требует от ОБУ рационально распределять усилия разведки для добывания только той информации, актуальность которой не утрачивается или будет использована максимально быстро.

Принцип целостности информации

Сбор и подача информации в том виде и такого качества, которые позволяют проводить ее обработку без дополнительного взаимодействия и уточнения: обеспечение так называемой бесшовности при взаимодействии различных информационно-технических средств обработки и анализа данных.

Реализация принципа требует дальнейшей автоматизации информационных процессов СУ, развития единых форм и методов ее обработки и представления субъектам и объектам управления различной природы.

Принцип преобразуемости информации

Сбор и подача информации в форме «пакетов», достаточных для преобразования при дальнейшей обработке их количественного содержания в новое качественное состояние, позволяющее делать выводы для принятия и корректировки управленческих решений.

Реализация принципа требует научного обоснования универсального способа измерения результатов работы средств сбора, обобщения, анализа и передачи информации в «информационных единицах», приобретающих качественные отличия по степени ее восприятия субъектами управления на каждом последующем уровне преобразования.

Принцип рациональности

Рациональность – такое состояние, при котором обеспечивается достижение требуемых результатов при минимизации затрат. Принцип предполагает наличие критериев, по которым должна устанавливаться степень их достижения.

Рациональность управления достигается преднамеренным выбором наиболее целесообразного содержания, форм, методов и приемов управляющих воздействий, обеспечивающих повышение эффективности управления и достижения целей операции. Для осуществления рациональности управления также необходимы следующие условия: наличие функционально соответствующих управляемому объекту органов управления; принятие решений на основе объективной информации, адекватно отражающей состояние объекта управления.

Принцип соответствия

Соответствие управленческих воздействий не только частным, но и общей цели операции реализует целевую функцию спланированных действий. Предполагает соответствие затрат для решения поставленных задач наличие достаточных ресурсных возможностей и способностью их израсходовать.

Результат основывается на том, что производительность СУ будет иметь тенденцию к увеличению, если выполняемая работа ориентирована на конечную цель, которая понятна исполнителям, всесторонне обеспечена и приемлема для практической реализации.

Принцип вариативности

Принцип управления, направленный на преодоление неопределенности оперативной обстановки. Этот принцип, в зависимости от условий и целей действий войск сторон, требует разрабатывать несколько вариантов распределения и применения подчиненных сил и средств. При этом следует учитывать, что решающее значение на формирование альтернатив будут оказывать конкретные цели удовлетворения определенных потребностей боевой системы и сокращение затрат на достижение этих целей.

Сложность реализации данного принципа при планировании применения войск (сил) в современных операциях обусловлена тем, что выбор конкретного варианта решения должен, как правило, осуществляться в то время, когда условия обстановки, обеспечивающие однозначный выбор, еще недостаточно ясны, этим и обосновывается первоочередность соблюдения требования информативности.

Принцип адаптивности

Проведенный анализ показал, что в современной вооруженной борьбе управление войсками может быть эффективным только в том случае, если оно практически мгновенно, в реальном масштабе времени, реагирует на не полностью определенную и постоянно изменяющуюся оперативную обстановку. Поэтому вместо термина «управление» в операциях уместно употребить термин «адаптивное управление». Адаптация понимается как приспособление методов, способов управления РВиА к не полностью определенной и постоянно изменяющейся оперативной обстановке, конкретным задачам боевой системы, достижение заданных (прогнозируемых) показателей эффективности, корректировка качества и параметров функционирования СУ при изменении текущих условий.

Эффект от соблюдения данного принципа зависит от быстроты проведения мониторинга изменений текущей обстановки в режиме, близком к реальному времени, а также от оперативности внесения корректив в ранее принятые решения.

Принцип ситуационной осведомленности

Быстрота и качество реакции СУ предполагает достижение превосходства не только в количественном накоплении информации, а в более высокой степени осознания и понимания ситуации на поле боя на основе полученной информации.

В технологическом плане все это предполагает внедрение новых систем разведки, обеспечения и управления, создания ситуационных центров непрерывного и качественного сбора, обработки и анализа информации.

Принцип единого понимания

Обеспечивает децентрализацию управления и самоорганизацию взаимодействия войск (сил) по горизонтали.

Требует непрерывного функционирования единых ситуационных центров, базирующихся на централизованном компьютерном моделировании, оценке и прогнозировании развития ситуации для ее общего использования всеми потребителями в едином разведывательно-информационном пространстве группировки войск.

Принцип когнитивности

Новые средства добывания, сбора, обработки и отображения информации, связи и другие технические средства, особенно автоматизированные системы управления, создают объективные и вполне реальные предпосылки и возможности для резкого повышения оперативности и качества управления. Однако они могут быть реализованы только в том случае, если в соответствии с ними будут изменяться и совершенствоваться организационные формы и методы работы командования и штабов. Целенаправленная и планомерная адаптация органов управления к изменяющейся материально-технической базе и условиям управления является важнейшим требованием данного принципа.

Реализация принципа требует научного обоснования оснащенности и оборудования пунктов управления, разработки интуитивно понятных интерфейсов, программных оболочек и других средств реализации высокоскоростного диалога «человек – машина», а методы работы командования и штабов должны быть такими, при которых в максимальной степени используются возможности современных информационных технологий для достижения целей управления.

Принцип цикличности

Формализация процесса функционирования СУ как повторяющейся последовательности типовых операций позволяет упростить его математическое описание и моделирование, что способствует реализации важного свойства «открытых» систем, когда информация о результатах цикла управления (функционирования) используется в качестве части исходных данных для организации следующего цикла.

Возможность субъекта управления получать информацию о результатах достижения заданной цели, степени решения поставленной задачи, состоянии СУ позволяет делать выводы об условиях ее функционирования, необходимости корректировки или перестройки, если полученный результат не соответствует требуемому.

В целях количественного обоснования степени реализации в управленческом решении существующих и предлагаемых принципов управления необходимо их выразить в новых или существующих показателях эффективности управления.

Справедливо отметить, что некоторые из существующих в теории управления показателей эффективности отражают часть сформулированных здесь принципов. Так, показатели внутренней эффективности по требованию оперативности СУ отражают оценку скорости ее функционирования, с их помощью возможна оценка времени цикла управления системы (см. рисунок 2).

Вместе с тем оценка превосходства СУ одной из сторон в качестве управления должна выражаться показателями внешней, а не внутренней эффективности, поскольку отражает противоборство с системой, не входящей в состав оцениваемой. Существующие представления о внешней эффективности управления выражаются показателями степени реализации боевых возможностей объекта управления или приращением значения ущерба противнику от эффективности функционирования СУ. Анализ показал невозможность выражения через них превосходства СУ одной из сторон в качестве управления. В результате дальнейших исследований были предложены новые показатели внешней и внутренней эффективности, характеризующие реализацию требований к управлению (рисунок 4).

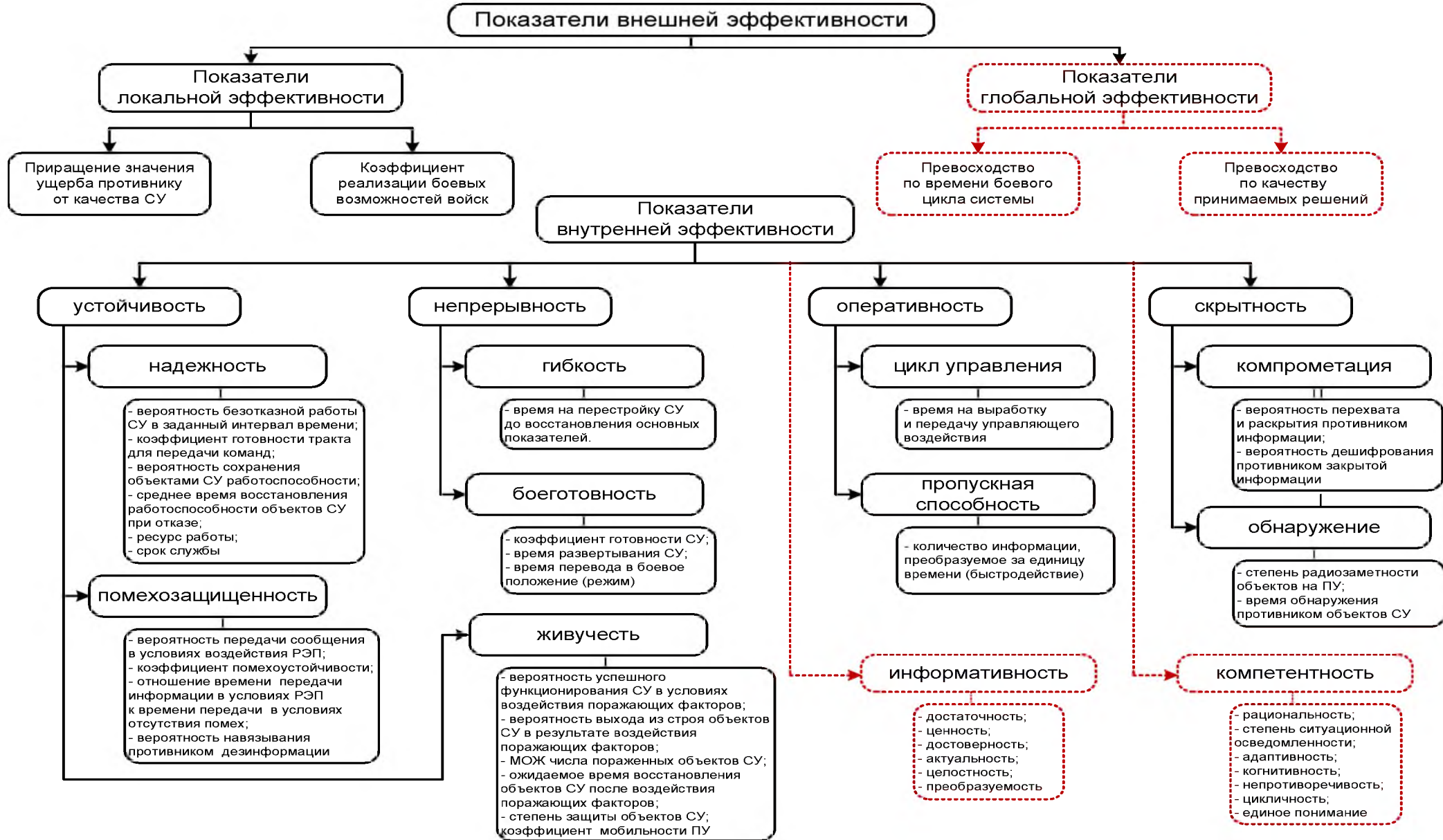


Рисунок 4. – Основные показатели, характеризующие существующие и предлагаемые требования к управлению
ВЕСТНИК ВОЕННОЙ АКАДЕМИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ 1'2017

На рисунке 4 в обобщенном виде представлены показатели внешней и внутренней эффективности управления, существующие и новые требования к управлению, их выражение через показатели. Блоки, содержащие новые интегрированные показатели эффективности управления, выделены пунктиром.

Выводы

Таким образом, в статье приведены результаты анализа тенденций развития современной вооруженной борьбы и прогноз характера будущих войн. На этой основе предложены новые подходы к повышению качества управления войсками, существующие требования к управлению дополнены новыми. Показаны пути практической реализации требований через новые принципы управления.

Предложены показатели внешней и внутренней эффективности, которые в дальнейшем необходимо выразить количественно, что позволит проводить оценку управления и на практике обеспечит решение важной прикладной проблемы превосходства над противником в качестве управления.

Определение критериев эффективности, отражающих степень реализации требований, принципов и превосходства в качестве управления, описание методов их математического расчета являются актуальной задачей для проведения дальнейших научных исследований в данной предметной области.

Прагматическая значимость полученных результатов предполагает в дальнейшем выработку практических рекомендаций органам военного управления по оценке и достижению прогнозируемых и реализуемых значений показателей эффективности, что позволит своевременно принимать меры по развитию методов управления, способов построения и функционирования СУ, совершенствованию методов оперативной подготовки должностных лиц органов военного управления.

Список литературы

1. Проблемные вопросы управления многонациональными контингентами Коллективных сил оперативного реагирования в интересах обеспечения военной безопасности государств – членов Организации Договора о коллективной безопасности: материалы Междунар. воен.-науч. конф., Минск, 16–17 нояб. 2016 г. / Науч.-исслед. ин-т Вооруж. Сил Респ. Беларусь; редкол.: С. В. Шлычков [и др.]. – Минск, 2016. – 222 с.
2. Горбачев, Ю. Е. Сетецентрическая война: миф или реальность? / Ю. Е. Горбачев // Воен. мысль. – 2006. – № 1. – С. 66–76.
3. Обследование системы управления Вооруженных Сил Республики Беларусь как объекта моделирования: отчет о НИР «Оценка» / 7-е упр. ГШ ВС РБ; науч. рук. С. К. Гульбис. – Минск, 2007. – 652 с. – № 2.88.04.
4. Военное искусство в локальных войнах и вооруженных конфликтах / вторая половина XX – начало XXI века / А. В. Усиков [и др.]; под общ. ред. А. С. Рукшина. – М.: Воениздат, 2008. – 764 с.
5. Гульбис, С. К. Классификация показателей эффективности функционирования системы управления войсками / С. К. Гульбис // Наука и воен. безопасность. – 2008. – № 4. – С. 28–31.
6. Выпасняк, В. И. Оценка состояния системы управления войсками в ходе операции (боя) / В. И. Выпасняк, А. М. Гуральник // Воен. мысль. – 2008. – № 7. – С. 32–41.
7. Калистратов, А. И. К вопросу о сетецентрических действиях в вооруженной борьбе будущего / А. И. Калистратов // Воен. мысль. – 2008. – № 12. – С. 22–30.
8. Вервейко, Б. М. Особенности моделирования системы управления Вооруженных Сил как сложной организационно-технической системы / Б. М. Вервейко, С. К. Гульбис // Наука и воен. безопасность. – 2010. – № 1. – С. 26–29.
9. Загоруля, Б. Л. Методика оценки показателей качества информационно-управляющих подсистем / Б. Л. Загоруля, Г. Ф. Хорошавина, А. Н. Насевич // Наука и воен. безопасность. – 2010. – № 3. – С. 25–31.
10. Косачев, И. М. Концепция создания единой информационно-управляющей системы сетецентрической архитектуры для Вооруженных сил Союзного государства /

И. М. Косачев, А. В. Хижняк // Вестн. ВА РБ. – 2010. – № 2. – С. 4–26.

11. Синявский, В. К. Влияние содержания и принципов «сетевидной войны» на управление войсками (силами) / В. К. Синявский // Наука и воен. безопасность. – 2010. – № 4. – С. 2–9.

12. Долгополов, А. В. Эволюция форм и способов вооруженной борьбы в сетевидных условиях / А. В. Долгополов, С. А. Богданов // Воен. мысль. – 2011. – № 2. – С. 49–58.

13. Рахманов, А. А. Сетевидные системы управления: тенденции, проблемные вопросы и пути их решения / А. А. Рахманов // Воен. мысль. – 2011. – № 3. – С. 41–50.

14. Макаренко, С. И. Перспективы использования сетевидных технологий управления боевыми действиями и проблемы их внедрения в Вооруженных силах РФ / С. И. Макаренко, А. Н. Бережной // Вестн. АВН РФ. – 2011. – № 4. – С. 64–67.

15. Барвиненко, В. В. О построении комплексов средств автоматизации в АСУ войсками (силами) для ведения сетевидных действий / В. В. Барвиненко // Воен. мысль. – 2011. – № 11. – С. 54–61.

16. Вервейко, Б. М. Подход к разработке концептуальной модели системы управления Вооруженных Сил и оценки ее функционирования в операции / Б. М. Вервейко, С. К. Гульбис // Сб. науч. статей ВА РБ. – 2011. – № 21. – С. 3–14.

17. Воробьев, И. Н. От современной тактики к тактике сетевидных действий / И. Н. Воробьев, В. А. Киселев // Воен. мысль. – 2011. – № 8. – С. 19–27.

18. Дульнев, П. А. Асимметричное противодействие в «сетевидной войне» / П. А. Дульнев, В. Г. Ковалев, Л. Н. Ильин // Воен. мысль. – 2011. – № 10. – С. 3–8.

19. Семашко, Ю. А. Проблемные аспекты и инновационные концепции управления войсками (силами) и организации связи в сетевидных операциях / Ю. А. Семашко, В. И. Шептура, В. М. Калинин // Вестн. ВА РБ. – 2012. – № 1. – С. 27–35.

20. Паскробка, С. И. Методы расчета показателей, характеризующих требования к управлению войсками / С. И. Паскробка, В. А. Сергиенко, А. А. Родионов // Вестн. ВА РБ. – 2012. – № 2. – С. 52–60.

21. Семашко, Ю. А. Анализ взглядов на концепцию сетевидных операций и ее влияние на совершенствование системы управления войсками / Ю. А. Семашко, В. И. Шептура, С. Г. Голубцов // Идеол. аспекты воен. безопасности. – 2012. – № 4. – С. 3–10.

22. Кругликов, С. В. Направления создания единой автоматизированной системы управления войсками и оружием с учетом развития сетевых технологий / С. В. Кругликов // Идеол. аспекты воен. безопасности. – 2012. – № 4. – С. 11–16.

23. Скоков, С. И. Сетевидная система управления Вооруженных сил РФ и необходимые меры по ускорению развития АСУ войсками (силами) / С. И. Скоков // Вестн. АВН РФ. – 2014. – № 1. – С. 53–54.

24. Синявский, В. К. Парадигма сетевидного управления и ее влияния на процессы управления войсками / В. К. Синявский, В. А. Короленко, С. И. Верещагин // Наука и воен. безопасность. – 2014. – № 3. – С. 17–22.

25. Барвиненко, В. В. Война на опережение / В. В. Барвиненко // Воен.-промыш. курьер. – 2015. – № 24, 25. – С. 1, 6.

26. Военная стратегия: учеб.: в 3 ч. / П. Н. Муравейко [и др.]; под общ. ред. О. А. Белоконова. – Минск: ВА РБ, 2015. – Ч. 1: Основы военной стратегии. – 392 с.

27. Андреев, А. Ф. Актуальные вопросы теории и практики управления: необходимость перемен / А. Ф. Андреев // Вестн. АВН РФ. – 2016. – № 1. – С. 63–67.

28. Балыбин, В. А. Развитие современного военного искусства с точки зрения военной системологии / В. А. Балыбин // Воен. мысль. – 2016. – № 3. – С. 3–8.

29. Троценко, К. А. Информационное противоборство в оперативно-тактическом звене управления / К. А. Троценко // Воен. мысль. – 2016. – № 8. – С. 20–25.

* Сведения об авторе:

Касинский Владимир Александрович,
УО «Военная академия Республики Беларусь».
Статья поступила в редакцию 15.02.2017 г.

НОВЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ СВЯЗИ ТАКТИЧЕСКОГО ЗВЕНА УПРАВЛЕНИЯ

М. В. Пылинский, кандидат военных наук;
В. М. Калинин, кандидат технических наук, доцент*

Статья посвящена развитию теоретических положений по совершенствованию методических подходов оценки системы связи тактического звена управления. Научная новизна заключается в предложенном способе определения показателя эффективности системы связи, в котором использован принцип декомпозиции и установления взаимосвязанных сторон, проявляющихся в единстве пространственной доступности и пропускной способности.

The article is devoted to development of theoretical propositions to improve the methodological approaches to the assessment of communications systems tactical control. Scientific novelty lies in the method of determining the efficiency of the communication system, which uses the principle of decomposition and the definition of related parties, which is manifested in the unity of spatial accessibility and capacity.

Происходящие изменения в силах, средствах, способах и характере вооруженной борьбы обязывают по-новому пересмотреть предъявляемые требования к системе связи со стороны системы управления, поскольку реализовать на практике эффективную структуру системы связи любого уровня без разрешения имеющихся противоречий, адекватно влияющих на ее построение и функционирование, в принципе невозможно. Эффективность функционирования системы определяется степенью реализации ее возможностей, при этом как она сама, так и учитываемые при ее оценке факторы и условия характеризуются определенными показателями и критериями, выбор которых, наряду с обоснованием методического аппарата, является важнейшим вопросом и одной из наиболее ответственных задач исследований [3].

Что касается методического аппарата оценки эффективности систем военной связи, особое место в нем занимает анализ прогнозируемых условий функционирования и воздействующих факторов, под которыми следует понимать причины и движущие силы, определяющие причинно-следственные связи в рассматриваемом процессе, его характер или отдельные черты [1]. Состав факторов, влияющих на эффективность системы связи тактического звена управления (ТЗУ), определен на основе анализа опыта локальных войн и вооруженных конфликтов, современных условий ведения боевых действий, а также по результатам теоретического анализа методик оценки эффективности, используемых в настоящее время в практической деятельности штабов соединений и воинских частей связи.

Основная цель всех известных методик оценки эффективности системы военной связи устанавливается из определения степени соответствия ее отдельных элементов и (или) свойств предъявляемым требованиям по управлению войсками. Чем выше степень реализации возможностей (свойств) системы связи, тем выше качество управления войсками. При этом качество системы связи выделяет ее существенную определенность, благодаря которой она является именно таковой, и оценивается совокупностью свойств, обуславливающих ее способность обеспечивать обмен и обработку информации в процессе управления. В этом плане высокую степень теоретической и прикладной проработки задач оценки эффективности систем связи имеют научные работы целого ряда белорусских и российских военных ученых [1–5], в которых разработаны методики и практические рекомендации по способам построения систем связи в различных условиях боевой

деятельности войск (сил). Вместе с тем следует признать, что в них не в полной мере учитываются изменившиеся условия ведения основными тактическими формированиями современных боевых действий в вооруженных конфликтах и войнах нового поколения, возросшие требования со стороны системы управления, уровень развития информационных и телекоммуникационных технологий, принятие на вооружение и поступление в войска техники военной связи отечественного производства.

Так, в [1] предлагается подход к оценке эффективности систем военной связи, где в качестве обобщенного показателя эффективности принимается вероятность своевременной и достоверной передачи сообщений. При этом для оценки комплексного воздействия противника на систему связи применяется понижающий коэффициент, учитывающий снижение показателя ее устойчивости за счет огневого поражения и постановки помех, однако в методике не нашли своего отражения вопросы оценки других, не менее существенных, показателей эффективности систем военной связи – доступности и мобильности. Данные факторы объективно требуют своего учета, поскольку оказывают существенное влияние именно на систему связи ТЗУ.

Автором работы [4] в качестве основного показателя эффективности системы связи выбрана пропускная способность, а дополнительного – ее устойчивость. Учтены отличия теоретически достижимой пропускной способности от реальной, однако данный аспект исследован только для отдельных информационных направлений и только в виде зависимости технической скорости передачи информации от показателей устойчивости линий связи, что и позволило автору ввести понятие реальной пропускной способности. Для комплексной оценки эффективности системы военной связи предлагается использовать параметр, характеризующий ее устойчивость ко всей совокупности мешающих и поражающих воздействий, который определяется вероятностными показателями живучести, мобильности, помехо- и разведывательной защищенности, автономности, надежности, электромагнитной совместимости, безопасности, управляемости. При этом доступность выведена в разряд ограничений и вообще никак не оценена.

В исследовании [2] оценивалась эффективность полевой опорной сети связи оперативного объединения. В качестве основного показателя выбрана доступность, а остальные показатели проранжированы в целях обоснования и выбора наиболее существенных. Требование доступности рассматривалось только применительно к структуре системы связи оперативного звена управления (ОЗУ) и привязке к ней пунктов управления (ПУ) объединения. Доступность подвижных пользователей (мобильных абонентов), находящихся в произвольной точке полосы ответственности или вне ПУ, никак не учитывалась и потому осталась не исследованной. Кроме того, не определена взаимосвязь показателя доступности системы связи с другими частными показателями, в первую очередь с устойчивостью.

Автором [5] предложена методика оценки эффективности системы связи ТЗУ по основному показателю, учитывающему ее целевое предназначение, – пропускной способности. Основываясь на зарубежных исследованиях и применяя их результаты к перспективам развития отечественной теории и практики военной связи, автор определил несколько новых по тому времени понятий, косвенно отражающих свойство доступности с помощью ряда коэффициентов, учитывающих плотность радиопокрытия полосы (зоны) ответственности и возможность привязки узлов связи (УС) ПУ и элементов боевого порядка к одной, двум и более станциям радиодоступа (СРД) в целях резервирования каналов для выхода мобильных пользователей в опорную сеть связи. Подобный подход не отражает в полной мере всех сторон свойства доступности и не принимает во внимание его взаимосвязь с другими свойствами системы связи. Кроме того, при оценке эффективности радиопокрытия территории не учитываются реальные возможности используемой абонентами оконечной аппаратуры и ее соответствие требованиям достоверности и своевременности передачи заданных объемов информации. Как следствие, реальные зоны радиопокрытия территории в отношении связи существенно отличаются от прогнозируемых.

В [3] обоснованы требования к системе связи объединенной группировки войск (объединения) в локальных войнах и вооруженных конфликтах по показателям боевой готовности, мобильности, устойчивости, разведзащищенности, пропускной способности, доступности. Проведены обоснования, расчеты, оценены качественные и количественные характеристики указанных требований. При этом доступность рассматривается применительно к ОЗУ, характеризуется возможностью доступа к информационно-канальному ресурсу системы связи отдельного объекта системы управления и оценивается коэффициентами доступности УС ПУ. Однако подобный подход неприемлем для ТЗУ, в котором необходимо обеспечить не только и не столько объектовую, сколько пространственную (площадную) доступность, характеризующую возможность для подвижных пользователей получить доступ к ресурсу системы связи практически в любой точке территории боевых действий (полосы ответственности).

Кроме того, во всех перечисленных работах оценка эффективности системы связи производится на основе характеристик ее свойств. Поскольку свойства системы связи чрезвычайно разнородны, противоречивы относительно изменений ее параметров и внешних условий функционирования, для расчета каждого из них требуется построение соответствующих моделей. Вследствие этого не принесли успеха попытки введения для системы связи интегрального показателя путем свертки показателей различных свойств и использования весовых коэффициентов [1, 3, 5]. Вместе с тем считается, что комплексная всесторонняя и объективная оценка эффективности системы связи может быть осуществлена с помощью системы показателей. Поэтому в существующих подходах оценки эффективности системы связи и ее элементов присутствует своя система показателей, включающая, как правило, главный и дополнительные показатели [2, 4, 5].

В то же время в условиях возрастающих информационных потребностей системы управления и ряда других факторов, влияющих на систему связи, значимость отдельных свойств системы связи существенно изменилась, при этом сами свойства заметно трансформировались. Следовательно, возникает необходимость в обосновании группы наиболее существенных для системы связи свойств, учет которых на этапе планирования позволит ей в прогнозируемых условиях эффективно функционировать и выполнять свое целевое предназначение. По этой причине оценку эффективности системы связи следует проводить комплексно на основе обобщенного показателя, который объединял (включал) бы ряд частных показателей ее наиболее существенных структурных и функциональных свойств. Определяя современные взгляды на тактику и оперативное искусство, большинство военных ученых из всех свойств системы связи на первый план выдвигают пропускную способность, устойчивость, доступность, разведзащищенность, мобильность [1–5]. Ранжирование этих свойств по их важности и необходимой степени проявления в системе связи (удельный вес) определяется конкретными целями ее развертывания и условиями функционирования. При этом показатель пропускной способности является ведущим, поскольку именно он отражает основное целевое предназначение системы связи.

Таким образом, проведенный анализ ряда научных работ выявил противоречие в теории, заключающееся в расхождении в оценках прогнозируемой и реальной эффективности по основным показателям существующей системы связи и невозможности обеспечения требуемого уровня ее пропускной способности, устойчивости и доступности в условиях воздействующих факторов. Принятая в большинстве научных исследований методология анализа и синтеза системы связи ТЗУ, хотя и вскрывает, но кардинальным образом не решает вопросов несоответствия ее возможностей потребностям системы управления по объему циркулирующей в ней информации, а также доступности ее получения для пользователей в виде, востребованном ими для своевременной и качественной обработки. Разрешение указанного противоречия возможно путем совершенствования методических подходов к исследованию системы связи ТЗУ и оценке ее эффективности, особенно в плане обоснования используемых показателей и их соответствия решаемым задачам.

Предлагается усовершенствованная методика оценки эффективности системы связи тактического уровня. Новизна методики заключается в получении оценки системы связи по совокупности ее наиболее существенных свойств – пропускной способности и доступности с учетом устойчивости. Для комплексной оценки эффективности системы связи вводится обобщенный показатель $K_{СС}$, численные значения которого определяются по наименьшему из частных показателей по пропускной способности $K_{\text{дост. ПС}}$ и пространственной доступности $K_{\text{дост. пр.}}$:

$$K_{СС} = \min\{K_{\text{дост. ПС}}; K_{\text{дост. пр.}}\}. \quad (1)$$

Как известно, необходимая оперативность, непрерывность и устойчивость управления в динамике боевых действий возможны при обеспечении должностным лицам органов управления получения доступа к ресурсам системы связи при нахождении на пунктах управления различных звеньев и вне их. Следовательно, система связи ТЗУ должна реализовывать доступность использования своих ресурсов (каналов и трактов связи) для должностных лиц независимо от места их нахождения, сохраняя установленные приоритеты и способы установления связи, чем и объясняется наличие показателя пространственной доступности в выражении (1) при определении обобщенного показателя системы связи.

Поскольку полоса боевых действий требует сплошного покрытия в отношении связи, показатель пространственной доступности должен отражать принцип «площадной» направленности системы связи. Для определения значений пространственной доступности вводится показатель, отражающий площадь, с которой пользователь (абонент) сети способен получить доступ не менее чем к l ее элементам:

$$K_{\text{дост. пр.}} = \frac{S_l}{S_{\text{общ}}} \quad \text{при } l = l_{\text{min}}, \quad (2)$$

где S_l – площадь зоны радиодоступа от l элементов системы связи;

$S_{\text{общ}}$ – общая площадь полосы ответственности соединения [6].

Порядок определения показателя пространственной доступности $K_{\text{дост. пр.}}$ изложен в [8]. Предлагается использовать новые технологии – геоинформационные системы и цифровые карты местности, которые в сочетании с возможностями современной вычислительной техники позволяют оперативно моделировать на местности различные структуры сети радиодоступа, оценивать их топологические варианты по показателю пространственной доступности, т. е. покрытию заданной территории в отношении связи, добиваясь выполнения установленных требований. Для прогнозируемых условий из множества возможных структур в результате может быть выбрана рациональная для последующей практической реализации.

При этом под доступностью системы связи следует понимать не только ее потенциальную возможность обеспечить предоставление своего канального ресурса должностным лицам в любой точке полосы боевых действий, а еще и способность это осуществить с учетом конечной устойчивости всех элементов системы связи, и в первую очередь – сети доступа. Поэтому выбранный показатель (2) отражает не только пространственную доступность, но и структурно-функциональную устойчивость элементов системы связи, обеспечивающих доступ и прохождение информации. Для определения минимально необходимого числа l_{min} элементов системы связи, к которым пользователю должен быть предоставлен доступ, необходимо задать требуемое значение вероятности доступа пользователей к ресурсу сети связи $P_{\text{треб}}^{\text{д}}$ и рассчитать с учетом определенных оперативно-тактических факторов вероятность своевременного доступа пользователей к ресурсу сети связи $P^{\text{д}}$.

$$I_{\min} = \log_{(1-P^{\text{д}})} [1 - P_{\text{троб}}^{\text{д}}]. \quad (3)$$

Требования к вероятности доступа пользователей к ресурсу сети связи ТЗУ определяются выражением $P_{\text{троб}}^{\text{д}} \geq 0,8$ [3]. Порядок расчета вероятности обеспечения своевременного доступа пользователей к ресурсу сети связи $P^{\text{д}}$ представлен в [7]. На вероятность обеспечения доступа пользователей к ресурсу сети связи оказывает влияние свойство живучести элементов сети, предоставляющих доступ, и свойство надежности, характеризующее технико-эксплуатационную надежность средств, составляющих маршрут доступа. Выход из строя отдельных элементов сети доступа и соединяющих их линий связи вызывает структурно-топологические изменения системы связи вплоть до нарушения ее связности, приводящие к прекращению функционирования целого ряда информационных направлений. Не менее важное значение при функционировании элемента сети доступа имеет его способность обеспечивать передачу заданных потоков информации в условиях воздействия помех всех видов, т. е. обладать необходимой помехоустойчивостью линий связи, по которым осуществляется доступ.

Для определения показателя пропускной способности системы связи ТЗУ, характеризующего ее возможности передавать потоки сообщений в единицу времени с требуемым качеством, вводится коэффициент доступности по пропускной способности в виде

$$K_{\text{дост ПС}} = \min \left\{ \frac{V_{\text{пл}}}{V_{\text{тр}}}, 1 \right\}, \quad (4)$$

где $V_{\text{пл}}$ – планируемая (реализуемая) скорость передачи информации в канале связи;

$V_{\text{тр}}$ – требуемая скорость передачи информации в канале связи.

Порядок оценки показателя пропускной способности приведен в [9]. Предложенная методика оценки пропускной способности системы связи ТЗУ, в отличие от известных, позволяет проводить оценку цифровой системы связи, учитывает вероятность потерь по вызовам в зонах перекрытия, различные виды кодеков и маршрутизаторов, а также различие пользователей по предоставляемым им видам связи, что в совокупности повышает точность выполненной оценки.

Таким образом, предлагается усовершенствованная методика оценки эффективности системы связи ТЗУ, учитывающая ее структуру и топологию, которая отличается от известных тем, что использует обобщенный показатель и связывает его с другими показателями эффективности – пропускной способностью и пространственной доступностью с учетом устойчивости, что позволяет полнее и разносторонне оценить систему связи, принимая во внимание влияющие на нее разнородные факторы.

Выводы:

1. Сложный характер процессов управления войсками и создаваемой для этого системы связи вызывает необходимость применения системного подхода к их изучению и анализу, комплексного использования разнообразных методов. Общая методология исследования таких систем основана на сочетании методов индукции (рассмотрение от простого к сложному или от частного к общему) и дедукции (декомпозиции, т. е. переход от общего к частному, от сложного к простому). В рамках системного подхода любая управляемая система должна рассматриваться как составная часть (элемент) системы более высокого порядка. С учетом предъявляемых системой управления требований результатом оценки эффективности системы связи ТЗУ должна являться обобщенная характеристика (показатель), отражающая ее наиболее существенные структурные и функциональные свойства.

2. Выбор главного показателя должен исходить прежде всего из основного предназначения системы. Поскольку основное предназначение системы связи заключается в передаче необходимых потоков информации, главным показателем эффективности выступает показатель пропускной способности. Он позволяет оценить степень влияния системы связи на эффективность системы управления и тем самым определить зависимость качества управления от состояния системы связи. Дополнительными показателями при оценке эффективности могут быть показатели других свойств системы связи ТЗУ, которые наиболее характерны для данного вида боя, условий его проведения и которые не учтены при расчете главного показателя. Подобными показателями могут выступать устойчивость, мобильность, доступность, управляемость системы связи.

3. Выбор показателей эффективности осуществляется с учетом предназначения структурных элементов системы связи ТЗУ и особенностей их функционирования. При этом сама система показателей может быть различна по количеству включенных в нее показателей отдельных свойств, однако основной (главный) показатель должен присутствовать всегда.

Список литературы

1. Боговик, А. В. Эффективность систем военной связи и методика ее оценки / А. В. Боговик, В. В. Игнатов. – СПб.: ВАС, 2006. – 184 с.
2. Голубцов, С. Г. Методика оценки эффективности функционирования полевой опорной сети связи объединения по комплексному показателю доступности / С. Г. Голубцов, Г. А. Леонович // Наука и воен. безопасность. – 2009. – № 3. – С. 23–29.
3. Ермишян, А. Г. Теоретические и научно-практические основы построения систем связи в локальных войнах и вооруженных конфликтах / А. Г. Ермишян, Г. В. Сызранцев, В. В. Дыков / под ред. А. Г. Ермишяна. – СПб.: ВАС, 2006. – 220 с.
4. Исаков, Е. Е. Устойчивость военной связи в условиях информационного противоборства / Е. Е. Исаков. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 400 с.
5. Леонович, Г. А. Методика расчета зоны покрытия станции радиодоступа подвижных абонентов связи тактического звена управления / Г. А. Леонович, В. М. Калинин // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2004. – № 4 (5). – С. 56–61.
6. Калинин, В. М. Обеспечение доступности системы связи для подвижных пользователей в тактическом звене управления / В. М. Калинин, М. В. Пылинский // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2010. – № 1 (26). – С. 4–10.
7. Пылинский, М. В. Методика оценки доступности системы связи для подвижных пользователей в тактическом звене управления / М. В. Пылинский, Д. М. Леонов // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2010. – № 4 (29). – С. 52–60.
8. Пылинский, М. В. Методика автоматизированного расчета показателя доступности системы связи тактического звена управления / М. В. Пылинский // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2011. – № 1 (30). – С. 39–47.
9. Пылинский, М. В. Обоснование требуемой пропускной способности, предъявляемой к узлу доступа системы связи / М. В. Пылинский, П. С. Чернявский, Д. М. Леонов // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2012. – № 4 (37). – С. 114–118.

Сведения об авторах:
 Пылинский Максим Валерьевич,
 Калинин Владимир Митрофанович,
 УО «Военная академия Республики Беларусь».
 Статья поступила в редакцию 03.02.2017 г.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ВОЕННОМ ДЕЛЕ

УДК 621.396.96

СПОСОБ РАСЧЕТА КООРДИНАТ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ И ОЦЕНКА ТРЕБУЕМОЙ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛА МЕСТА В НАЗЕМНОМ УГЛОМЕРНО- РАЗНОСТНО-ДАЛЬНОМЕРНОМ КОМПЛЕКСЕ МЕСТООПРЕДЕЛЕНИЯ

В. В. Волощук;

Л. Л. Чайковский, кандидат технических наук, доцент*

В аналитической форме получены выражения, позволяющие в явном виде установить прямую функциональную связь между пространственными координатами источника радиоизлучения (ИРИ) и измеряемыми параметрами сигнала при использовании трехбазового (четырёхпозиционного) угломерно-разностно-дальномерного комплекса радиотехнической разведки (РТР) с измерением угла места на центральном приемном пункте (ЦПП) и произвольным размещением приемных пунктов на местности. На основе оценки размеров рабочей зоны при фиксированных значениях ошибки измерения разностей времени приема сигналов определены требования к точности измерения угла места ИРИ.

The expressions allowing in an explicit form to establish direct functional connection between space coordinates of the radio emission source (RES) and measured parameters of a signal when using three-base (four position) versatile range finding electronic intelligence (ELINT) system with measurement of an angle of a place on the central position and any placing of receiving centers on terrain were received in the analytical form. On the basis of the estimation of the working zone sizes at the fixed values of an measurement error of differences of reception time of signals requirements to measurement accuracy of the angle of RES place are defined.

Для определения пространственного положения воздушных объектов (ВО) наземный разностно-дальномерный (РДМ) комплекс РТР должен включать не менее четырех приемных пунктов. При этом трехбазовая разностно-дальномерная система местоопределения минимального состава обладает двумя объективными недостатками: неоднозначностью местоопределения и большими ошибками измерения высоты при наблюдении ВО на малых углах [1, 5, 10, 11].

Первый недостаток обусловлен нелинейной (квадратичной) связью между значениями разностей времени приема сигналов и искомыми координатами ИРИ и, как следствие, наличием двух решений. Данный недостаток может быть преодолен за счет введения избыточного канала измерения, позволяющего производить однозначный выбор в пользу одного варианта решения [8].

Причиной второго недостатка является малая эффективная база по высоте, определяемая углом наблюдения базы комплекса в соответствующей плоскости из точки размещения объекта [10].

Оба рассмотренных фактора значительным образом сказываются на размерах рабочей зоны комплекса РТР ВО, что определяет актуальность задачи анализа путей устранения (снижения) их негативного действия. В частности, увеличение эффективной базы по высоте может быть обеспечено размещением одного из приемных пунктов на летно-подъемном средстве. При реализации данного подхода следует учитывать существенное усложнение условий эксплуатации комплекса РТР, а также ожидаемое увеличение ошибок его топопривязки.

В качестве альтернативы может быть использован подход, связанный с введением канала измерения угла места на одном из приемных пунктов РДМ комплекса, например центральном (далее – УРДМ комплекс), благодаря которому устраняется неоднозначность определения координат ВО.

За оценку координат ИРИ $\vec{\alpha} = \|x \ y \ h\|$ в УРДМ комплексе принимается точка пересечения четырех поверхностей положения второго рода – трех гиперboloидов вращения и конуса.

Система уравнений связи между измеряемыми параметрами, координатами приемных пунктов и искомыми координатами ИРИ (позиционных уравнений) в УРДМ комплексе местоопределения имеет вид

$$\left\{ \begin{array}{l} c \Delta\tau_1 = \sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 + (h-h_1)^2} - \sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (h-h_0)^2}; \\ c \Delta\tau_2 = \sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 + (h-h_2)^2} - \sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (h-h_0)^2}; \\ c \Delta\tau_3 = \sqrt{(x-x_3)^2 + (y-y_3)^2 + (h-h_3)^2} - \sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (h-h_0)^2}; \\ \sin(\gamma) = \frac{h-h_0}{\sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (h-h_0)^2}}, \end{array} \right. \quad (1)$$

где c – скорость света в среде распространения;

$\Delta\tau_i$ – разность времени приема сигнала между i -м и опорным (нулевым) приемными постами ($i = 1 \dots 3$);

x, y, h – координаты ИРИ;

x_i, y_i, h_i – координаты приемных постов ($i = 0 \dots 3$);

γ – угол места ИРИ относительно опорного (нулевого) приемного поста.

После преобразований, аналогичных (4) и (5), описанных в [5], система (1) может быть представлена следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} A_1^2 = (C_1 D_0)^2; \\ A_2^2 = (C_2 D_0)^2; \\ A_3^2 = (C_3 D_0)^2; \\ D_0 = \frac{h-h_0}{\sin(\gamma)}, \end{array} \right. \quad (2)$$

где $A_1 = x(x_0 - x_1) + y(y_0 - y_1) + h(h_0 - h_1) + k_1$;

$A_2 = x(x_0 - x_2) + y(y_0 - y_2) + h(h_0 - h_2) + k_2$;

$A_3 = x(x_0 - x_3) + y(y_0 - y_3) + h(h_0 - h_3) + k_3$;

$k_1 = \frac{1}{2} [(x_1^2 + y_1^2 + h_1^2) - (x_0^2 + y_0^2 + h_0^2) - C_1^2]$;

$k_2 = \frac{1}{2} [(x_2^2 + y_2^2 + h_2^2) - (x_0^2 + y_0^2 + h_0^2) - C_2^2]$;

$k_3 = \frac{1}{2} [(x_3^2 + y_3^2 + h_3^2) - (x_0^2 + y_0^2 + h_0^2) - C_3^2]$;

$C_i = c \Delta\tau_i, \quad i \in 1 \dots 3$;

$D_0^2 = (x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (h-h_0)^2$.

Решение каждого из первых трех уравнений системы (2) предполагает наличие двух

результатов, отличающихся знаками. Однако, как показывает анализ, применительно к рассматриваемой трехбазовой системе местоопределения (для всех восьми возможных вариантов соотношения знаков трех разностей времени приема сигналов $\Delta\tau_i$) знак переменной A_i совпадает со знаком переменной C_i . Это позволяет перейти к линейной системе уравнений вида

$$\begin{cases} A_1 = C_1 D_0; \\ A_2 = C_2 D_0; \\ A_3 = C_3 D_0; \\ D_0 = \frac{h - h_0}{\sin(\gamma)}. \end{cases}$$

После подстановки переменных и приведения подобных получим

$$\begin{cases} a_{11} x + a_{12} y + a_{13} h = b_1; \\ a_{21} x + a_{22} y + a_{23} h = b_2; \\ a_{31} x + a_{32} y + a_{33} h = b_3, \end{cases} \quad (3)$$

где $a_{i1} = (x_0 - x_i)$;

$a_{i2} = (y_0 - y_i)$;

$a_{i3} = (h_0 - h_i) - \frac{c \Delta\tau_i}{\sin(\gamma)}$;

$b_i = -\left(k_i + \frac{c \Delta\tau_i}{\sin(\gamma)} h_0\right)$;

$i \in 1...3$.

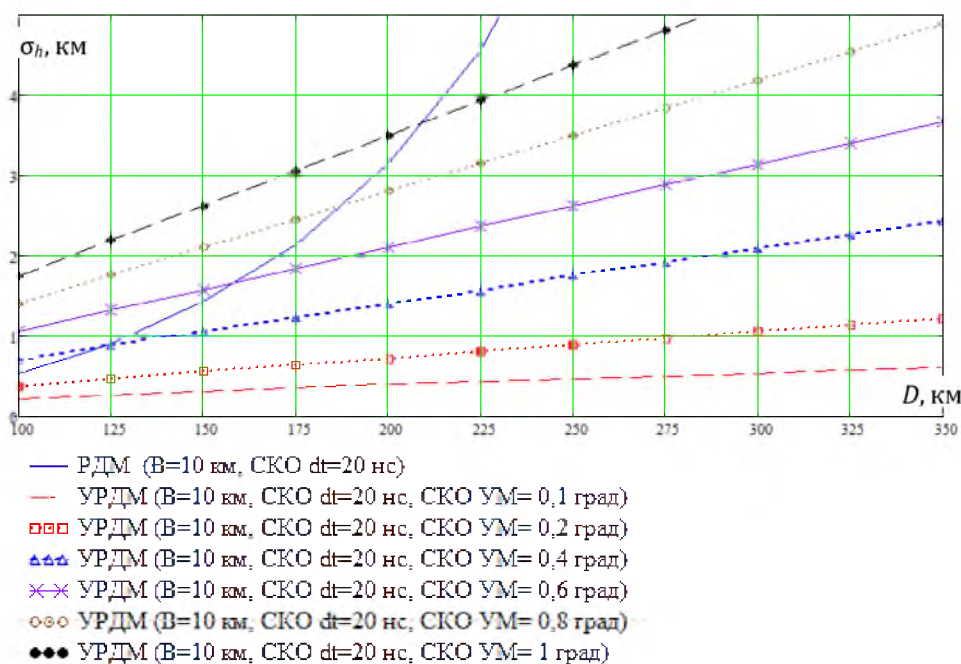
В соответствии с [3] решение системы уравнений (3) определяется по формулам Крамера:

$$x = \frac{\Delta_x}{\Delta}; y = \frac{\Delta_y}{\Delta}; h = \frac{\Delta_h}{\Delta}, \quad (4)$$

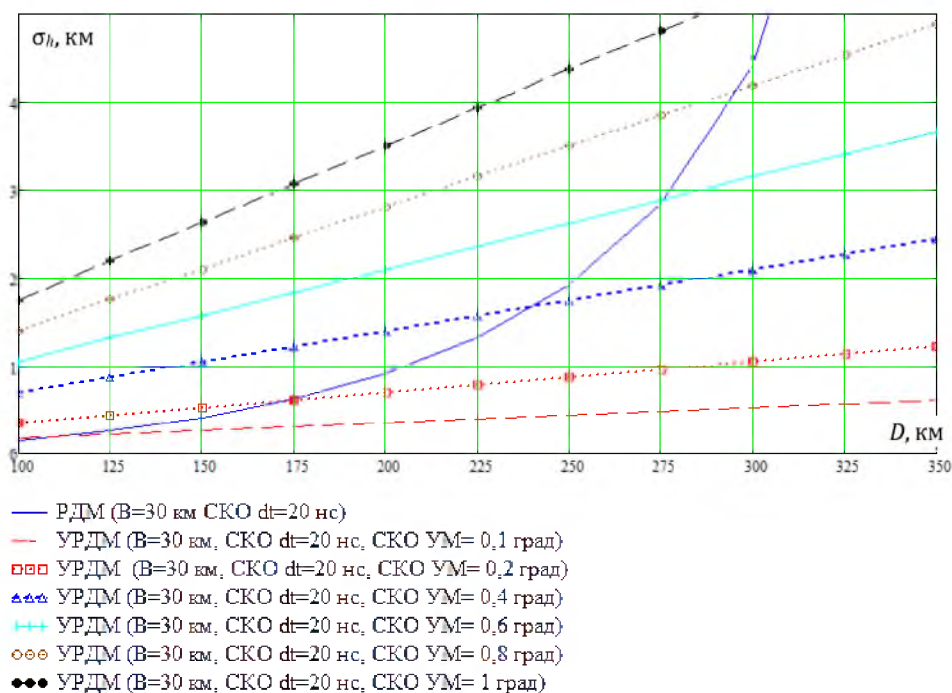
$$\text{где } \Delta = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}; \Delta_x = \begin{vmatrix} b_1 & a_{12} & a_{13} \\ b_2 & a_{22} & a_{23} \\ b_3 & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}; \Delta_y = \begin{vmatrix} a_{11} & b_1 & a_{13} \\ a_{21} & b_2 & a_{23} \\ a_{31} & b_3 & a_{33} \end{vmatrix}; \Delta_h = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & b_1 \\ a_{21} & a_{22} & b_2 \\ a_{31} & a_{32} & b_3 \end{vmatrix}.$$

Полученное решение (4) в явном виде устанавливает прямую функциональную связь между искомыми координатами ВО и измеряемыми параметрами поверхностей положения, что позволяет, в частности, на основе метода линеаризации оценить точность измерения координат в зависимости от ошибок измерения первичных параметров и геометрии размещения комплекса, рассчитать и построить рабочую зону как интегральную характеристику системы местоопределения без проведения имитационного моделирования [4, 6, 8, 10], а также оценить требуемую точность измерения первичных параметров для обеспечения заданных размеров рабочей зоны.

Для оценки эффекта повышения точности измерения высоты ВО за счет введения угломерного канала были построены график зависимости среднеквадратической ошибки (СКО) измерения высоты от дальности для РДМ комплекса и семейство графиков для УРДМ комплекса при различных значениях СКО измерения угла места и размерах баз (рисунок 1, а и б).



а



б

Рисунок 1. – Зависимости СКО измерения высоты от дальности РДМ и УРДМ комплексов

Условия проведения расчетов:

высота полета ВО – 10 км, азимут относительно ЦП – 0 град;

топология комплекса – трехлучевая «звезда» с базой (В) 10 и 30 км (азимут от ЦПП на периферийные ПП составляет 0, 120, 240 град).

Среднеквадратическая ошибка измерения разности времени приема сигналов ($\sigma_{\Delta t} = 20$ нс) задавалась по результатам натурных испытаний трехбазового РДМ комплекса в рамках НИР «Разрежение-УВЧ» [7].

Анализ результатов, представленных на рисунке 1, позволяет сделать вывод, что положительный эффект при введении угломерного канала достигается для комплекса с базой 10 км на дальности более 125 км при обеспечении СКО измерения угла не более 0,4 град, а для комплекса с базой 30 км – на дальности более 175 км при обеспечении СКО измерения

угла не более 0,2 град, что в целом согласуется с результатами, указанными в [10].

Для оценки возможностей достижения требуемой точности измерения угла места в типовых условиях проведены расчеты потенциальных ошибок в случаях приема сигналов от бортового ответчика системы IFF/SIF типа AN/APX-119 и многофункциональной БРЛС самолета F-16 типа AN/APG-68.

На рисунке 2 показаны зависимости отношения сигнал/шум на выходе линейной части приемника от дальности до ИРИ для обоих случаев.

При получении оценок мощности сигнала на входе приемника учет множителя Земли не производился, так как его влиянием в сантиметровом диапазоне ввиду неровностей земной поверхности можно пренебречь, а в дециметровом диапазоне значение множителя Земли в зависимости от углового положения ИРИ, высоты подъема антенны изменяется в пределах от 0 до 2, следовательно, уровень сигнала может быть как существенно ниже, так и выше полученных оценок в два раза [12].

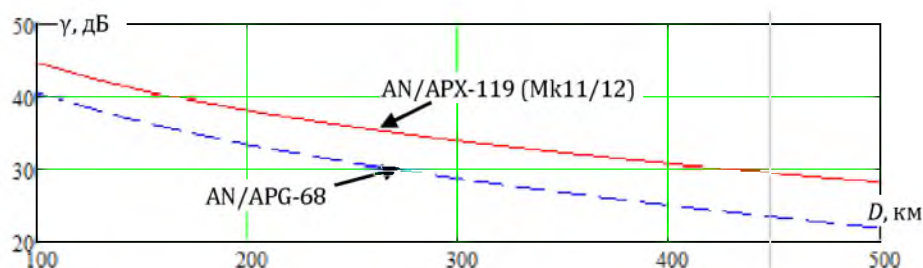


Рисунок 2. –Зависимости отношения сигнал/шум от дальности до ИРИ в условиях прямой видимости

Условия расчетов:

1. Тип ИРИ:

Бортовой ответчик системы Mk11/12 типа AN/APX-119:

$$P_{\text{изл}} = 125 \text{ Вт}; G_{\text{изл}} = 7 \text{ дБ}; \lambda = 0,275 \text{ м}; \alpha_{0,275 \text{ м}} = 6,5 \cdot 10^{-3} \text{ дБ/км};$$

Многофункциональная РЛС типа AN/APG-68: $P_{\text{изл}} = 10 \text{ кВт}$; $G_{\text{изл}} = 6 \text{ дБ}$ (с учетом приема сигнала по боковым лепесткам ДНА с уровнем – 30 дБ); $\lambda = 0,03 \text{ м}$; $\alpha_{0,03 \text{ м}} = 0,012 \text{ дБ/км}$.

2. Параметры приемной части: $K_{\text{ш}} = 4 \text{ дБ}$; $G_{\text{пр}} = 21 \text{ дБ}$; $\Delta F = 20 \text{ МГц}$.

Точность измерения углового положения ИРИ определяется соотношением геометрического размера антенной системы и длины волны принимаемого излучения, а также достигаемым отношением сигнал/шум [9]:

$$\sigma_{\varepsilon} = \frac{(\Delta_{\varepsilon})^2}{4\pi\gamma},$$

где $\Delta_{\varepsilon} = \frac{\lambda}{L}$ – разрешающая способность по углу, рад;

λ – длина волны, м;

L – размер апертуры антенны, м;

$$\gamma = \frac{P_{\text{изл}} G_{\text{изл}} G_{\text{пр}} \lambda^2 10^{-\alpha \frac{D}{10}}}{(4\pi D)^2 k K_{\text{ш}} T_{\text{с}} \Delta F} \text{ – отношение сигнал/шум на выходе линейной части приемника;}$$

α – коэффициент удельного поглощения электромагнитной энергии в атмосфере, дБ/км;

D – расстояние между ИРИ и приемным пунктом комплекса РТР, м;

$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ – постоянная Больцмана, Дж/град;

$K_{ш}$ – коэффициент шума приемника;

$T_э$ – эквивалентная шумовая температура, К;

ΔF – ширина полосы пропускания РПрУ, Гц.

На рисунке 3 отображены зависимости достигаемой СКО измерения угла места при использовании антенны, апертура которой составляет утроенное значение длины волны сигнала (геометрические размеры не превышают 1 м).

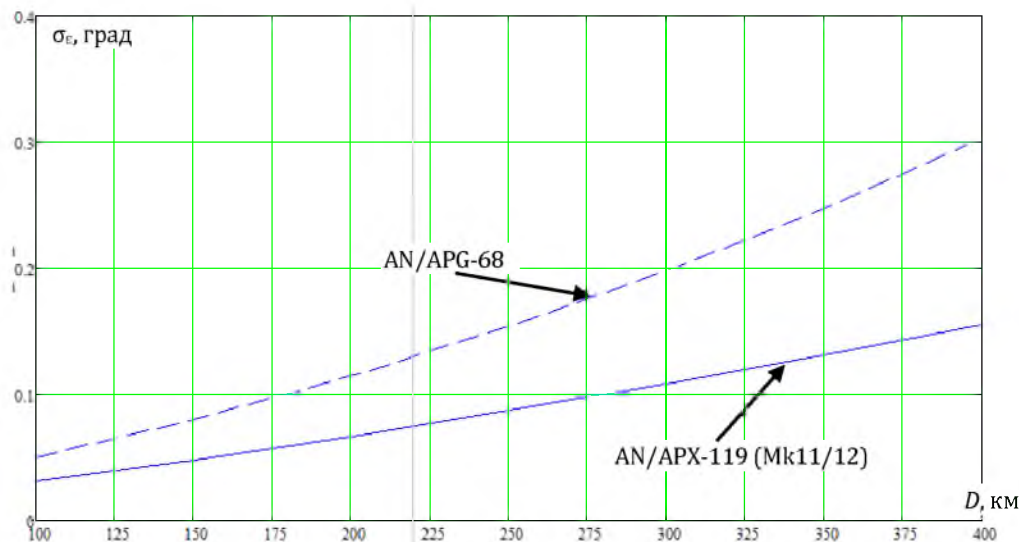


Рисунок 3. – Зависимость достигаемой СКО измерения угла места от дальности до ИРИ

Сравнительная оценка точности измерения высоты ИРИ (ВО) в трехбазовом РДМ и УРДМ комплексах показывает, что ее требуемое значение – точность измерения высоты (не более 1 км согласно [2]) применительно к РДМ комплексу с базой 30 км и СКО измерения разностей времени приема сигнала $\sigma_{\Delta\tau} = 20$ нс – может быть достигнута на дальностях до 200 км, в то же время при использовании УРДМ комплекса – до 280 км для ИРИ типа AN/APG-68, до 350 км для ИРИ типа AN/APX-119 см. рисунки 1 б и 3. Эффект повышения точности измерения высоты при использовании канала измерения угла места проявляется в большей степени при уменьшении размера базы РДМ комплекса, что является следствием влияния на точность местоопределения геометрического фактора.

Выводы

Полученное аналитическое решение системы позиционных уравнений применительно к трехбазовому УРДМ комплексу РТР позволяет в явном виде установить функциональную связь между координатами ИРИ и измеряемыми параметрами сигнала, построить рабочую зону комплекса, а также произвести оценку требований к ошибкам измерения первичных параметров без имитационного моделирования.

Введение дополнительного канала измерения угла места в наземном трехбазовом РДМ комплексе местоопределения объективно позволяет устранить имеющую место неоднозначность решения системы позиционных уравнений [5, 12], а также повысить точность измерения высоты ИРИ.

При обеспечении СКО измерения угла места, не превышающей 0,2 град, значение дальней границы рабочей зоны в УРДМ комплексе может быть увеличено более чем на 35 % по сравнению с трехбазовым РДМ комплексом ($B = 30$ км, $\sigma_{\Delta\tau} = 20$ нс).

Список литературы

1. Wide Area Multilateration. National Aerospace Laboratory NLR-CR-2004-472. Report on EATMP TRS 131/04. 2005. – 94 p.

2. Ботов, М. И. Теоретические основы радиолокационных систем РТВ: учеб. Пособие / М. И. Ботов, В. А. Вяхирев. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2007. – 346 с.
3. Бронштейн, И. Н. Справочник по математике / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – М.: Наука, 1967. – 608 с.
4. Вентцель, Е. С. Теория вероятности: учеб. для вузов / Е. С. Вентцель. – 7-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2001. – 575 с.
5. Волощик, В. В. Способ аналитического расчета координат источников радиоизлучения в трехбазовом разностно-дальномерном комплексе радиотехнической разведки / В. В. Волощик // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – № 1. – 2012. – С. 100–108.
6. Кондратьев, В. С. Многопозиционные радиотехнические системы / В. С. Кондратьев, А. Ф. Котов, Л. Н. Марков; под ред. В. В. Цветнова. – М.: Радио и связь, 1986. – 264 с.
7. Разработка тактико-технических требований к аппаратно-программным средствам радиоконтроля и местоопределения воздушных объектов по сигналам систем опознавания УВЧ диапазона: отчет о НИР (шифр «Разрежение-УВЧ») / ОАО «КБ Радар»; рук. С. М. Костромицкий. – Минск, 2011. – 276 с.
8. Разработка требований к облику комплексов радиомониторинга современных и перспективных средств связи и радиотехнического обеспечения иностранных государств. Исследование способов радиоподавления линий связи с программной перестройкой рабочей частоты: отчет о НИР (шифр «Саммит») / Воен. акад. Респ. Беларусь; рук. И. М. Косачев. – Минск, 2010. – 286 с.
9. Охрименко, А. Е. Основы обработки и передачи информации: учеб. для высш. училищ ПВО / А. Е. Охрименко. – Минск: МВИЗРУ ПВО, 1990. – 181 с.
10. Черняк, В. С. Многопозиционная радиолокация / В. С. Черняк. – М.: Радио и связь, 1993. – 416 с.
11. Сетевые спутниковые радионавигационные системы / В. С. Шебшаевич [и др.]; под ред. В. С. Шебшаевича. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1993. – 408 с.
12. Ширман, Я. Д. Радиозлектронные системы. Основы построения и теория: справ. / Я. Д. Ширман. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радиотехника, 2007. – 512 с.

*Сведения об авторах:

Волощик Виктор Васильевич,

Чайковский Леонид Леонидович,

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 13.12.2016 г.

УДК 621.396.96

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ КООРДИНАТ И СОСТАВЛЯЮЩИХ СКОРОСТИ В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОМ СПУТНИКОВОМ НАВИГАЦИОННОМ ПРИЕМНИКЕ

С. Б. Калигин, кандидат технических наук, доцент;
А. В. Шарамет, кандидат технических наук, доцент*

Предложен алгоритм расчета координат объекта по результатам спутниковых псевдодальномерных измерений. Показано, что использование избыточных измеренных дальностей и радиальных скоростей позволяет определять координаты и составляющие скорости движения приемника спутниковых радионавигационных сигналов без этапа предварительных вычислений.

The algorithm of calculation of coordinates of object by results of satellite pseudodalmomerny measurements is offered. It is shown that use at the same time measured range and allows to define radial speed not only coordinates, but also making speeds of movement of the receiver of satellite radio navigation signals.

Развитие современных технических систем характеризуется расширением сферы использования средств позиционирования на базе спутниковых навигационных систем (СНС). Естественным следствием такой тенденции является, например, повышение роли и значения радионавигационных средств в беспилотных авиационных комплексах. В то же время большие капиталовложения, которые были сделаны при разработке уже существующих радионавигационных приемников, обязывают взвешенно подходить к процессу модернизации существующих образцов либо учитывать это при создании новых. При разработке новых спутниковых навигационных приемников широко применяется современная микроэлектронная элементная база, способствующая не только повышению надежности оборудования при резком снижении его массы и габаритных размеров, но и позволяющая сократить расходы на их эксплуатацию. При этом одно из актуальных направлений снижения стоимости разработки – простота реализации вычислительных алгоритмов определения координат.

Принцип работы спутниковых навигационных систем типа GPS/ГЛОНАСС основан на определении расстояний от навигационных искусственных спутников Земли (ИСЗ) до приемника их сигналов по измерениям времени распространения сигналов от ИСЗ до пользователя (назовем это время транзитным временем t_i) $[0, 0]$.

Для этого GPS-приемник сравнивает время отправки сигнала со спутника, которое передается в самом сигнале, со временем его получения на Земле. Использование атомных часов на борту спутников позволяет определять время передачи сигнала со спутника с большой точностью. Часы всех спутников синхронизированы не только совместно, но и с универсальным временем UTC [2].

Часы пользователя не синхронизированы с UTC. Шкала времени приемника (потребителя) формируется с помощью кварцевых стандартов частоты, поэтому наблюдается постоянный «уход» шкалы времени приемника относительно шкалы времени СНС на какую-то величину $\Delta\tau$. Результирующая ошибка времени $\Delta\tau$ является причиной погрешности измерения транзитного времени сигнала t_i и, соответственно, расстояния s_i :

$$\tilde{t}_i = t_i + \Delta\tau \Rightarrow \tilde{s}_i = c(t_i + \Delta\tau) = s_i + \sigma, \quad (1)$$

где \tilde{t}_i – измеренное транзитное время (разность между моментом приема сигнала, отсчитанным по шкале времени приемника, и моментом излучения его i -м навигационным ИСЗ, отсчитанным по шкале спутника);

\tilde{s}_i – измеренное расстояние от приемника до i -го навигационного ИСЗ;

σ – ошибка измерения дальности.

Измеренные дальности \tilde{s}_i «приемник – ИСЗ» называют псевдодальностями, а синтез алгоритмов оценки истинных дальностей s_i является одной из актуальнейших задач [3, 4].

Рассмотрим векторно-алгебраическое представление задачи определения координат приемника спутниковых сигналов. Пусть пользователю, расположенному у поверхности Земли, доступны сигналы от $n = \overline{1, N}$ навигационных спутников, находящихся в произвольных точках M_n своих орбит (рисунок 1).

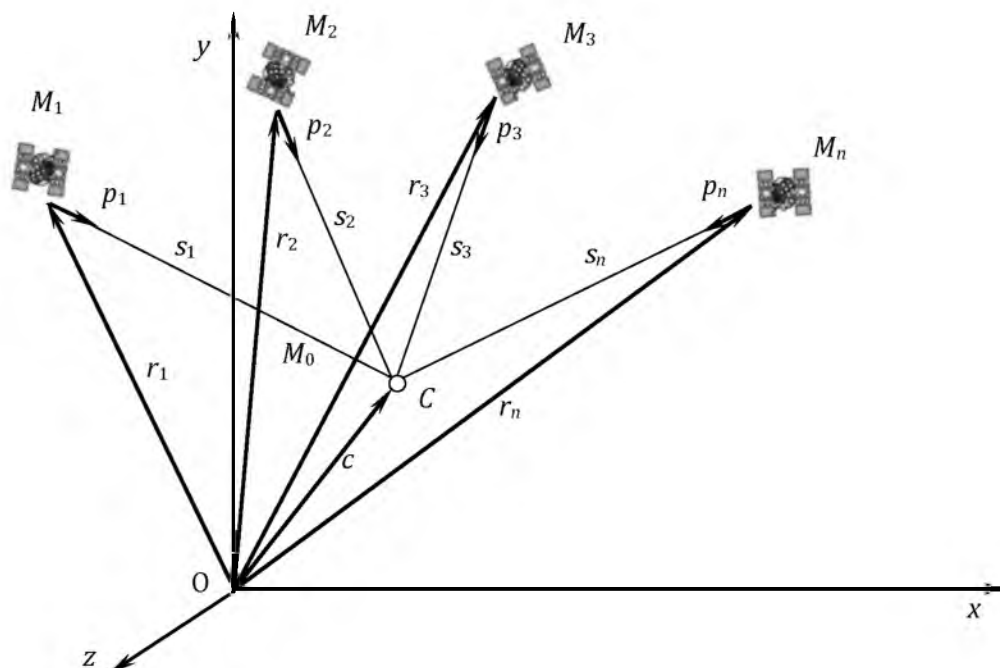


Рисунок 1. – Векторное представление задачи спутниковой навигации

Координаты ИСЗ задаются в прямоугольной ортодромической системе координат линейно независимыми радиусами-векторами $r_n^T = [x_n \ y_n \ z_n]$. Местоположение приемника сигналов ИСЗ определяется радиусом-вектором $c^T = [x_c \ y_c \ z_c]$, а направления на него из точек M_n задаются единичными направляющими векторами p_n , $\|p_n\|^2 = 1$ (здесь и далее символ $\| \cdot \|$ обозначает евклидову норму вектора).

Требуется по измеренным расстояниям \tilde{s}_n найти координаты вектора $c^T = [x_c \ y_c \ z_c]$.

Взаимное положение приемника C и ИСЗ, согласно рисунку 1, описывается векторными уравнениями связи

$$r_n + s_n p_n = c, \quad n = \overline{1, N}, \quad (2)$$

которые можно свести в одно векторно-матричное уравнение

$$R + D(s)P = ec^T, \quad (3)$$

где R, P – матрицы размером $N \times 3$, составленные из строк r_n^T и p_n^T соответственно;

$D(\cdot)$ – оператор построения диагональной матрицы из вектора s ;

$s = \{s_n\}$ – вектор расстояний размерностью N ;

e – вектор размерности N , у которого все элементы равны единице.

Величина ухода шкалы времени приемника одинакова относительно шкал времени всех ИСЗ, поэтому дальности s_n известны с некоторой постоянной ошибкой σ :

$$\tilde{s} = s^T + \sigma e \Leftrightarrow s = \tilde{s}^T - \sigma e, \quad (4)$$

где $s^T = [s_1 \dots s_N]$, $\tilde{s}^T = [\tilde{s}_1 \dots \tilde{s}_N]$ – векторы истинных и измеренных дальностей «приемник – ИСЗ» соответственно.

Для удобства подстановки выражений для дальностей (4) в векторно-матричное уравнение связи (2) необходимо выполнить ряд преобразований. Исходя из физической сущности переменных s для любого числа n всегда выполняется условие $s_n > 0$. Это позволяет утверждать, что может быть сформирован вектор g с элементами, который в соответствии со свойствами оператора $D(\cdot)$ можно представить в виде

$$D(g) = D^{-1}(s) = D^{-1}(\tilde{s} - \sigma e). \quad (5)$$

Разложим правую часть (5) в ряд, ограничившись двумя первыми членами, и получим зависимость $D(g)$ от $D^{-1}(\tilde{s})$:

$$D(g) = D^{-1}(\tilde{s} - \sigma e) = D^{-1}(\tilde{s}) - D^{-2}(\tilde{s}) \sigma = D^{-1}(\tilde{s}) \left(I - D^{-1}(\tilde{s}) \sigma \right).$$

Теперь преобразуем (2) и выразим из него произведение PP^T :

$$PP^T = D(g) \left(ec^T - R \right) \left(ce^T - R^T \right) D(g). \quad (6)$$

Для упрощения дальнейших преобразований воспользуемся оператором $d(\cdot)$, формирующим вектор из главной диагонали квадратной матрицы. С учетом равенства $d(PP^T) = e$ можем записать:

$$\begin{aligned} d(PP^T) &= d \left(D(g) (ec^T - R) (ce^T - R^T) D(g) \right), \\ e &= d \left(D(g) \left(\|c\|^2 ee^T - Rce^T - ec^T R^T + RR^T \right) D(g) \right), \\ e &= D(g) d \left(\|c\|^2 ee^T - Rce^T - ec^T R^T + RR^T \right) D(g), \\ e &= D^2(g) \left(\|c\|^2 d(ee^T) - 2d(ec^T R^T) + d(RR^T) \right), \\ e &= D^2(g) \left(\|c\|^2 e - 2Rc + D(v)v \right), \end{aligned} \quad (7)$$

где $v = \{v_n\}$, $v_n = \|r_n\|$.

Подставив (5) в (7), получим

$$\|c\|^2 e - 2Rc + D(v)v = D(\tilde{s})\tilde{s} - 2\sigma\tilde{s} + \sigma^2 e. \quad (8)$$

Сделаем в равенстве (8) два допущения:

1) так как приемник спутниковых сигналов находится у поверхности Земли, то $\|c\|^2 \cong R_3$, где $R_3 = 63\,721$ км – средний радиус Земли. Данное допущение не является грубым, поскольку максимальное отличие R_3 даже от малой оси эллипсоида Ф. Н. Крассовского ($b = 63\,568,863$ км) составляет ≈ 15 км;

2) слагаемое $\sigma^2 e$ является членом второго порядка малости и им можно пренебречь.

С учетом данных допущений можем привести (8) к векторно-матричному уравнению

$$Ak = w, \quad (9)$$

где $A = R - \tilde{s}$, $k = \begin{bmatrix} c \\ \sigma \end{bmatrix}$, $w = \{w_n\}$, $w_n = \frac{1}{2}(\|r_n\|^2 - s_n^2 + R_3^2)$.

В случае минимального объема измерений ($n = \overline{1, N}$, $N = 4$) матрица A равна

$$A = \begin{bmatrix} r_1^T & -\tilde{s}_1 \\ r_2^T & -\tilde{s}_2 \\ r_3^T & -\tilde{s}_3 \\ r_4^T & -\tilde{s}_4 \end{bmatrix}.$$

Значит, $\text{rank}(A) \leq 4$.

При $\text{rank}(A) = 4$ имеем единственное решение

$$\begin{bmatrix} \hat{c} \\ \hat{\sigma} \end{bmatrix} = A^{-1}w. \quad (10)$$

Для случаев избыточных измерений ($N > 4$) решение находится по критерию минимума квадрата ошибки в виде оценки

$$\begin{bmatrix} \hat{c} \\ \hat{\sigma} \end{bmatrix} = A^T A^{-1} A^T w. \quad (11)$$

Оценка \hat{c} , полученная с помощью (10) или (11), несомненно, будет иметь погрешность, вызванную сделанными в ходе решения допущениями, и поэтому требует уточнения. Наиболее простым способом уточнения является последовательное вычисление оценок \hat{c}_i с использованием информации о предвычисленном значении $\|c_{i-1}\|^2$.

Таким образом, порядок расчета координат объекта по результатам спутниковых псевдодалномерных измерений следующий:

1) вычисление опорного вектора координат $\hat{c} = c_0$ по формуле (9) или (10) с допущением $w_n = \frac{1}{2}(\|r_n\|^2 - s_n^2 + R_3^2)$;

2) итерационное вычисление вектора координат \hat{c} по формулам (10) или (11).

Как видим, алгоритм требует лишь однократного вычисления матриц A^{-1} или $A^T A^{-1} A^T$ и их последующего умножения на вектор последовательного приближения $w = \{w_n\}$. Однако в случаях, когда условие $\|c\|^2 \cong R_3$ заведомо не выполняется, трансформация исходной задачи в систему (9) может оказаться не оправданной.

Не прибегать к принятому допущению позволяет другой способ решения задачи с псевдодалномерными измерениями. Для этого преобразуем уравнение связи (2) к виду

$$D(s)P = ec^T - R.$$

Воспользовавшись условием $\|PP^T\|^2 = e$, можем записать:

$$\begin{aligned} D(s)s &= \|R\|^2 - 2Rc + \|c\|^2 e, \\ D(s)s &= d(RR^T) - 2Rc + \|c\|^2 e. \end{aligned} \quad (12)$$

Поскольку $D(s)s = s^{(2)}$, $s^{(2)} = \{s_n^2\}$, то выражение (12) является уравнением связи вектора квадратов дальностей. Однако нам доступны измерения вектора дальностей s , а не их квадратов, поэтому с помощью операции взятия радикала вектора $(D(s)s)^{1/2} = s$ приведем (12) к уравнению связи вектора дальностей:

$$s = \left(d(RR^T) - 2Rc + \|c\|^2 e \right)^{1/2}. \quad (13)$$

Для лаконичности введем обозначение

$$s = (y(c))^{1/2},$$

где $y(c) = d(RR^T) - 2Rc + \|c\|^2 e$, $y = \{y_t\}$.

Соответственно, справедливым является равенство $D(s)s = y(c)$. Для дальнейшего решения линеаризуем нелинейное уравнение (13) в окрестности вектора c_0 с априорно известными координатами, ограничившись двумя старшими членами ряда:

$$s(c) \cong s(c)|_{c=c_0} + \left. \frac{\partial s}{\partial c} \right|_{c=c_0} (c - c_0).$$

Для дифференцирования векторной функции (13) перейдем к индексным обозначениям:

$$\frac{\partial s_\tau}{\partial c_\alpha} = \frac{\partial s_\tau}{\partial y_m} \frac{\partial y_m}{\partial c_\alpha}, \quad \frac{\partial s_\tau}{\partial y_m} F, \quad F = \{f_{\tau i}\},$$

где матрица $F = \frac{1}{2} D^{-1}(s)$ – результат дифференцирования радикала от вектора [3];

$$\frac{\partial y_m}{\partial c_\alpha} = \frac{\partial}{\partial c_\alpha} (p_t - 2r_{ij}c_j + c_j \delta_j^k c_k e_t) = -2r_{m\alpha} + 2c_\alpha e_m = g_{m\alpha} G, \quad G = -2R + 2ec^T.$$

Таким образом,

$$\begin{aligned} \frac{\partial s}{\partial c} &= FG = \frac{1}{2} D^{-1}(s) (-2R + 2ec^T) = \\ &= D^{-1}(s(c)) ec^T - D^{-1}(s(c)) R. \end{aligned}$$

Воспользуемся обозначением $D^{-1}(s) = D(g)$, где $g = \{g_n\}$, $g_n = \frac{1}{s_n}$. Тогда с учетом свойства $D(x)e = x$ получим

$$\frac{\partial s}{\partial c} = g(c)c^T - D(g(c))R.$$

Значение производной $\frac{\partial s}{\partial c}$ в точке c_0 равно

$$\left. \frac{\partial s}{\partial c} \right|_{c=c_0} = g(c_0)c_0^T - D(g(c_0))R \triangleq H(c_0).$$

Итак, линейное приближение имеет вид

$$\begin{aligned} s(c) &\cong s(c_0) + H(c_0)(c - c_0) = \\ &= s(c_0) + g(c_0)c_0^T c - g(c_0)\|c_0\|^2 - D(g(c_0))Rc + D(g(c_0))Rc_0, \end{aligned}$$

откуда можем перейти к векторно-матричному уравнению

$$s(c) = -Ac + b,$$

где $A = D(g(c_0))R - g(c_0)c_0^T$;

$$b = s(c_0) - g(c_0)\|c_0\|^2 + D(g(c_0))Rc_0.$$

Теперь можем записать:

$$\tilde{s} = -Bk + b, \quad (14)$$

где $B = [A; -e]$, $k = \begin{bmatrix} c \\ \sigma \end{bmatrix}$.

Дальнейшее вычисление искомого вектора c зависит от размерности вектора измеренных дальностей \tilde{s} , т. е. от количества наблюдаемых спутников.

При минимальном объеме измерений ($N = 4$) и ранге матрицы B $\text{rank}(B) = 4$ решение системы (14) имеет вид

$$\hat{k} = B^{-1}(b - \tilde{s}). \quad (15)$$

При $N > 4$ решение находится минимизацией функционала $\rho = \|Bk - b + \tilde{s}\|^2$:

$$\hat{k} = (B^T B)^{-1} B^T (b - \tilde{s}). \quad (16)$$

Использование одновременных измерений дальности и радиальной скорости позволяет определить не только координаты, но и составляющие скорости движения приемника спутниковых радионавигационных сигналов. При этом для нахождения всех восьми навигационных параметров (три координаты, ошибка измерения дальности, три составляющих скорости, ошибка измерения радиальной скорости) потребуется решать систему восьми уравнений. Однако используя метод декомпозиции, можно упростить задачу путем независимого решения двух систем уравнений определяющих соответственно координаты и составляющие скорости приемника.

Применение декомпозиции возможно при условии отсутствия «откликов» измеряемых величин на изменения определяемых параметров. Касательно СНС это условие соблюдается. Действительно, при мгновенных измерениях составляющие скорости приемника определяются только по доплеровским измерениям радиальных скоростей, в то же время доплеровские измерения слабо откликаются на изменения координат. Поэтому координаты приемника определяются практически только по псевдодальномерным измерениям и обработку дальномерно-доплеровских измерений можно проводить в два этапа без потери точности. На первом этапе по результатам псевдодальномерных измерений осуществляется оценка координат, на втором – по результатам доплеровских измерений оцениваются составляющие скорости приемника.

Рассмотрим следующую постановку задачи (рисунок 2). Приемник спутниковых навигационных сигналов с известными координатами $c^T = [c_x \ c_y \ c_z]$ движется с мгновенной скоростью, заданной вектором $v^T = [v_x \ v_y \ v_z]$. Известны векторы координат и скоростей спутников $(r_n, u_n, n = \overline{1, N})$. По измеренным радиальным скоростям $(|\dot{s}_n|)$ в соответствии

с рисунком 1) требуется найти координаты вектора $v = [v_x, v_y, v_z]$. Обратим внимание, что в отличие от рисунка 2 дальности s_n являются векторами. Каждый вектор s_n может быть представлен произведением

$$s_n = |s_n| p_n, \quad (17)$$

в котором известен направляющий вектор p_n : $p_n = \frac{c - r_n}{\|c - r_n\|}$.

Следовательно, производная вектора дальности s_n описывается выражением

$$\dot{s}_n = |\dot{s}_n| p_n = d_n p_n, \quad (18)$$

где d_n – измеренная доплеровская скорость приемника относительно n -го ИСЗ.

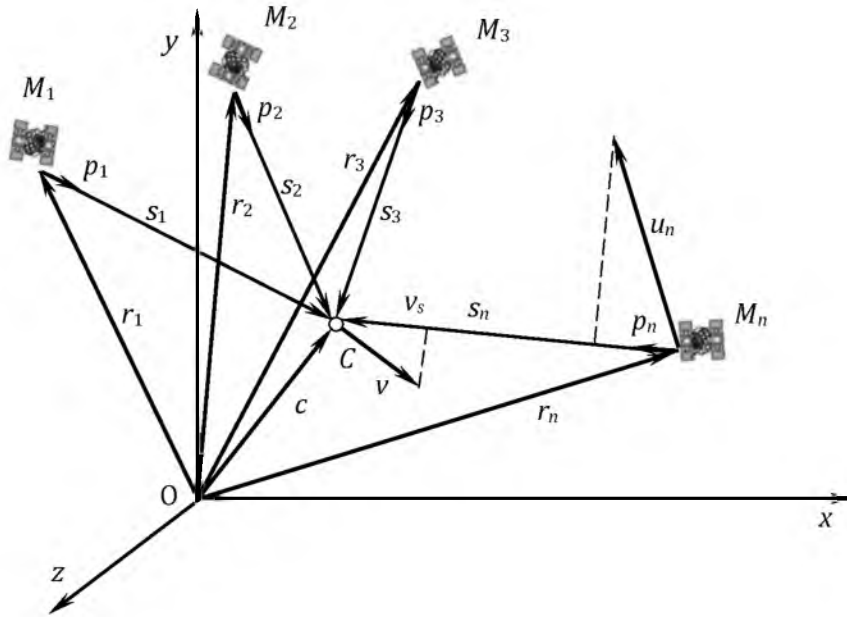


Рисунок 2. – Определение вектора скорости приемника сигналов спутниковой навигационной системы

В рассматриваемых условиях производная \dot{s}_n равна сумме проекций векторов v и u_n на направление вектора s_n – единичный вектор p_n . Используя правило вычисления проекции вектора на вектор [6], получим

$$\dot{s}_n = v^T p_n - u_n^T p_n p_n. \quad (19)$$

Приравняем правые части выражений (18), (19) и выполним преобразования:

$$\begin{aligned} d_n p_n &= p_n v - u_n^T p_n, \\ p_n^T p_n d_n &= p_n^T p_n v - u_n^T p_n, \\ d_n &= v - u_n^T p_n = p_n^T v - u_n. \end{aligned}$$

Теперь сведем множество векторов $p_n, u_n, n = \overline{1, N}$, в матрицы $P_{N \times 3}, U_{N \times 3}$ и перейдем к векторно-матричному уравнению. Доступными измерениями в рассматриваемой задаче являются псевдоскорости $\tilde{d} = d + \delta e$, откуда

$$\begin{aligned} Pv - w &= \tilde{d} - \delta e, \\ Pv + \delta e &= \tilde{d} + w. \end{aligned} \quad (20)$$

Введя в (20) составную матрицу $Q = P \dot{e}$, можем перейти к векторно-матричному уравнению

$$Q \begin{bmatrix} v \\ \delta \end{bmatrix} = \tilde{d} + w. \quad (21)$$

Поскольку матрица Q имеет четыре столбца, то для решения уравнения (21) необходимы четыре навигационных спутника. При наличии измерений от пяти спутниковых сигналов и выше оценка вектора скорости v и ошибки δ находится из соотношения

$$\begin{bmatrix} \hat{v} \\ \hat{\delta} \end{bmatrix} = (Q^T Q)^{-1} Q^T (\tilde{d} + w). \quad (22)$$

Как следует из соотношений (17)–(22), определение составляющих вектора скорости приемника спутниковых сигналов не требует сложных итерационных процедур, в том числе при избыточности измерений доплеровских псевдоскоростей.

Таким образом, предложенный алгоритм оценки координат и составляющих скорости объекта по результатам спутниковых псевдодальномерных измерений для реализации в специализированном спутниковом навигационном приемнике позволяет:

не налагать ограничений на выбор начальных условий и обеспечить сходимость в широком диапазоне начальных условий, что в конечном счете дает возможность отказаться от многошаговых итерационных процедур и сокращает время на введение его в работу;

решить задачу определения местоположения в виде прямого функционального преобразования известных величин и свести вычисления к выполнению элементарных арифметических операций. При этом использование избыточности измерений дает возможность получать оценки координат ракеты, оптимальные по критерию минимума квадрата ошибки.

Список литературы

1. Карлащук, В. И. Спутниковая навигация. Методы и средства / В. И. Карлащук, С. В. Карлащук. – М.: СОЛОН-Пресс, 2006. – 178 с.
2. Яценков, В. С. Основы спутниковой навигации. Системы GPS NAVSTAR и ГЛОНАСС / В. С. Яценков. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 272 с.
3. Поваляев, А. А. Спутниковые радионавигационные системы: время, показания часов, формирование измерений и определение относительных координат / А. А. Поваляев. – М.: Радиотехника, 2008. – 328 с.
4. Лапука, О. Г. Анализ и синтез в классе дискретных конечномерных систем / О. Г. Лапука, К. К. Пащенко. – Минск: ВА РБ, 2010. – 372 с.
5. Калитин, С. Б. Быстрый алгоритм оценки координат объектов по результатам измерений пеленгов / С. Б. Калитин, В. М. Морозов // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2011. – № 3. – С. 88–93.
6. Калитин, С. Б. Алгоритмы оценки декартовых координат излучающих радиоэлектронных средств с использованием уравнений прямых пеленга / С. Б. Калитин, А. Г. Боровой, В. М. Морозов // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2013. – № 4. – С. 88–93.
7. Уоткинс, Д. Основы матричных вычислений / Д. Уоткинс. – М.: БИНОМ. Лаб. знаний, 2006. – 664 с.

*Сведения об авторах:

Калитин Сергей Борисович,

Шарамет Андрей Владимирович,

Учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 08.02.2017 г.

МЕТОДОЛОГИЯ ВЫСОКОТОЧНОЙ ОПТИМАЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ, НАБЛЮДАЕМЫХ В СТОХАСТИЧЕСКИХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ СО СЛУЧАЙНО ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ СТРУКТУРОЙ (часть 3)

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

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

The third 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 данной статьи [1] были представлены введение в рассматриваемую проблематику, а также краткая характеристика всех девяти этапов разрабатываемой методики.

Во второй части статьи [2] подробно рассмотрены первые шесть этапов разрабатываемой методологии высокоточной фильтрации случайных процессов, наблюдаемых в ДССС.

В данной третьей части статьи подробно изложены содержание седьмого, восьмого и девятого этапов предлагаемой методики, а также приведено общее заключение.

Для исключения путаницы во второй и третьей частях статьи использована единая сквозная нумерация формул.

В последующих статьях будут рассмотрены примеры применения теории классической калмановской фильтрации и разработанной высокоточной фильтрации негауссовых 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 седьмого этапа методики высокоточной фильтрации негауссовых случайных процессов, наблюдаемых в ДССС

На седьмом этапе разрабатываемой методики осуществляется выбор критерия оптимальности фильтрации случайных процессов $Y^{(l)}(t)$ и $L(t)$, а также синтез соответствующего данному критерию оптимального фильтра.

При использовании первого критерия оптимальности фильтрации – минимума среднего квадрата ошибки фильтрации $\langle (Y(t) - \hat{Y}(t))^2 \rangle = \min$ – в качестве оптимальной оценки фильтруемого процесса случайной структуры $\{Y^T(t), L(t)\}^T$ выбирается:

1. При наблюдаемых моментах переключения состояния структуры:
для дискретного процесса $\hat{L}(t)$ – наблюдаемое состояние l , т. е.

$$\hat{L}(t) \equiv l; \quad (14)$$

для p -й фазовой координаты $\hat{Y}_p(t)$ – ее апостериорное математическое ожидание, т. е.

$$\hat{Y}_p^{(l)}(t) = \hat{M}_p^{(l)}(t). \quad (15)$$

2. При ненаблюдаемых моментах переключения состояния структуры в качестве оптимальной оценки состояния структуры ДССС $\hat{L}(t)$ принимается то состояние, для которого апостериорная вероятность (рассчитывается по формуле (3), приведенной в [2]) в данный момент времени максимальна, т. е.

$$\hat{L}(t) = \left\{ l : \hat{P}^{(l)}(t) = \max_{r=\overline{1,S}} \hat{P}^{(r)}(t) \right\}. \quad (16)$$

Условная оптимальная оценка для p -й фазовой координаты также вычисляется по формуле (15), а ее безусловная (с учетом наличия S состояний структуры ДССС) оптимальная оценка рассчитывается так:

$$\hat{Y}_p(t) = \sum_{l=1}^S \hat{P}^{(l)}(t) \hat{M}_p^{(l)}(t). \quad (17)$$

При использовании второго критерия оптимальности фильтрации – максимума апостериорной ПРВ фильтруемого кусочно-непрерывного случайного процесса:

3. При наблюдаемых моментах переключения состояния структуры ДССС оптимальная оценка наблюдаемого состояния структуры вычисляется также по формуле (14), а условная оптимальная оценка для p -й фазовой координаты в l -м состоянии рассчитывается по следующей формуле:

$$\hat{Y}_p^{(l)}(t) = \text{Mod } \hat{\omega}_1^{(l)}(Y_p, t) = \hat{M}_p^{(l)}(t) + \frac{3\hat{\mu}_{3p}^{(l)}(t)}{4\hat{D}_p^{(l)}(t)} - \frac{5\hat{\mu}_{3p}^{(l)}(t)\hat{\mu}_{4p}^{(l)}(t)}{12(\hat{D}_p^{(l)}(t))^3}, \quad (18)$$

где *Mod* – мода условной апостериорной ПРВ в l -м состоянии;

$\hat{D}_p^{(l)}(t)$, $\hat{\mu}_{3p}^{(l)}(t)$, $\hat{\mu}_{4p}^{(l)}(t)$ – апостериорные дисперсия, третий и четвертый центральные моменты p -й фазовой координаты в l -м состоянии соответственно (рассчитываются по формулам (4)–(7), приведенным в [2]).

4. При ненаблюдаемых моментах переключения структуры ДССС условная оптимальная оценка состояния структуры также рассчитывается по формуле (16), условная оптимальная оценка p -й фазовой координаты в l -м состоянии – по формуле (18), а ее безусловная (с учетом наличия S состояний структуры ДССС) оптимальная оценка вычисляется так:

$$\hat{Y}_p(t) = \text{Mod } \sum_{l=1}^S \hat{\omega}_1^{(l)}(Y_p, t) \hat{P}^{(l)}(t) = \hat{M}_p(t) + \frac{3\hat{\mu}_{3p}(t)}{4\hat{D}_p(t)} - \frac{5\hat{\mu}_{3p}(t)\hat{\mu}_{4p}(t)}{12(\hat{D}_p(t))^3}, \quad (19)$$

где $\hat{D}_p(t)$, $\hat{\mu}_{3p}(t)$, $\hat{\mu}_{4p}(t)$ – итоговые (с учетом наличия S состояний структуры ДССС) апостериорные дисперсии, третий и четвертый центральные моменты p -й фазовой координаты (рассчитываются по формулам (11)–(13), приведенным в [2]).

Знание апостериорных высших центральных моментов позволяет повысить точность оптимальной нелинейной фильтрации при оценивании негауссовых случайных процессов, при нелинейном КНСС, а также при наличии в них негауссовых или мультипликативных шумов.

На рисунке 1 представлена структурная схема высокоточного многоканального оптимального фильтра, обеспечивающего фильтрацию многомерного (в частном случае – одномерного) случайного процесса на выходе ДССС по первому (минимум СКО) и второму (максимум апостериорной ПРВ) критериям оптимальности при наблюдаемых моментах смены состояний структуры системы с точностью до учета апостериорных центральных моментов четвертого порядка.

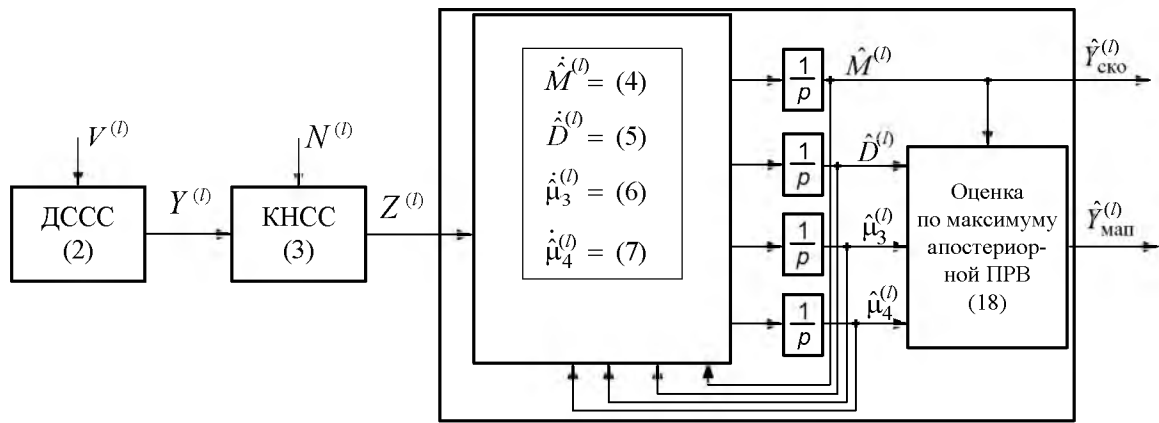


Рисунок 1. – Структурная схема высокоточного многоканального оптимального фильтра для фильтрации случайных процессов на выходе ДССС при наблюдаемых моментах смены структуры

На рисунке 2 показан многоканальный высокоточный оптимальный фильтр для оценивания случайных процессов в ДССС, на выходе которого получают оптимальные оценки для фильтруемых процессов $\{Y^T(t), L(y, t)\}^T$ по обоим критериям оптимальности как при наблюдаемых, так и ненаблюдаемых моментах переключения состояния структуры ДССС.

Данный оптимальный фильтр содержит:

- 1) S фильтров $(\Phi^{(1)}, \dots, \Phi^{(S)})$ со структурой, представленной на рисунке 1;
- 2) идентификатор состояний, рассчитывающий текущие значения вероятностей состояний структуры ДССС $\hat{P}^{(l)}$ в соответствии с выражением (3), приведенном в [2], и оценку текущего состояния структуры ДССС в соответствии с выражением (16) данной статьи;
- 3) блок расчета безусловной (итоговой) оптимальной оценки фазовой координаты Y_p ($p = \overline{1, N_Y}$) в соответствии с выражением (17);
- 4) блок расчета безусловных (итоговых) апостериорных центральных моментов $\hat{M}_p, \hat{D}_{pk}, \hat{\mu}_{pki}, \hat{\mu}_{pkij}$ фазовых координат в соответствии с выражениями (10)–(13), приведенными в [2];
- 5) блок расчета безусловной (итоговой) оптимальной оценки переменной Y_p в соответствии с выражением (19);
- 6) синхронные переключатели выходов фильтров Π_1, Π_2 , управляемые идентификатором состояний при ненаблюдаемых моментах переключения структуры ДССС или переключаемые в l -е состояние синхронно с ключом Кл.1 при наблюдаемых моментах переключения структуры ДССС.

Кроме того, выходы всех фильтров $\Phi^{(1)}, \dots, \Phi^{(s)}$ между собой «перевязаны» для расчета апостериорных вероятностных моментов фазовых координат в соответствии с выражениями (4)–(7), приведенными в [2].

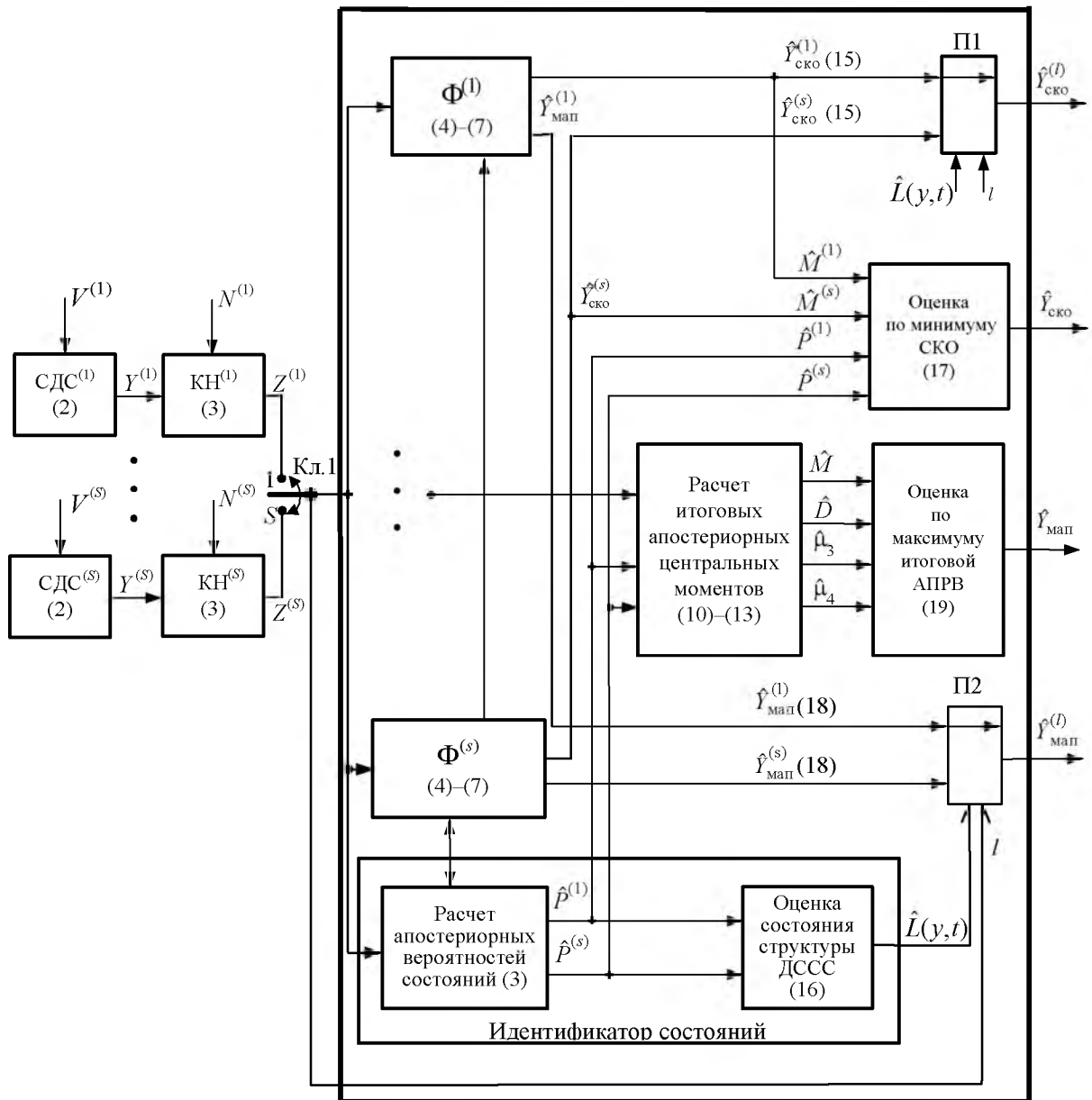


Рисунок 2. – Структурная схема высокоточного многоканального оптимального фильтра для фильтрации случайных процессов на выходе ДССС при наблюдаемых и ненаблюдаемых моментах смены структуры

На выходе данного многоканального высокоточного фильтра также получают оптимальные оценки для $\{\hat{Y}^T(t), \hat{L}(y, t)\}^T$ по обоим критериям оптимальности как при наблюдаемых, так и ненаблюдаемых моментах переключения состояния структуры ДССС.

2. Содержание восьмого этапа методики

На восьмом этапе методики необходимо задать известные и рассчитать недостающие начальные условия для апостериорных вероятностей состояний структуры ДССС вида (3) (приведены в [2]) и апостериорных центральных моментов фильтруемого процесса вида (4)–(7) (приведены в [2]), которые затем будут интегрироваться на девятом этапе данной методики.

Поставленная задача решается в шесть подэтапов.

На первом подэтапе, исходя из физики работы исследуемой ДССС, инженером-исследователем задаются начальные значения всех апостериорных вероятностей состояний структуры системы $\hat{P}^{(l)}(t_0) (l = \overline{1, S})$ на начальный момент времени t_0 .

На втором подэтапе полагаются равными нулю начальные значения всех апостериорных центральных моментов: $\hat{M}_p^{(l)}(t_0), \hat{D}_{pk}^{(l)}(t_0), \hat{\mu}_{pki}^{(l)}(t_0), \hat{\mu}_{pkij}^{(l)}(t_0)$ и т. д. для тех состояний структуры ДССС l , для которых начальные значения апостериорных вероятностей $\hat{P}^{(l)}(t_0)$ заданы нулевыми.

На третьем подэтапе перенумеровываются все учитываемые апостериорные центральные моменты фильтруемого процесса для тех l , при которых $\hat{P}^{(l)}(t_0) \neq 0$, в порядке возрастания номеров l состояния структуры следующим образом:

$$\begin{aligned} x_1 &= \hat{M}_1^{(1)}, x_2 = \hat{M}_2^{(1)}, \dots, x_R = \hat{M}_{N_Y}^{(1)}; \\ x_{R+1} &= \hat{D}_{1,1}^{(1)}, x_{R+2} = \hat{D}_{1,2}^{(1)}, \dots, x_m = \hat{D}_{N_Y, N_Y}^{(1)}; \\ x_{m+1} &= \hat{M}_1^{(2)}, x_{m+2} = \hat{M}_2^{(2)}, \dots, x_k = \hat{M}_{N_Y}^{(2)}; \\ &\dots\dots\dots \\ x_p &= \hat{M}_1^{(S)}, x_{p+1} = \hat{M}_2^{(S)}, \dots, x_n = \hat{M}_{N_Y}^{(S)}; \\ x_{n+1} &= D_{1,1}^{(S)}, x_{n+2} = D_{1,2}^{(S)}, \dots, x_a = D_{N_Y, N_Y}^{(S)}, \end{aligned} \quad (20)$$

где $m = \frac{1}{2} S N_Y (N_Y + 3)$ – число учитываемых апостериорных математических ожиданий и взаимных корреляционных моментов фильтруемого случайного процесса;

$k = S C_{N_Y+R}^{N_Y} - 1$ – число учитываемых апостериорных центральных моментов фильтруемого процесса (оцениваемой ДССС);

R – максимальный порядок учитываемых апостериорных центральных моментов.

На четвертом подэтапе полученную ранее замкнутую систему СДУ для учитываемых апостериорных центральных моментов с учетом проведенной перенумерации (20) представим в виде

$$\dot{x}_j = F_j(x), \quad j = \overline{1, N_X}, \quad (21)$$

где $F_j(x)$ – нелинейная функция, представляющая собой правую часть СДУ для j -го перенумерованного апостериорного центрального момента;

$N_X = m + k$ – общее число всех перенумерованных вероятностных моментов.

На пятом подэтапе в правой части СДУ вида (21) задаются все известные начальные условия для учитываемых апостериорных центральных моментов фильтруемого процесса случайной структуры.

На шестом подэтапе определяем недостающие начальные условия для учитываемых апостериорных центральных моментов как координаты неподвижной точки на начальный момент времени интегрирования t_0 системы СДУ вида (21). Правомерность такого подхода обусловлена расположением неподвижной точки в области устойчивости решения указанной системы СДУ. Координаты неподвижной точки удовлетворяют системе нелинейных алгебраических уравнений вида

$$F_j(x) = 0. \quad (22)$$

Решая систему нелинейных алгебраических уравнений (22) итерационным методом Ньютона – Рафсона [3], находим искомые недостающие начальные условия для учитываемых апостериорных центральных моментов фильтруемого процесса.

Как показали проведенные численные эксперименты, данная методика обеспечивает достаточную точность расчета недостающих начальных значений апостериорных центральных моментов фильтруемого процесса (наблюдаемой ДССС). Относительная погрешность расчетов не превышает 10 %.

3. Содержание девятого этапа методики

На девятом этапе методики осуществляется:

численное интегрирование на ЭВМ системы СДУ для учитываемых апостериорных центральных моментов и уравнения для апостериорных вероятностей состояний вида (3);

контроль и обеспечение требуемой точности интегрирования вышеуказанной системы СДУ для апостериорных центральных моментов;

уточнение алгоритмов фильтрации исходя из гауссового или негауссового вида апостериорной ПРВ фильтруемого процесса;

получение оптимальных оценок фильтруемого процесса случайной структуры $\{Y^T(t), L(y, t)\}^T$ в реальном масштабе времени в соответствии с выбранным критерием оптимальности.

Проведенные исследования показали, что интегрирование полученных систем СДУ для центральных апостериорных моментов и вероятностей состояний ДССС целесообразно осуществлять либо методом Милна с модификацией Хемминга, либо экстраполяционным методом Грегга – Булирша – Штера [4–6]. Данные методы обеспечивают также автоматический выбор шага и контроль точности интегрирования указанных СДУ.

Уточнение алгоритмов фильтрации осуществляется итерационным образом с использованием следующей методики.

Первое – при первой итерации на интервале времени от t_0 до $t_0 + \Delta t_k$ (где Δt_k – интервал контроля, равный 10–20 шагов интегрирования) интегрируются СДУ для апостериорных центральных моментов до четвертого порядка включительно. Затем по полученным значениям апостериорных центральных моментов третьего и четвертого порядков на каждом шаге интегрирования рассчитываются модули апостериорных коэффициентов асимметрии $|\hat{A}s_p^{(l)}|$ и эксцесса $|\hat{E}x_p^{(l)}|$ всех p -х ($p = \overline{1, N_Y}$) фазовых координат фильтруемого многомерного процесса $Y^{(l)}(t)$ в каждом l -м состоянии структуры по формулам:

$$\hat{A}s_p^{(l)} = \left| \frac{\hat{\mu}_{3p}^{(l)}}{(\hat{\sigma}_p^{(l)})^3} \right|; \quad (23)$$

$$\hat{E}x_p^{(l)} = \left| \frac{\hat{\mu}_{4p}^{(l)}}{(\hat{\sigma}_p^{(l)})^4} \right|, \quad (24)$$

где $\hat{\mu}_{3p}^{(l)}, \hat{\mu}_{4p}^{(l)}$ – апостериорные центральные моменты p -й фазовой координаты третьего и четвертого порядков в l -м состоянии структуры, которые рассчитываются по формулам (6) и (7) соответственно, приведенным в [2];

$\hat{\sigma}_p^{(l)} = \sqrt{\hat{D}_p^{(l)}}$ – апостериорное среднеквадратическое отклонение p -й фазовой координаты фильтруемого многомерного процесса $Y^{(l)}(t)$ в l -м состоянии, рассчитываемое на основании формулы (5), приведенной в [2].

Из теории вероятностей известно [7–11], что если модуль величины асимметрии не превышает 0,25 и модуль величины эксцесса не превышает 0,5, то с вероятностью 0,95 такой фильтруемый процесс является гауссовым (нормальным). Если все p -е фазовые координаты

в l -м состоянии структуры имеют нормальную ПРВ, то такой фильтруемый многомерный случайный процесс $Y^{(l)}(t)$ является гауссовым.

Однако, как уже отмечалось выше, даже при гауссовой апостериорной ПРВ p -й фазовой координаты в l -м состоянии структуры, при смене структуры ДССС совместная и условная апостериорные ПРВ, выражения для которых приведены в [1], в общем случае уже не будут гауссовыми. Это обусловлено наличием в формулах для них слагаемых, связанных со сменой структуры ДССС, а также несовпадением начального значения p -й фазовой координаты в l -м состоянии структуры с ее конечным значением в предыдущем r -м состоянии.

В ряде случаев, например, когда начальное значение p -й фазовой координаты в l -м состоянии структуры совпадает с ее конечным значением в предыдущем r -м состоянии, то совокупный одномерный случайный процесс $Y_p(t) = \sum_{l=1}^S Y_p^{(l)}$ не имеет разрывов и его совместная и условная апостериорные ПРВ будут гауссовыми.

Для проверки на гауссовость совокупного случайного процесса $Y_p(t)$ в процессе интегрирования СДУ также рассчитываются модули апостериорных коэффициентов асимметрии $|\hat{A}_{sp}|$ и эксцесса $|\hat{E}x_p|$ всех p -х ($p = \overline{1, N_Y}$) фазовых координат фильтруемого многомерного процесса $Y(t)$ с учетом наличия S состояний структуры по формулам:

$$\hat{A}_{sp} = \frac{\hat{\mu}_{3p}}{(\hat{\sigma}_p)^3}; \quad (25)$$

$$\hat{E}x_p = \frac{\hat{\mu}_{4p}}{(\hat{\sigma}_p)^4}. \quad (26)$$

Затем по указанному выше критерию проверяется на гауссовость апостериорная ПРВ совокупного случайного процесса $Y_p(t)$. Если этот критерий выполняется для всех p -х ($p = \overline{1, N_Y}$) фазовых координат фильтруемого многомерного процесса $Y(t)$, то такой процесс является гауссовым. В этом случае нет необходимости учитывать при фильтрации апостериорные центральные моменты выше второго порядка.

Если по результатам первой итерации модули величин асимметрии и (или) эксцесса для всех или части фазовых координат превысили указанные выше пороговые значения 0,25 и 0,5 соответственно, то фильтруемый процесс является негауссовым и при его фильтрации необходимо учитывать апостериорные высшие центральные моменты как минимум до четвертого порядка. Затем переходим ко второй итерации.

Второе – при второй итерации снова возвращаемся к начальному моменту времени интегрирования t_0 и повторно интегрируем на интервале контроля $t_0 + \Delta t_k$ СДУ для апостериорных центральных моментов, но уже с учетом апостериорного момента пятого порядка. По результатам интегрирования на каждом шаге снова рассчитываем модули величин асимметрии и эксцесса по формулам (23)–(26). Если относительный прирост величин этих модулей коэффициентов асимметрии и эксцесса для всех фазовых координат не превысил 5–10 % по сравнению с первой итерацией, то нет необходимости в дополнительном учете уравнений для апостериорных центральных моментов шестого порядка. В противном случае переходим к третьей итерации и снова интегрируем на ЭВМ СДУ для апостериорных центральных моментов, но уже до шестого порядка включительно.

Опыт решения восьми контрольных задач по фильтрации многомерных негауссовых случайных процессов с различными ПРВ показал, что при допустимой погрешности в 5 % нет необходимости учитывать апостериорные центральные моменты выше шестого порядка [1].

Третье – для дополнительной страховки по результатам интегрирования СДУ для апостериорных центральных моментов на каждом шаге интегрирования осуществляется расчет относительного изменения модулей апостериорных математических ожиданий

и апостериорных дисперсий (в l -м состоянии структуры ДССС и итоговых) всех p -х ($p = \overline{1, N_Y}$) фазовых координат фильтруемого процесса по результатам вычислений при первой, второй или третьей итерациях по формулам:

для l -го состояния структуры ДССС

$$|\Delta \hat{M}_p^{(l)}| = \left| \frac{\hat{M}_{p(i+1)}^{(l)} - \hat{M}_{p(i)}^{(l)}}{\hat{M}_{p(i+1)}^{(l)}} \right| \cdot 100\%; \quad (27) \quad |\Delta \hat{D}_p^{(l)}| = \left| \frac{\hat{D}_{p(i+1)}^{(l)} - \hat{D}_{p(i)}^{(l)}}{\hat{D}_{p(i+1)}^{(l)}} \right| \cdot 100\%; \quad (28)$$

с учетом всех S состояний структуры ДССС

$$|\Delta \hat{M}_p| = \left| \frac{\hat{M}_{p(i+1)} - \hat{M}_{p(i)}}{\hat{M}_{p(i+1)}} \right| \cdot 100\%; \quad (29) \quad |\Delta \hat{D}_p| = \left| \frac{\hat{D}_{p(i+1)} - \hat{D}_{p(i)}}{\hat{D}_{p(i+1)}} \right| \cdot 100\%, \quad (30)$$

где в круглых скобках индекс $(i + 1)$ или (i) означает, при какой итерации (i -й или $(i + 1)$ -й)) берутся значения апостериорных математических ожиданий или апостериорных дисперсий в каждый момент времени счета СДУ для апостериорных центральных моментов.

Если модули приращений апостериорных математических ожиданий $|\Delta \hat{M}_p^{(l)}|$, $|\Delta \hat{M}_p|$ и дисперсий $|\Delta \hat{D}_p^{(l)}|$, $|\Delta \hat{D}_p|$ для всех фазовых координат не превышают заданной малой величины ε (например, $\varepsilon \leq 5\%$), значит, задача оптимальной нелинейной фильтрации решена правильно с погрешностью не более 5% при учете апостериорных центральных моментов до выбранного порядка включительно. Если модули приращений апостериорных математических ожиданий и дисперсий для всех или части фазовых координат превышают заданную погрешность $\varepsilon \leq 5\%$, при учете апостериорных центральных моментов до шестого порядка включительно, значит, задача оптимальной нелинейной фильтрации решена неправильно и необходимо искать ошибки в уравнениях для апостериорных центральных моментов или в формулах для раскрытия усреднений от многоаргументных нелинейностей.

Уточнение порядка рассчитываемых на ЭВМ апостериорных центральных моментов фильтруемого процесса по вышеизложенной методике рекомендуется проводить в начале, середине и в конце процесса интегрирования этих уравнений на ЭВМ.

Получение оптимальных оценок фильтруемого процесса случайной структуры $\{Y^T(t), L(y, t)\}^T$ осуществляется в реальном масштабе времени по формулам (14)–(19) в процессе интегрирования на ЭВМ (или на встроенном в ВВТ микропроцессоре) стохастических дифференциальных уравнений для апостериорных центральных моментов требуемого порядка.

Пример, подтверждающий работоспособность изложенной методологии высокоточной фильтрации случайных процессов в ДССС, будет рассмотрен в последующих статьях этих же авторов.

Заключение

1. В трех частях данной статьи разработана общая методология адаптивной высокоточной оптимальной нелинейной фильтрации многомерных негауссовых случайных процессов с поглощением и восстановлением реализаций, наблюдаемых в непрерывных стохастических динамических (дифференциальных) системах со случайно изменяющейся структурой или (и) параметрами. Общность предлагаемой методологии обусловлена тем, что полученные общие алгоритмы оптимальной нелинейной фильтрации не зависят от конкретного вида:

стохастических дифференциальных уравнений, описывающих фильтруемый многомерный негауссовый случайный процесс $Y^{(l)}(t)$ в l -м состоянии структуры ДССС;

уравнений канала наблюдения (измерителя) $Z^{(l)}(t)$ в l -м состоянии и уравнений, описывающих процесс смены состояний структуры ДССС $L(Y, t)$, а выражаются через их обобщенные характеристики: вектор сноса $A^{(l)}(Y, t)$ и диффузионную матрицу $B^{(l)}(Y, t)$, обновляющий процесс $f^{(l)}(Y, z, t)$ и эквивалентную интенсивность смены состояния структуры системы $v^{(r, l)}(Y, t)$.

2. Разработанная методология позволяет решать задачи высокоточной оптимальной нелинейной фильтрации негауссовых случайных процессов $\{\hat{Y}^T(t), \hat{L}(t)\}^T$ по трем основным критериям оптимальности: условному математическому ожиданию ($\hat{Y}_p^{(l)}(t) = \hat{M}_p^{(l)}(t)$), моде ($\hat{Y}_p^{(l)}(t) = \text{Mod } \hat{\omega}_1^{(l)}(Y_p, t)$) и медиане ($\hat{Y}_p^{(l)}(t) = \text{Med } \hat{\omega}_1^{(l)}(Y_p, t)$) апостериорной ПРВ фильтруемого процесса как при наблюдаемых, так и ненаблюдаемых моментах смены (переключения) структуры ДССС.

3. Высокая точность разработанных алгоритмов оптимальной нелинейной фильтрации обусловлена итерационным учетом при фильтрации высших апостериорных центральных моментов произвольного R -го ($R = 1, 2, 3, 4, \dots$) порядка фильтруемого многомерного негауссового процесса случайной структуры, а также использованием в них нового высокоточного метода раскрытия усреднений от одно- и многоаргументных нелинейностей произвольного вида по произвольной (гауссовой и негауссовой) условной апостериорной ПРВ, называемого методом статистической аппроксимации нелинейностей.

4. Адаптивность разработанных алгоритмов высокоточной оптимальной нелинейной фильтрации обусловлена автоматическим расчетом на ЭВМ (спецпроцессоре ВВТ) в реальном времени апостериорных асимметрий и апостериорных эксцессов всех фазовых координат фильтруемого многомерного процесса с их последующим сравнением с пороговыми значениями. Если величины модулей апостериорных асимметрий $|\hat{A}_p^{(l)}|$ менее 0,25 и апостериорных эксцессов $|\hat{E}_p^{(l)}|$ менее 0,5, то такой фильтруемый процесс с вероятностью 0,95 является гауссовым. В этом случае ЭВМ автоматически исключает из алгоритмов высокоточной фильтрации уравнения для высших апостериорных центральных моментов фильтруемого процесса и решает задачу калмановской фильтрации. При невыполнении этих условий ЭВМ на этапе приработки фильтра автоматически последовательно добавляет в расчетные алгоритмы фильтрации уравнения для третьего, четвертого, пятого и шестого высших апостериорных центральных моментов и осуществляет проверку точности решения задачи оптимальной нелинейной фильтрации. Итерационная процедура заканчивается при достижении относительной погрешности фильтрации не более 2–5 %. Решение восьми контрольных задач показало, что такая точность фильтрации обеспечивается при учете высших апостериорных центральных моментов фильтруемого процесса не выше шестого порядка для основных встречающихся на практике видов апостериорной ПРВ фильтруемого многомерного негауссового случайного процесса.

5. В статье приведены расчетные алгоритмы только для многомерного негауссового фильтруемого процесса с аддитивными шумами и безынерционного нелинейного канала наблюдения при независимых шумах в фильтруемом процессе и в канале наблюдения. В дальнейшем целесообразно продолжить исследования по данной проблематике для различных видов математических моделей фильтруемого процесса, канала наблюдения (измерителя) и процесса смены состояний структуры ДССС с решением контрольных задач.

Список литературы

1. Косачев, И. М. Методология высокоточной оптимальной фильтрации случайных процессов, наблюдаемых в стохастических динамических системах со случайно изменяю-

- щейся структурой (ч. 1) / И. М. Косачев, Ю. Е. Кулешов // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2016. – № 3 (52). – С. 57–66.
2. Косачев, И. М. Методология высокоточной оптимальной фильтрации случайных процессов, наблюдаемых в стохастических динамических системах со случайно изменяющейся структурой (ч. 2) / И. М. Косачев, Ю. Е. Кулешов // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2016. – № 4 (53). – С. 125–161.
3. Специальные главы математики (ч. 1): учеб. пособие / В. С. Чередниченко [и др.]. – Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т, 2001. – 70 с.
4. Косачев, И. М. Аналитическое моделирование стохастических систем: моногр. / И. М. Косачев, М. Г. Ерошенков. – Минск: Навука і тэхніка, 1993. – 264 с.
5. Оксендаль, Б. Стохастические дифференциальные уравнения. Введение в теорию и приложения / Б. Оксендаль. – М.: Мир, 2003.
6. Кузнецов, Д. Ф. Стохастические дифференциальные уравнения: теория и практика численного решения / Д. Ф. Кузнецов. – СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2010. – 816 с.
7. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей: учеб. – Изд. 10 / Е. С. Вентцель. – М.: Академия, 2005. – 576 с.
8. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. / Л. К. Мартинсон [и др.]. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. – 424 с.
9. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие / В. Е. Гмурман. – М.: Высш. образование, 2008. – 478 с.
10. Ивановский, Р. И. Теория вероятностей и математическая статистика. Основы, прикладные аспекты с примерами и задачами в среде Mathcad: учеб. пособие / Р. И. Ивановский. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 528 с.
11. Кобзарь, А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников / А. И. Кобзарь. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. – 816 с.

*Сведения об авторах:

Косачев Иван Михайлович,
Кулешов Юрий Евгеньевич,
УО «Военная академия Республики Беларусь».
Статья поступила в редакцию 15.04.2016 г.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ МОДЕЛЬНЫМИ ОБЪЕКТАМИ В СИСТЕМЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОЕННЫХ ДЕЙСТВИЙ

Е. В. Рулько, магистр технических наук;
В. М. Булойчик, доктор технических наук, профессор;
А. В. Герцев, кандидат технических наук, доцент*

В статье проведен анализ технологических подходов к организации процесса управления модельными объектами в системе имитационного моделирования военных действий. Описан созданный визуальный конструктор, решающий задачу формирования алгоритма поведения модельного объекта на виртуальном поле боя.

In article the analysis of technological approaches to the managerial process organisation by modelling objects in system of imitating modelling of military operations is carried out. The created visual designer solving a problem of formation of algorithm of behaviour modelling object on a virtual battlefield is described.

В настоящее время в развитых странах мира активно ведется разработка систем моделирования военных действий (СМВД). Примеры тому – объединенная система моделирования боевых действий Joint Warfare System (США) [1, 2], линейка продуктов ОАО «НПО РусБИТех» (РФ) [3], система моделирования для оценки эффективности группировки ВВС и войск ПВО «Свислочь-1» (РБ) [4] и др. Целесообразность подобных разработок давно доказана, поэтому на их создание выделяются значительные финансовые ресурсы.

Системы моделирования могут использоваться для поддержки принятия решений в ходе планирования реальных операций, анализа эффективности той или иной альтернативы поведения или расстановки сил и средств; для проведения тренировок и компьютерных учений. Главное требование к подобному моделированию – адекватность. Для получения адекватных результатов моделирования необходимо организовать управление поведением модельных объектов (воинских подразделений) в тех или иных условиях складывающейся обстановки в соответствии с тактикой ведения боя и логикой здравого смысла.

В научно-исследовательском центре моделирования военных действий в качестве основы построения разрабатываемой системы моделирования был избран подход «снизу вверх», предполагающий первоначальное создание моделей на нижнем уровне композиции и последующее их агрегирование в более крупные. Так, модели отдельных модулей – шасси, орудие, средства разведки и др. – образуют множество базовых объектов, из которых впоследствии могут быть сконфигурированы автономные модельные объекты – танк, БМП, стрелок. Каждый объект моделируется отдельно, с высокой степенью детализации. Из модельных объектов формируются групповые объекты, соответствующие организационно-штатной структуре воинских подразделений (рисунок 1).

В рамках имитационного моделирования элементы сложной модели могут действовать по жесткому, заранее заложенному сценарию или адаптивно, в соответствии с меняющейся обстановкой. Очевидно, что второй вариант более предпочтителен с точки зрения обеспечения адекватного воспроизведения поведения реальных объектов.

Для осуществления управления поведением объектов в системе реализован механизм формирования задач – функциональных действий, выполняемых модельными или групповыми объектами, например, «перемещение по маршруту», «наступление на противника», «оборона назначенных рубежей и позиций», «неподвижный заградительный огонь» артиллерии и др. Задачи для модельных объектов ставятся пользователем. Крупные задачи, такие как «наступление на противника», построены на основе более мелких, таких как «перемещение с выходом на рубеж», «развернуться в линию» и др. В ходе реализации

задачи группового модельного объекта могут использоваться задачи модельных объектов, входящих в его состав.



Рисунок 1. – Механизм структурной композиции объектов в СМВД

Задачи в большинстве случаев требуют от пользователя ввода исходных данных. Так, при наступлении роты необходимо указать рубеж перехода в линию взводных колонн. Однако логика выполнения подобных задач задана достаточно жестко в коде системы моделирования и не может быть изменена пользователем.

Опыт работы с системой моделирования показывает, что наличие такого механизма не обеспечивает требуемую гибкость имитации поведения объектов, которые ведут себя заранее запрограммированно на этапе подготовки к моделированию, не реагируя на изменение окружающей обстановки, развитие которой предварительно сложно предсказать. Кроме того, затруднена синхронизация действий различных объектов (подразделений), выполняющих совместные задачи.

С точки зрения функциональных требований, механизм задания поведения на виртуальном поле боя модельными объектами должен обеспечивать формирование последовательностей действий, решать задачи синхронизации действий и обеспечения реакций на соответствующие события, позволять осуществлять формирование данных событий и обеспечивать автоматический выбор предпочтительного решения в сложившейся ситуации. В зависимости от выполняемых моделируемым объектом задач его реакции на события должны различаться (например, реакции на обнаружение противника для объекта, находящегося в засаде, и для этого же объекта, ведущего оборонительный бой).

С учетом опыта тестовой эксплуатации системы моделирования ротного звена, разработанной в научно-исследовательском центре моделирования, а также опыта внедрения системы моделирования «Свислочь-1» и в соответствии с [5] следует учесть ряд нефункциональных требований к разрабатываемому механизму:

наличие понятного инструментария для формализации логики здравого смысла, тактики ведения боя и опыта командира;

наглядность, обеспечение понимания того, на основании чего именно было принято то или иное решение;

ориентация на военную предметную область, использование в ходе работы терминологического аппарата, понятного военному специалисту;

возможность работы военного специалиста без посторонней помощи и ряд других.

В ходе проведенного исследования были рассмотрены и на практике апробированы следующие технологические подходы к созданию инструментария управления модельными объектами, позволяющего гибко изменять их поведение в процессе имитации:

использование внешнего предметно-ориентированного языка программирования (domain specific language – DSL). Язык специально разработан для решения подобного рода задач;

использование сценарных (скриптовых) языков программирования, исходный код которых может быть изменен в процессе работы системы моделирования без перекомпиляции;

использование механизма компиляции исходного кода на языке C#, описывающего требуемое поведение объектов во время выполнения;

использование визуальных языков программирования, в которых вместо написания кода в текстовом виде осуществляется манипулирование графическими объектами.

Предметно-ориентированный язык в отличие от языка программирования общего назначения специально разработан для решения определенного круга задач. Ориентация на предметную область позволяет осуществлять более эффективное его использование специалистом в данной предметной области. Изучение такого подхода показывает, что реализация внешнего предметно-ориентированного языка программирования для управления модельными объектами представляется весьма сложной, так как в этом случае необходимо разработать ряд сложных функциональных элементов (синтаксический анализатор, семантическая модель и др.) [6]. Синтаксис предметно-ориентированного языка с поддержкой состояний и условных операторов по сложности будет практически сравним с синтаксисом языка программирования общего назначения. Также не ясно, как с помощью предметно-ориентированного языка будет осуществляться синхронизация совместных действий множества объектов.

В индустрии разработки компьютерных игр для управления поведением объектов в виртуальном пространстве широко применяются сценарные языки программирования JavaScript, Lua, Python и др., при этом изменение кода соответствующих сценариев (скриптов) позволяет задавать нужное поведение без перекомпиляции исходного кода всей системы.

Практика использования языка Lua обозначила сложности в реализации подхода с применением сценарных языков. Так, сложность интеграции с системой моделирования обуславливается необходимостью получения набора параметров, характеризующих состояние объекта, оперирования списком выполняемых задач того или иного объекта и постановки или снятия выбранных задач из кода скриптового языка. Кроме того, наблюдается высокая степень сложности понимания пользователем данного механизма.

С точки зрения интеграции с системой моделирования, разрабатываемой с использованием платформы .NET Framework, более предпочтительным вариантом является применение механизма компиляции исходного кода во время выполнения. Это возможно благодаря встроенным в .NET Framework средствам компиляции исходного кода и наличию механизма рефлексии, обеспечивающего динамическую загрузку кода. Именно рефлексия позволяет автоматически получить список параметров, характеризующих состояние объекта, список выполняемых им задач, поставить объекту задачу на выполнение и др. Следует отметить, что подобный подход, реализованный на языке Java, применяется в системе моделирования AnyLogic [7].

В рамках применения механизма компиляции исходного кода во время выполнения был апробирован подход, суть которого заключается в том, что пользователь с помощью собственного кода определяет события, к которым впоследствии могут назначаться обработчики из числа методов, также определенных пользователем. Первоначально пользователь реализует средствами языка C# события и методы, которые затем компилируются. Получившаяся при этом сборка (файл с расширением .dll) динамически

подгружается в систему моделирования, из метаданных формируются списки описаний событий и методов, после чего пользователь имеет возможность определить связи между событиями и их обработчиками, т. е. задавать требуемую реакцию на возникающие события (рисунок 2).

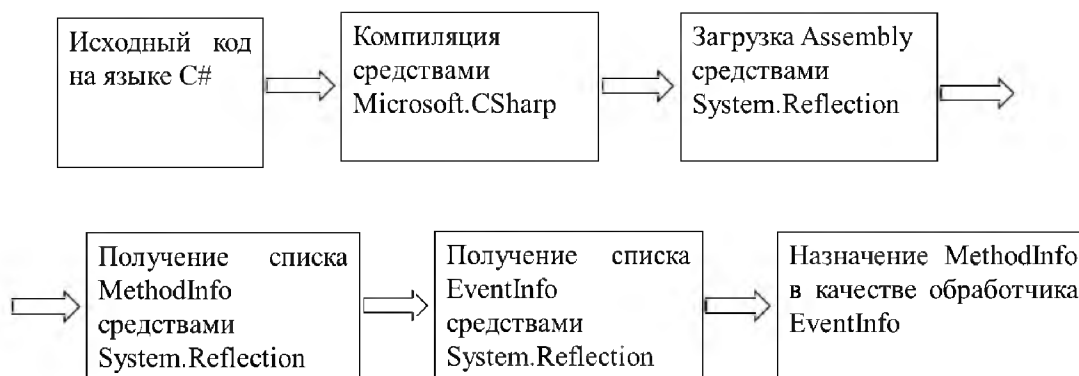


Рисунок 2. – Использование компиляции кода во время выполнения

Важной технологической особенностью является внедрение в сборку, компилируемую во время выполнения, ссылок на сборки, в которых реализованы различные подсистемы модельного объекта (перемещения, разведки и др.). После динамической загрузки сборки и при создании экземпляра класса, содержащего методы-обработчики событий, в него внедряется ссылка на управляемый модельный объект, что позволяет осуществлять любую форму взаимодействия между кодом, написанным пользователем, и объектом в системе моделирования. Параметры или поля объекта могут быть помечены соответствующими атрибутами, позволяющими понять пользователю их название и описание. Аналогично для понимания назначения и особенностей функционирования атрибутами могут быть помечены экземпляры задач.

По результатам разработки был получен работоспособный модуль, однако практика его использования выявила сложности, возникающие при его эксплуатации оператором. Процесс работы в этом случае мало чем отличался от процесса разработки программного обеспечения на языке общего назначения. Данный подход делает возможным лишь связывание событий и их обработчиков, не позволяя осуществлять управление взаимодействующими объектами во время выполнения ими совместных задач. Также открытым остается вопрос передачи исходных данных в задачи, которые предполагается выполнять при возникновении соответствующих событий. Кроме того, важным недостатком такого подхода является то, что он не обеспечивает наглядность и понимание протекающих процессов. Эта задача может быть решена за счет использования визуальных средств программирования.

В настоящее время получили распространение такие визуальные языки программирования, как Дракон, FBD, LD, Скретч, Flow и др. В ходе исследований были предприняты попытки сопряжения СМВД с известными визуальными языками программирования. Каждый из визуальных языков представляет собой закрытую систему, и его интеграция с СМВД явным образом невозможна. Некоторые из языков поддерживают генерацию исходного кода на основе созданных схем. Однако для адекватного управления поведением модельного объекта необходима информация о состоянии объекта, его окружении, параметрах описания из базы данных, списке возможных задач объекта, параметрах моделирования (погодных условиях) и др. Получить доступ к подобной информации из среды разработки на том или ином визуальном языке невозможно.

Таким образом, ни один из рассматриваемых технологических подходов к созданию инструментария управления модельными объектами не удовлетворяет в полной мере всем требованиям, в связи с чем возникает необходимость самостоятельной разработки данного инструментария.

Для обеспечения наглядности предлагается использовать именно средство визуального проектирования – визуальный конструктор управления поведением объектов (рисунок 3).

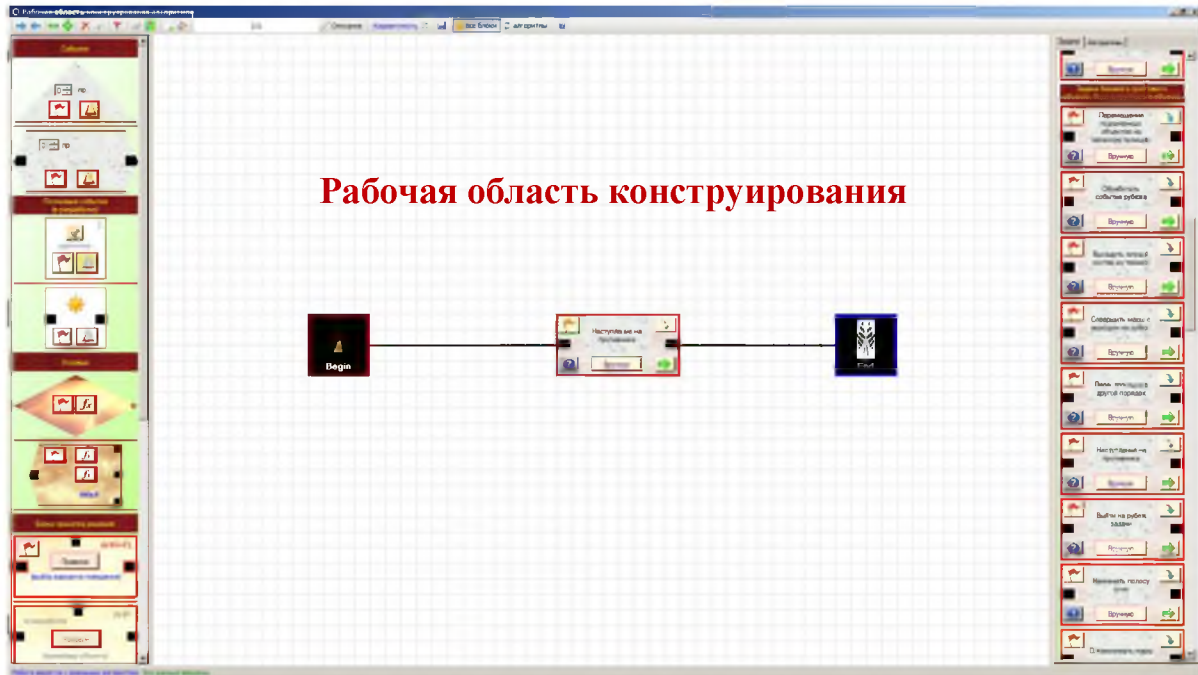


Рисунок 3. – Рабочая область визуального конструктора

Каждая задача в окне конструктора имеет собственное визуальное представление в виде графического блока, имеющего вход и выход (рисунок 4).

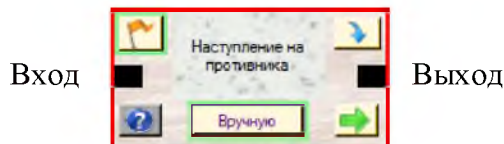


Рисунок 4. – Визуальное представление блока-задачи

Далее визуальную схему, составленную с помощью конструктора и описывающую поведение объекта, будем называть алгоритмом.

Для каждой из задач должен быть назначен конкретный объект-исполнитель, а также введены требуемые исходные данные. Блоки могут соединяться друг с другом направленными линиями передачи управления. Принцип работы конструктора заключается в последовательном выполнении блоков в соответствии с установленными связями. С этой целью реализован специальный программный конвейер выполнения блоков. Каждый из используемых блоков позволяет визуализировать текущий статус выполнения.

В силу иерархической структуры модельных объектов, на каждом уровне управления объекты будут выполнять задачи, соответствующие их уровню. Так, в рамках выполнения батальоном задачи наступления на противника каждая из рот будет выполнять свою задачу наступления со своими маршрутами выдвижения, рубежами и т. д., однако в целом это можно рассматривать как действия батальона. Аналогично действия роты будут состоять из действий взводов. В связи с этим, помимо блоков-задач, используются блоки-алгоритмы, инкапсулирующие введенную пользователем совокупность блоков на рабочую область, в которую, в свою очередь, могут включаться другие блоки-алгоритмы, за счет чего получается иерархия действий подразделений (рисунок 5). Проверка полноты ввода данных осуществляется иерархически, т. е. если в каком-либо блоке данные отсутствуют, считается, что они не заданы и во всех блоках-алгоритмах вышестоящего уровня.

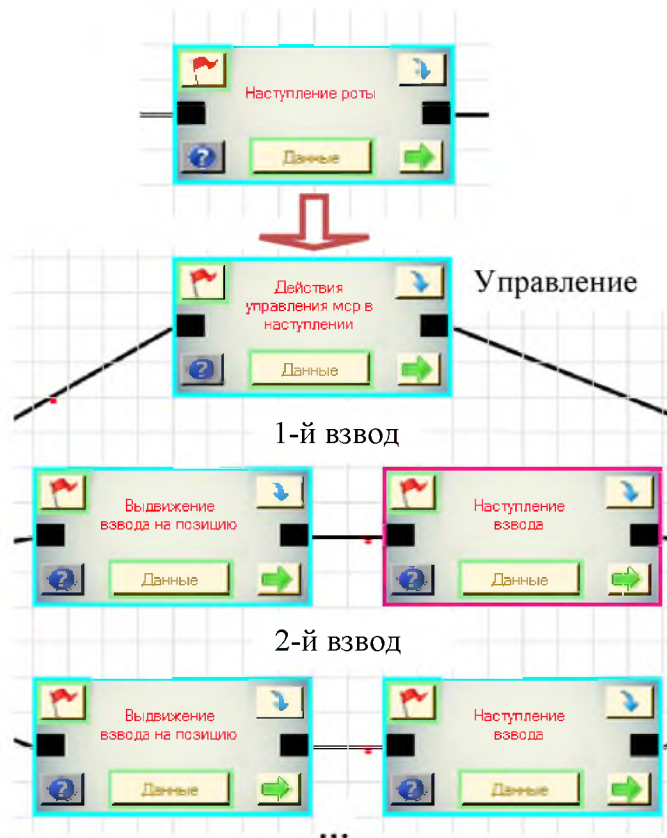


Рисунок 5. – Вложенная структура действий

Кроме блоков-задач и блоков-алгоритмов, существует ряд управляющих блоков: блоки-события, блоки логических условий, блоки генерации и контроля времени «Ч», блок временной задержки, блок условия и блок-переключатель (рисунок 6).

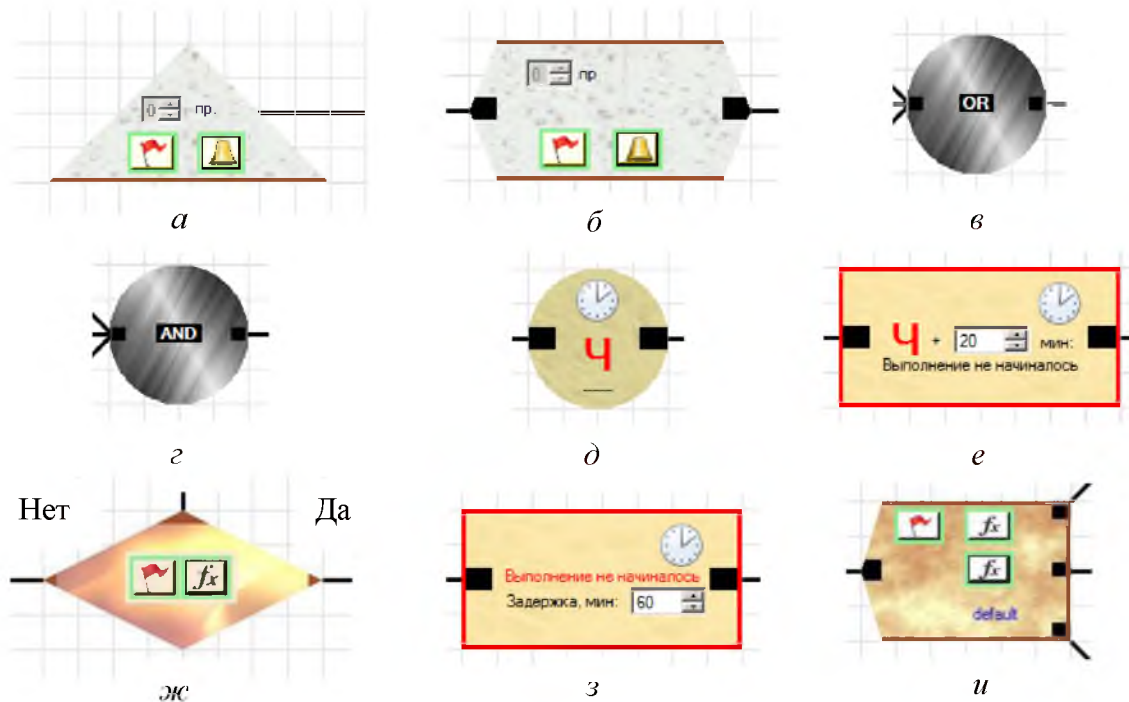


Рисунок 6. – Управляющие блоки

Существует два вида блоков-событий: простое (рисунок 6, а) и ожидающее (рисунок 6, б) события. Для каждого из указанных блоков задается управляющее выражение – предикат, а также объект, являющийся источником данного события. Блок ожидающего

события позволяет активировать механизм контроля возникновения события на определенном этапе выполнения алгоритма, тогда как блок простого события осуществляет данный контроль постоянно.

После того как значение предиката станет истинным, например, потери указанного подразделения превысят 20 %, управление передается блокам, размещенным в соответствии с установленными связями. Системы блоков-событий могут быть помещены в соответствующие блоки-алгоритмы, активируемые на определенных этапах действий подразделений, что позволяет по-разному реагировать на события в зависимости от текущего вида действий. Например, в случае осуществления разведывательных действий подразделением система его реакций на события может отличаться от той, что будет иметь место для подразделения, находящегося в позиционной обороне.

Синхронизация выполнения действий объектами осуществляется за счет блоков логических условий «И» (рисунок 6, з) и «ИЛИ» (рисунок 6, в). Блок условия «ИЛИ» однократно передает управление блокам, соединенным с его выходом, при поступлении управления от любого из блоков, подключенных к его входу. Блок условия «И» однократно передает управление блокам, соединенным с его выходом, если управление поступит от каждого из блоков, подключенных к его входу. Это дает возможность выполнять некоторые действия по соблюдению системы условий. Так, наступление на противника может осуществляться подразделением только после того, как оно выйдет в район сосредоточения, займет соответствующие рубежи, и будет закончена артиллерийская подготовка предполагаемого района скопления сил противника (рисунок 7).

В практике управления подразделениями широко используется привязка к некоторой точке отсчета – времени «Ч». Блок генерации времени «Ч» (см. рисунок 6, д) устанавливает факт его наступления в рамках алгоритма. Условие генерации времени «Ч» определяется блоками, от которых передается управление данному блоку. Например, это могут быть блоки событий. Блок контроля времени «Ч» (см. рисунок 6, е) передает управление далее, в соответствии с установленными связями, в случае если наступило время «Ч» и истек указанный временной интервал.

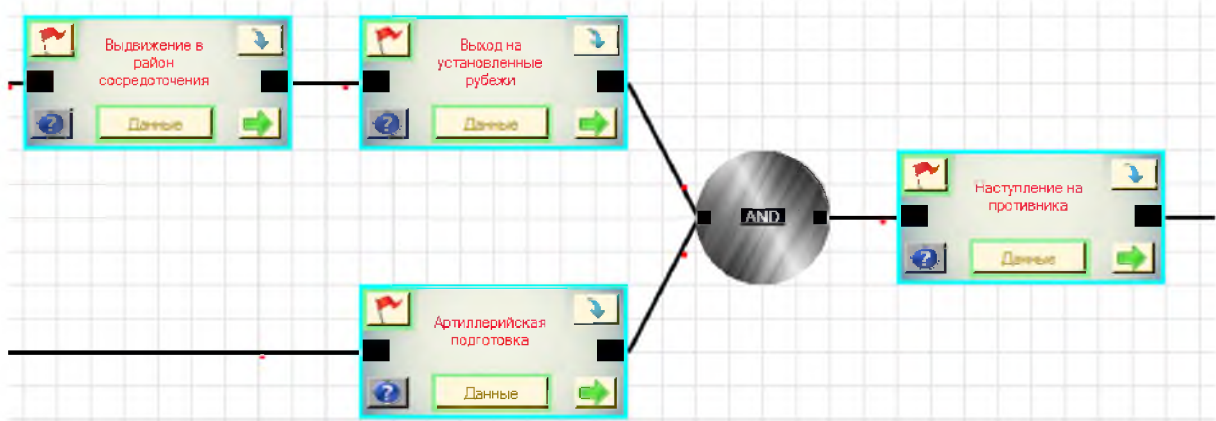


Рисунок 7. – Использование блока условия «И»

Для ожидания в течение заданного временного промежутка также может использоваться блок временной задержки (см. рисунок 6, з).

Для управления потоком выполнения цепочек действий используются блок-условие (см. рисунок 6, ж) и блок-переключатель (см. рисунок 6, и). Для данных блоков задаются предикативные выражения, в зависимости от истинности которых поток управления направляется на тот или иной выход, за счет чего обеспечивается простая форма принятия решений.

В рамках алгоритма задается требуемое поведение всех объектов, входящих в состав объекта, для которого данный алгоритм создается. Так, если алгоритм создается для уровня роты, в нем могут использоваться действия подчиненных взводов.

С помощью конструктора возможно создание потенциальных алгоритмов – шаблонов, задающих общий порядок действий, в которых отсутствуют конкретные исходные данные. Такие алгоритмы могут быть использованы в других алгоритмах – более высокого уровня. В процессе конструирования алгоритма пользователю предоставляется список из уже созданных потенциальных алгоритмов для объекта данного и нижестоящего уровней (рисунок 8).

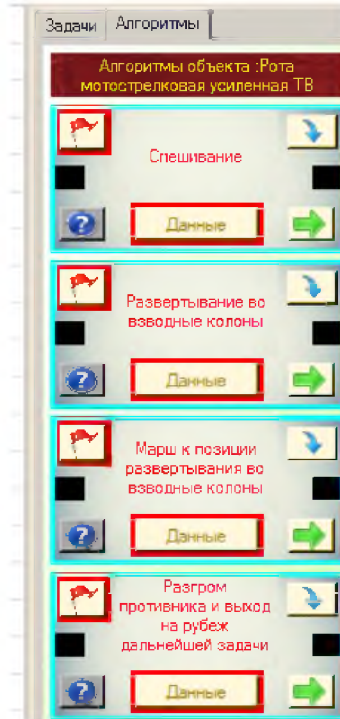


Рисунок 8. – Список пользовательских шаблонов алгоритмов

Существует особая разновидность алгоритмов – схемы управления экспериментом, в рамках которых осуществляется управление не каким-либо из объектов, а всей совокупностью имеющихся объектов на карте за ту или иную сторону войск (КРАСНЫХ или СИНИХ). Каждая из сторон может иметь только одну актуализированную, т. е. исполняемую в настоящий момент, схему управления. Аналогично существуют потенциальные схемы управления, представляющие собой шаблон проведения всего эксперимента за ту или иную сторону. Схемы управления могут быть подготовленными – они не исполняются, однако содержат все данные, необходимые для возможности выполнения, и могут быть актуализированы в любой момент. Актуализированные и подготовленные схемы управления сохраняются вместе с примером обстановки.

Возможность актуализации подготовленных схем управления в любой момент позволяет в рамках одного примера запускать серию экспериментов, в которых в автоматическом режиме моделируются все возможные сочетания сценариев проведения КРАСНЫХ и СИНИХ. Это дает возможность оценить каждую из вероятных стратегий управления в сочетании не с одиночным сценарием поведения оппонента, а с системой его возможных действий, благодаря чему можно получить комплексную и всестороннюю оценку рассматриваемого сценария, определить его сильные и слабые стороны.

В целом использование механизма заранее подготовленных шаблонов позволяет подготовить определенную систему фрагментов тактических действий, описанных в виде соответствующих алгоритмов. Так, шаблон алгоритма «Наступление на противника» для ротного уровня может выглядеть следующим образом (рисунок 9). При этом на каждом этапе выполнения задачи могут быть описаны определенные события и реакция на них. Например, в состав блока «Выход на рубеж ближайшей задачи» может быть включен блок проверки условий прекращения наступления и др.

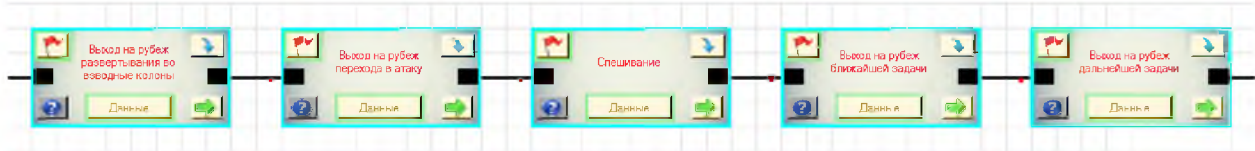


Рисунок 9. – Фрагмент шаблона алгоритма «Наступление на противника»

Система шаблонов может быть использована в учебном процессе и способствовать формированию у обучаемого правильного представления об основных этапах боевых действий. Заполнять шаблон конкретными данными должен будет сам обучаемый. Распределенное нанесение общего замысла эксперимента из разных рабочих мест по сети позволит проводить виртуальные учения с привлечением представителей разных видов и родов войск из числа обучаемых. Каждый из них должен будет в части, его касающейся, понять общий замысел и отработать свою часть алгоритма, осуществляя взаимодействие и координацию действий с другими участниками. Также может быть использована иерархическая система формирования алгоритмов, когда обучаемый, выполняющий роль командира более высокого уровня, выполняя свою задачу, декларирует набор действий подчиненных подразделений в виде соответствующих блоков, тогда как обучаемые, выполняющие роли командиров данных подразделений, должны в полной мере реализовать указанные блоки. Все это позволит развивать у обучаемых системное мышление и формировать взгляд на боевые действия как на совокупность сложных мероприятий, планирование которых требует значительных интеллектуальных ресурсов.

Таким образом, в ходе проведенных исследований был рассмотрен и апробирован ряд технологических подходов к созданию инструментария управления модельными объектами. В результате выяснилось, что ни один из них не является подходящим, поэтому возникла необходимость разработки собственного визуального конструктора, позволяющего задавать последовательности выполнения различных задач объектов, синхронизировать их, описывать события и задавать реакции на них, а также визуализировать текущий статус процесса. Наличие такого конструктора позволяет моделировать более сложные формы действий, в сравнении с теми, которые возможны при использовании только механизма задач. Создаваемые с его помощью алгоритмы и схемы управления экспериментом могут иметь произвольный уровень вложенности и строиться на основе заранее подготовленных шаблонов – фрагментов тактических действий того или иного уровня управления. Возможность формирования набора подготовленных схем управления позволяет в автоматическом режиме моделировать все возможные сочетания вариантов поведения для каждой из сторон. В целом благодаря описанному конструктору могут быть сформированы стратегии поведения сторон или конкретных объектов, которые в дальнейшем могут использоваться для более сложных форм моделирования, например, с учетом рефлексивного управления противоборствующими сторонами.

Список литературы

1. Имитационная система моделирования боевых действий JWARS ВС США / Н. Резяпов [и др.] // Зарубеж. воен. обозрение. – 2008. – № 11. – С. 27–32.
2. Лебеденко, Е. Облако в погонах: военные системы распределенного моделирования [Электронный ресурс]. / Е. Лебеденко. – 2011. – Режим доступа: <http://old.computerra.ru/vision/648544.html>.
3. Базовая система трехмерного представления объектов, условий и процесса моделирования вооруженного противоборства [Электронный ресурс] / ОАО «НПО РусБИТех». – 2010. – Режим доступа: <http://rusbitech.ru/products/combat/4.html>.
4. Белфортекс [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://www.belfortex.com.html>.
5. Разработка модуля принятия решений системы моделирования военных действий / В. М. Булойчик [и др.] // Сб. науч. ст. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2013. – № 24. – С. 10–15.

6. Фаулер, М. Предметно-ориентированные языки программирования / М. Фаулер. – М.: Вильямс, 2011. – 576 с.
7. Карпов, Ю. Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic / Ю. Г. Карпов. – СПб.: БХВ, 2005. – 400 с.

*Сведения об авторах:

Рутько Евгений Викторович,
Булойчик Василий Михайлович,
Герцев Андрей Владимирович,
УО «Военная академия Республики Беларусь».
Статья поступила в редакцию 06.12.2016 г.

ОБЩЕТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

УДК 621.372.512

СИНТЕЗ УСТРОЙСТВА МЕЖПОЗИЦИОННОГО ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ СИГНАЛОВ В БАЗОВО-КОРРЕЛЯЦИОННЫХ КОМПЛЕКСАХ ПАССИВНОЙ ЛОКАЦИИ

А. А. Дмитренко;

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

Синтезирован оптимальный по критерию минимума среднего апостериорного риска алгоритм межпозиционного отождествления сигналов в базово-корреляционных комплексах пассивной локации.

The optimum algorithm of interitem signals identification in cross-correlation passive radars is synthesized by minimum average risk criterion.

Введение

Наличие нескольких излучающих радиосигналы объектов в рабочей зоне базово-корреляционных комплексов пассивной локации (КПЛ) приводит к необходимости решения задачи межбазового отождествления результатов взаимно корреляционной обработки выборок сигналов, полученных разнесенными в пространстве приемными пунктами (ПП) [1–6]. Под *базой* будем понимать пару приемных устройств, сигналы с выходов которых подвергаются взаимно корреляционной обработке.

Таким образом, в результате взаимно корреляционной обработки имеется совокупность n_i ($i = 0 \dots N_{\text{баз}}$) превышений порога на всех базах КПЛ. Факт превышения установленного порога взаимно корреляционной функцией и соответствующее данному максимуму значение разности времени запаздывания будем называть *откликом*.

Сущность задачи межбазового отождествления откликов для двухбазового КПЛ, а также ее геометрическая интерпретация представлены на рисунке 1. Для рассматриваемого примера число откликов на первой и второй базах составляет $n_{01} = 2$ и $n_{02} = 2$ соответственно.

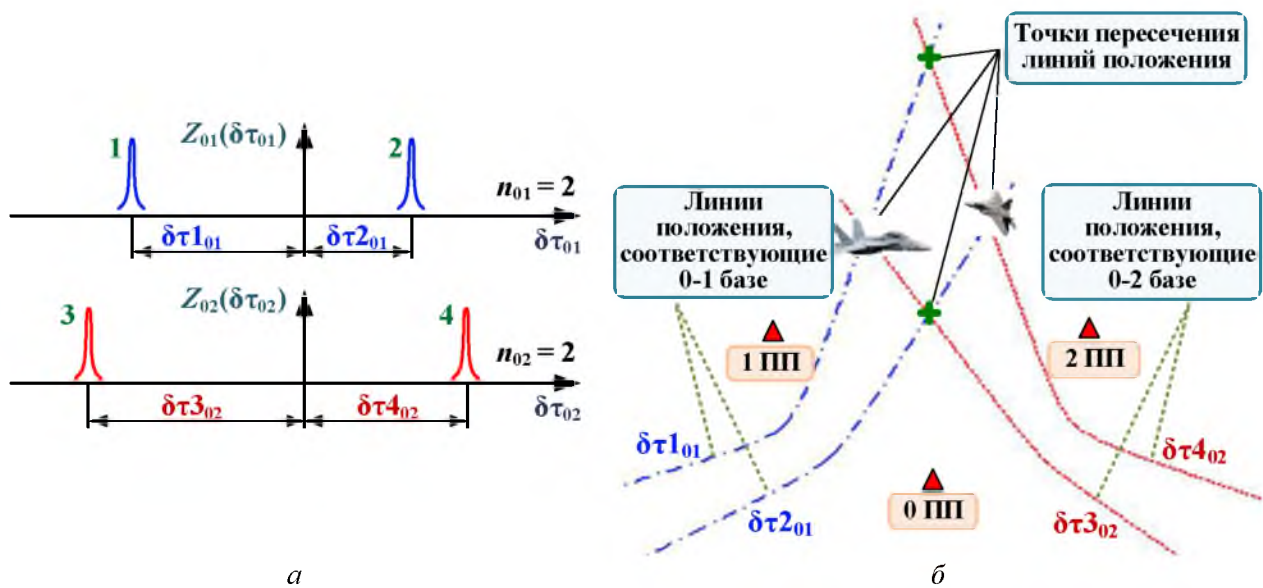


Рисунок 1. – Совокупность откликов корреляторов двухбазового КПЛ (а); точки пересечения линий положения (б)

Сущность задачи межбазового отождествления откликов для трехбазового КПЛ, а также ее геометрическая интерпретация представлены на рисунке 2. Число откликов на первой, второй и третьей базах составляет $n_{01} = 2$, $n_{02} = 2$ и $n_{03} = 2$ соответственно.

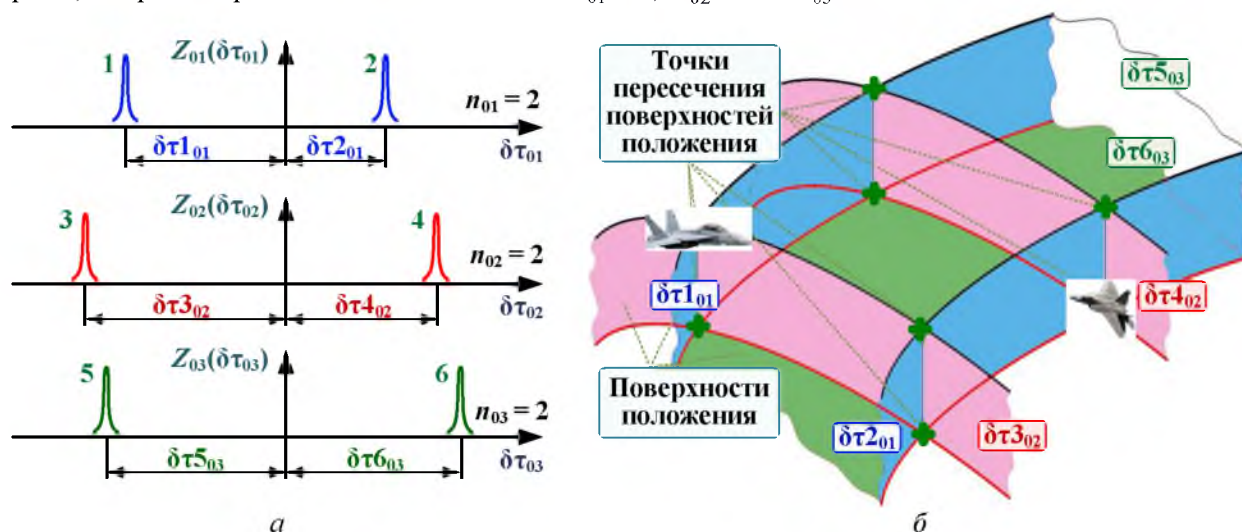


Рисунок 2. – Совокупность откликов корреляторов трехбазового КПЛ (а); точки пересечения поверхностей положения (б)

Ограничения и допущения. При получении решающего правила отождествления были приняты определенные допущения и ограничения. Решение задачи отождествления осуществляется за один контакт с целями при отсутствии каких-либо априорных данных. Каждый из откликов может быть истинным или ложным, однако все отклики считаются разрешенными (один отклик соответствует свертке только двух сигналов).

Число возможных гипотез отождествления при принятых допущениях:

$$N_H = \sum_{k=0}^{\min(n_i)} C_{\max(n_i)}^k \prod_{i=1}^{N_{\text{баз}}} A_{n_i}^k, \quad (1)$$

где C_n^k – число сочетаний из n по k ; A_n^k – число размещений из n по k [7, 8].

Постановка задачи. Для определения истинных координат ИРИ необходимо принять решение об установлении наилучшего в том или ином смысле (в соответствии с выбранным критерием качества) взаимного соответствия между совокупностями полученных на всех базах откликов (принять одну из возможных гипотез отождествления).

Также немаловажным является учет необходимости решения задачи отождествления в реальном (или близком к нему) масштабе времени. При полиномиальной зависимости времени выполнения алгоритма отождествления от числа ИРИ с учетом возможностей современных вычислителей степень полинома не должна превышать 3–4 [9, 10]. Это накладывает существенные ограничения на сложность используемых алгоритмов, которые можно считать практически применимыми, и приводит к необходимости снижения вычислительных затрат путем ограничения числа рассматриваемых гипотез отождествления.

Оптимальное решающее правило отождествления по критерию минимума среднего апостериорного риска

Апостериорный риск отождествления записывается в виде следующей целевой функции, подлежащей минимизации:

$$\bar{R}(\hat{H} | \mathbf{Z}) = \int_{V_H} C(\hat{H}, H) p(\hat{H} | \mathbf{Z}) dH, \quad (2)$$

где $\mathbf{Z} = |Z_1, Z_2, \dots, Z_{N_{\text{баз}}}|^T$ – совокупность взаимно корреляционных функций;

$p(\hat{H} | \mathbf{Z})$ – условная апостериорная плотность вероятности отождествления;

$C(\hat{H}, H)$ – функция стоимости (потерь) отождествления.

С учетом дискретности задачи отождествления, апостериорный риск можно представить в следующем виде:

$$\bar{R}(H_g | \mathbf{Z}) = \sum_{g=1}^{N_H} \sum_{l=1}^{N_H} C(H_g, H_l) p(H_g | \mathbf{Z}), \quad (3)$$

где $C(H_g, H_l)$ – функция стоимости (потерь) отождествления, которая определяет штраф за принятие гипотезы отождествления H_g , когда истинной является H_l .

Постановка задачи в этом случае может быть сформулирована следующим образом: *необходимо найти решающее правило межбазового отождествления откликов, минимизирующее средний апостериорный риск* (3).

Согласно формуле Байеса [1, 7] условная апостериорная плотность вероятности

$$p(H_g | \mathbf{Z}) = \frac{1}{p(\mathbf{Z})} P(H_g) p(\mathbf{Z} | H_g). \quad (4)$$

После подстановки (4) в (3) и проведения преобразования выражение для среднего апостериорного риска примет следующий вид:

$$\bar{R}(H_g | \mathbf{Z}) = \frac{1}{p(\mathbf{Z})} \sum_{g=1}^{N_H} \sum_{l=1}^{N_H} C(H_g, H_l) P(H_g) p(\mathbf{Z} | H_g), \quad (5)$$

где $p(\mathbf{Z})$ – безусловная плотность вероятности принятой реализации;
 $P(H_g)$ – априорная вероятность g -й гипотезы отождествления;
 $p(\mathbf{Z} | H_g)$ – функция правдоподобия g -й гипотезы отождествления.

Примем априорные гипотезы об отождествлении равновероятными. Откажемся от учета безусловной плотности вероятности принятой реализации $p(\mathbf{Z})$, так как она является нормировочным коэффициентом и от рассматриваемой гипотезы отождествления не зависит. Тогда выражение среднего апостериорного риска можно представить в следующем виде:

$$\bar{R}(H_g | \mathbf{Z}) = \sum_{g=1}^{N_H} \sum_{l=1}^{N_H} C(H_g, H_l) p(\mathbf{Z} | H_g). \quad (6)$$

Решающее правило отождествления. В соответствии с правилами поиска экстремума функции для минимизации апостериорного риска (6) необходимо продифференцировать его по H_g , что приводит к следующему уравнению для оптимального байесовского алгоритма отождествления:

$$\frac{\partial}{\partial H_g} \bar{R}(H_g | \mathbf{Z}) = \frac{\partial}{\partial H_g} \left(\sum_{g=1}^{N_H} \sum_{l=1}^{N_H} C(H_g, H_l) p(\mathbf{Z} | H_g) \right) = 0. \quad (7)$$

Минимизируемый средний риск является дискретной и многомодальной функцией и не позволяет непосредственно применять большинство широко используемых математических методов поиска экстремума. Поэтому поиск оптимальной оценки гипотезы отождествления осуществляется путем прямого перебора гипотез отождествления:

$$\hat{H}_g = \arg \min_H [\bar{R}(H | \mathbf{Z})] = \arg \min_H \left[\sum_{g=1}^{N_H} \sum_{l=1}^{N_H} C(H_g, H_l) p(\mathbf{Z} | H_g) \right]. \quad (8)$$

Для практической реализации полученного решающего правила отождествления необходимо конкретизировать вид входящих в его состав функции стоимости отождествления $C(H_g, H_l)$ и функции правдоподобия g -й гипотезы отождествления $p(\mathbf{Z} | H_g)$. Сделать это возможно путем представления задачи межбазового отождествления откликов в виде глобальной оптимизационной задачи о назначениях с ограничениями [11, 12].

Поиск оптимального решающего правила отождествления путем решения оптимизационной задачи о назначениях

Критерием оптимизации в этом случае будет являться минимизация «стоимости» установления (или неустановления) соответствия между совокупностями откликов для всех баз КПЛ. При этом вводится в рассмотрение бинарный, в общем случае многомерный, матричный параметр отождествления (*матрица стробирования*):

$$\Omega = \left\| \omega_{k,m,\dots,n=N_{\text{baz}}} \right\|, \quad k=0,\dots,n_{01}; \quad m=0,\dots,n_{02}; \dots; \quad n=0,\dots,n_{N_{\text{baz}}} \quad (9)$$

где $n_{01}, n_{02}, \dots, n_{N_{\text{baz}}}$ – размерности множеств откликов для всех баз КПЛ.

Мерность данного матричного параметра определяется числом баз КПЛ. Элементы $\omega_{k,m,\dots,n=N_{\text{baz}}}$ принимают значение 1 при наличии возможности взаимного отождествления соответствующих откликов и 0 – при отсутствии возможности их отождествления. Обозначение $k, m, \dots, n = 0$ имеет смысл признания отклика ложным. Поскольку ложными могут оказаться все отклики, первые строки и столбцы матрицы стробирования состоят из единиц. Исходя из этого допущения, многомерная матрица стробирования имеет размерность: $(n_{01}+1) \cdot (n_{02}+1) \cdot \dots \cdot (n_{N_{\text{baz}}}+1)$.

Матрица стробирования. Матрица стробирования получается путем сопоставления совокупностей откликов друг с другом и представляет собой многомерную (двухмерную – для двухбазового КПЛ, трехмерную – для трехбазового КПЛ) матрицу, размерность которой определяется числом откликов на базах, увеличенным на единицу (нулевая гипотеза о ложности отождествляемого отклика). Все элементы матрицы являются единицами, кроме нулевого элемента (запрещенная ситуация) – рисунок 3.

Рисунок 3. – Матрицы стробирования для двухбазового (а), трехбазового КПЛ (б)

Матрицы отождествления (соответствия). На основе матрицы стробирования путем перебора всех возможных комбинаций сочетаний совокупностей откликов составляются события совместного отождествления ζ_g , $g=1 \dots G$, которые устанавливают взаимное соответствие совокупностей откликов в рамках g -й гипотезы отождествления, где N_H – общее число возможных событий (гипотез) отождествления. Каждое из событий совместного отождествления (каждая гипотеза отождествления) представляется с помощью матрицы отождествления:

$$\mu(\zeta_g) = \left[\mu_{k,m,\dots,n=N_{\text{baz}}}(\zeta_g) \right], \quad \mu_{k,m,\dots,n=N_{\text{baz}}} = \begin{cases} 1, & \theta_{k,m,\dots,n=N_{\text{baz}}} \in \zeta_g \\ 0, & \theta_{k,m,\dots,n=N_{\text{baz}}} \notin \zeta_g \end{cases} \quad (10)$$

где $\theta_{k,m,\dots,n=N_{\text{baz}}}$ – событие, заключающееся в том, что совокупность откликов $k,m,\dots,n=N_{\text{baz}}$ совместно отождествлены между собой в рамках составного события ζ_g .

В соответствии с принятыми допущениями один отклик одной базы может быть отождествлен не более чем с одним откликом другой базы, причем любой из откликов может быть ложным:

$$\sum_{k=0}^{n_{01}} \mu_k = 1, \quad \sum_{m=0}^{n_{02}} \mu_m = 1 \dots \sum_{n=0}^{n_{N_{\text{baz}}}} \mu_n = 1. \quad (11)$$

Матрица стоимостей (потерь, рисков) отождествления. Элементы матрицы потерь $c_{k,m,\dots,n}$ равны взятым с обратным знаком логарифмам отношения правдоподобия отождествления откликов, т. е.

$$c_{k,m,\dots,n} = -\ln(\Lambda_{k,m,\dots,n}), \quad (12)$$

где

$$\Lambda_{k,m,\dots,n} = \begin{cases} p_{1k,m,\dots,n}, & k > 0, m > 0, \dots, n > 0, \\ p_{0k,m,\dots,n} \\ \frac{F}{1-F}, & (k=0, m > 0, \dots, n > 0) \cup (k > 0, m=0, \dots, n > 0) \dots (k > 0, m > 0, \dots, n=0), \end{cases} \quad (13)$$

где $p_{1k,m,\dots,n}$ – коэффициент правдоподобия отождествления соответствующих откликов;

$p_{0k,m,\dots,n}$ – коэффициент правдоподобия альтернативы (неотождествления соответствующих откликов);

F – вероятность возникновения ложного отклика.

Решающее правило отождествления. Решающее правило поиска оптимального решения задачи межбазового отождествления откликов заключается в нахождении такого назначения:

$$\hat{\mu}_g = \arg \min_{\mu} [C(\mu)], \quad (14)$$

которое минимизирует глобальную стоимость отождествления:

$$C(\mu) = \sum_{k=0}^{n_{01}} \sum_{m=0}^{n_{02}} \dots \sum_{n=0}^{n_{N_{\text{баз}}}} \mu_{k,m,\dots,n} c_{k,m,\dots,n}, \quad (15)$$

где $c_{k,m,\dots,n}$ – стоимость назначения $\mu_{k,m,\dots,n}$ (выражения (12), (13)).

Сопоставляя выражения (8), (14) и (15), можно сделать вывод о том, что функции стоимости отождествления соответствует матрица потерь вида (12), а функции правдоподобия g -й гипотезы отождествления – матрица отождествления, определяемая g -й гипотезой отождествления. Структурная схема синтезированного устройства межпозиционного отождествления сигналов представлена на рисунке 4.

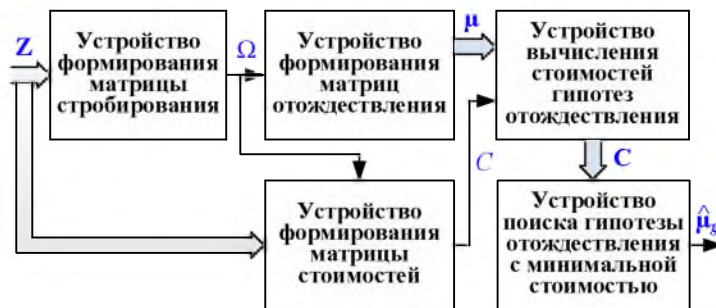


Рисунок 4. – Оптимальное устройство межпозиционного отождествления сигналов в базово-корреляционных комплексах пассивной локации

Синтез оптимального устройства отождествления для двухбазового КПЛ

Синтезируем оптимальное устройство отождествления для двухбазового КПЛ (рисунок 1). В соответствии с полученным решающим правилом (14) для оптимального решения задачи отождествления (выбора наиболее достоверной гипотезы отождествления) необходимо сформировать матрицу потерь отождествления, после чего для каждой из возможных гипотез отождествления сформировать матрицы отождествления. Стоимость каждой из рассматриваемых гипотез отождествления определяется путем перемножения полученных матриц отождествления и матрицы потерь. После чего последовательным перебором всех матриц отождествления необходимо выбрать ту, стоимость принятия которой наименьшая.

Формирование матриц отождествления (соответствия). Сформируем матрицы отождествления для рассматриваемого примера в соответствии с ранее приведенным правилом (10). Число гипотез отождествления без пропусков равно 2, с одним пропуском – 4, плюс нулевая гипотеза (все отметки ложные) – всего 7 ($N_H = 7$).

$$\mu_1 = \begin{bmatrix} - & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \mu_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad \dots \quad \mu_6 = \begin{bmatrix} - & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \mu_7 = \begin{bmatrix} - & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}. \quad (16)$$

Формирование матриц потерь (рисков) отождествления. В соответствии с правилом (13) для рассматриваемого примера матрица потерь:

$$C = \begin{bmatrix} - & r_0 & r_0 \\ r_0 & r & \tilde{r} \\ r_0 & \tilde{r} & r \end{bmatrix}, \quad (17)$$

где r_0 – стоимость предположения о ложности отклика при вероятности его возникновения F :

$$r_0 = \frac{F}{1-F}; \quad (18)$$

r – стоимость предположения о соответствии откликов:

$$r = \frac{p_1}{1-p_1}; \quad (19)$$

\tilde{r} – стоимость предположения о несоответствии откликов:

$$\tilde{r} = \frac{1-p_1}{p_1}. \quad (20)$$

Вероятность отождествления откликов p_1 определяется способом устранения неоднозначности при отождествлении откликов. С этой целью может использоваться признаковая сигнальная информация, а также алгоритм стробирования пространства радиолокационного наблюдения.

Расчет стоимостей (рисков) гипотез отождествления. Поиск оптимального решения (выбор гипотезы с минимальным риском ее принятия). Рассмотрим сигнально-параметрический и пространственно-временной способы отождествления. Также для сравнения рассмотрим процесс поиска оптимального решения в отсутствие какой-либо априорной информации, позволяющей устанавливать соответствие между отождествляемыми откликами.

Зададим конкретные значения вероятностей отождествления. Без априорной информации факт установления соответствия между любыми откликами является равновероятным событием. Для рассматриваемого примера вероятность данного события $p_1 = 0,5$. При сигнально-параметрическом отождествлении примем $p_1 = 0,8$; при пространственно-временном – $p_1 = 0,997$ (размеры стробов отождествления $\pm 3\sigma$).

В отсутствие какой-либо априорной информации риски 6-й и 7-й гипотез минимальны и равны между собой:

$$[C(\mu_6) = C(\mu_7) = 0] < C(\mu_1, \dots, \mu_5). \quad (21)$$

Гипотеза 6 подразумевает отсутствие ложных откликов и представляет собой событие в совместном установлении соответствия между первым и третьим, вторым и четвертым откликами. Гипотеза 7 подразумевает отсутствие ложных откликов и представляет собой событие в совместном установлении соответствия между первым и четвертым, вторым и третьим откликами.

При *сигнальном параметрическом отождествлении* риск принятия 6-й гипотезы отождествления минимален:

$$C(\mu_6) < C(\mu_1, \dots, \mu_5, \mu_7). \quad (22)$$

При *пространственно-временном отождествлении* риск принятия 6-й гипотезы отождествления минимален:

$$C(\mu_6) < C(\mu_1, \dots, \mu_5, \mu_7). \quad (23)$$

Таким образом, применение как сигнально-параметрического, так и пространственно-временного алгоритмов отождествления позволяют находить оптимальную комбинацию взаимного соответствия откликов (принимать истинную гипотезу отождествления) и вычислять истинные координаты ИРИ.

Возможности снижения вычислительных затрат. Прямое решение задачи требует проведения большого числа переборов, которое определяется числом N_H возможных гипотез отождествления (выражение (1)). В качестве примера на рисунке 5 приведено число возможных гипотез отождествления в зависимости от числа ИРИ в рабочей зоне КПЛ с двумя (тремя) базами.

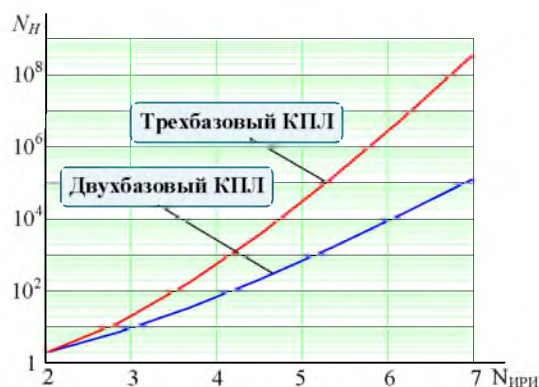


Рисунок 5. – Зависимость числа гипотез отождествления от числа ИРИ

В отсутствие какой-либо априорной информации уменьшить их количество не представляется возможным. При использовании для отождествления признаковой сигнальной информации или пространственно-временного стробирования по измеряемым координатам появляется возможность значительного уменьшения их количества *вплоть до принятия к рассмотрению одной, наиболее правдоподобной гипотезы.*

Выводы

При отсутствии дополнительной информации оптимального решения задачи межпозиционного отождествления откликов в базово-корреляционных КПЛ не существует.

При использовании признаковой сигнальной информации (*сигнально-параметрическом отождествлении*) оптимальным решением является выбор матрицы соответствия, минимизирующей средний риск ошибок отождествления. Применение данного алгоритма возможно при отождествлении сигналов различных типов ИРИ (сигнальные параметры которых различаются). При отождествлении сигналов однотипных ИРИ, параметры которых схожи, риски всех гипотез становятся равными друг другу и, следовательно, решения задачи отождествления в данной ситуации не существует.

При *пространственно-временном отождествлении* оптимальным решением является выбор матрицы соответствия, минимизирующей средний риск ошибок отождествления. Данный алгоритм инвариантен к параметрам обрабатываемых сигналов. Однако при попадании нескольких откликов в один строб, отождествить данные отклики не представляется возможным. Такая ситуация возможна при незначительном пространственном удалении нескольких ИРИ относительно друг друга.

Наилучшие результаты решения задачи межбазового отождествления откликов в базово-корреляционных КПЛ могут быть получены при комплексном использовании сигнально-параметрического и пространственно-временного алгоритмов.

Список литературы

1. Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория. Справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. / под ред. Я. Д. Ширмана. – М.: Радиотехника, 2007. – 512 с.
2. Охрименко, А. Е. Основы радиолокации и радиоэлектронная борьба: учеб. для высших училищ ПВО: А. Е. Охрименко. – М.: Воениздат, 1983. – Ч. 1: Основы радиолокации. – 456 с.
3. Черняк, В. С. Многопозиционная радиолокация. // В. С. Черняк – М.: Радио и связь, 1993. – 416 с.
4. Савенко, С. А. Теория и техника совместной адаптивной обработки сигналов в обзорных активно-пассивных радиолокационных системах: дис.... док-ра техн. наук: 05.12.04 / С. А. Савенко. – Минск: ВА РБ, 2000. – 245 с.
5. Просов, А. В. Алгоритмы межпозиционного отождествления результатов радиолокационных измерений / А. В. Просов, В. П. Квиткин // Сб. науч. работ. – Харьков. ун-т Воздушных Сил им. И. Кожедуба. – 2008. – № 2(17). – С. 46–48.
6. Дмитренко, А. А. Вариант построения комплекса пассивной локализации на основе анализа радиосигналов функционального назначения бортовых РЭС / А. А. Дмитренко, С. Ю. Седышев, С. А. Горшков // Сб. науч. трудов НИИ ВС РБ, – 2012. – № 1(1). – С. 104–109.
7. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – М., 1973.
8. Пападимитриу, Х. Комбинаторная оптимизация. Алгоритмы и сложность / Х. Пападимитриу, К. Стайглиц. – М.: Мир, 1984. – 510 с.
9. Савченко, Д. И. Оптимальные решающие правила и алгоритм отождествления целевой информации / Д. И. Савченко // Труды МАИ. Вып. № 58. – 2015. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=33244>. – Дата доступа: 12.11.2016.
10. Щудро, И. А. Дискретный выбор решающих правил отождествления методом комбинаторной оптимизации / И. А. Щудро // – Cloud of Science. Т. 2, № 1. – 2015. [Электронный ресурс]. – Режим доступ: https://cloudofscience.ru/publications/archive/cos_2_1. – Дата доступа: 06.11.2016.
11. Коновалов, А. А. Основы траекторной обработки радиолокационной информации. – А. А. Коновалов. СПб.: СПбГЭТУ ЛЭТИ, 2013. – 164 с.
12. Blackman, S. Design and analysis of modern tracking systems / S. Blackman, R. Popoli. – Boston, London: Artech House, 1999. – 1230 p.

*Сведения об авторах:

Дмитренко Алесь Александрович,

Седышев Сергей Юрьевич,

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 05.12.2016 г.

УДК 519.2+535.37

ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ИЗЛУЧЕНИЯ И ОПИСАНИЕ СПЕКТРОВ ФЛЮОРЕСЦЕНЦИИ КРАСИТЕЛЕЙ АРКТАНГЕНС-НОРМАЛЬНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ

Н. Л. Черкас, кандидат физико-математических наук;

Е. В. Мищанчук;

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

В целях повышения эффективности функционирования солнечных батарей, которые базируются на космических летательных аппаратах, предлагается использовать люминесцирующие покрытия как трансформаторы коротковолнового видимого и ультрафиолетового излучений в область спектральной чувствительности солнечных элементов. В статье излагается принцип модельных расчетов эффективности AlGaAs-элементов с полимерными покрытиями на основе красителей с квантовым выходом флуоресценции, равным 1. Расчеты выполняются при арктангенс-нормальном распределении интенсивности в спектре флуоресценции.

In order to increase the efficiency of solar batteries which are based on spacecraft, it is proposed to use a luminescent coating as transformers of short-wave visible and ultraviolet radiation in the spectral sensitivity of solar cells. In the article it sets out the principles of model analysis of the efficiency of the AlGaAs-cells with polymer coatings on the basis of dyes with fluorescence quantum yield equal to 1. The calculations are carried out with an arctangent-normal distribution of intensity in the fluorescence spectrum.

Важнейшее условие успешного функционирования космических летательных аппаратов – надежность и эффективность их системы энергообеспечения, которая практически полностью обеспечивается солнечными батареями. Чтобы увеличить эффективность преобразования энергии коротковолнового видимого и ультрафиолетового излучений (УФ) твердотельными солнечными элементами (ТСЭ) космических аппаратов, предлагается использовать полимерные люминесцентные трансформаторы излучения (ПЛТИ) на основе красителей с высоким квантовым выходом флуоресценции. Важно, что ПЛТИ работают и как трансформаторы излучения, и как защитные покрытия ТСЭ [1].

Задача идеального ПЛТИ состоит в том, чтобы полностью поглотить коротковолновое излучение и с максимальной эффективностью трансформировать его в область спектральной чувствительности солнечного элемента [1–13]. Поэтому квантовый выход люминесценции ПЛТИ γ должен быть близким к единице. Согласно закону Вавилова – Каша трансформация излучения обусловлена потерей избытка энергии возбуждения и установлением равновесного распределения по колебательным подуровням S_1 -состояния. Наряду с этим ведутся поиски люминофоров, работающих по принципу удвоения и умножения числа квантов испускания [6]. Удобные и дешевые материалы получают на основе полимеров, активированных добавками люминофоров или красителей или их компаундами. Полимерную пленку наносят на поверхность модулей СЭ, одновременно защищая их от механических и химических повреждений, а также от фотодеградации, которая в большей или меньшей степени инициируется действием УФ-излучения.

Основные положения теории

Вычислим эффективность трансформации света ϕ_{LDS} , учитывая общий положительный эффект ϕ_{Σ} и потери ϕ_{loss} :

$$\phi_{LDS} = \phi_{\Sigma} - \phi_{loss}. \quad (1)$$

Оптимальная толщина ПЛТИ, как правило, не превышает 1 мм. Поскольку стремятся достичь полного поглощения УФ-излучения, то вполне естественно, что спектр флуоресценции $w_r(\lambda)$ искажен реабсорбцией. Для уменьшения влияния реабсорбции

целесообразно использовать люминофоры и красители с большим стоксовым сдвигом полос флуоресценции и поглощения. Перспективными материалами для этих целей являются активированные красителем (или органическим люминофором) полимеры, имеющие квантовый выход выше 90 %.

Перейдем к расчету Φ_{LDS} полимерных покрытий [1].

Спектральный коэффициент пропускания (спектр пропускания) T_λ для покрытия толщиной l имеет вид

$$T(\lambda) = I(\lambda)/I_0 = 10^{-\varepsilon(\lambda)c_M l} = 10^{-D(\lambda)}, \quad (2)$$

где $I(\lambda)/I_0$ – отношение интенсивности света, прошедшего через ПЛТИ, к интенсивности падающего;

$\varepsilon(\lambda)$ – молярный коэффициент экстинкции;

c_M – молярная концентрация красителя в полимере;

$D(\lambda)$ – оптическая плотность.

Наряду с поглощением (2) примем во внимание отражение на внешней R_{out} и внутренней R_{int} поверхностях покрытия и запишем спектральный коэффициент внутреннего пропускания (3):

$$T_{int}(\lambda) = \frac{10^{-D(\lambda)}}{(1-R_{out})(1-R_{int})}. \quad (3)$$

Число фотонов, поглощенных слоем l за единицу времени, есть

$$Q_{abs} = \frac{\int [1 - T_{int}(\lambda)] \sigma(\lambda) d\lambda}{\int \sigma(\lambda) d\lambda}, \quad (4)$$

где $\sigma(\lambda)$ – спектр солнечного излучения (или имитатора).

Введем множитель L_r (5), чтобы учесть ослабление света флуоресценции, вызванное реабсорбцией:

$$L_r = \frac{w_r}{w_0} = \frac{\int w_r(\lambda) d\lambda}{\int w_0(\lambda) d\lambda}. \quad (5)$$

Здесь $w_r(\lambda)$ – спектр флуоресценции активированной красителем пленки, которая используется в качестве ЛТИ; $w_0(\lambda)$ – спектр пленки с низкой концентрацией красителя ($D < 0,05$). Спектры $w_r(\lambda)$ и $w_0(\lambda)$ измеряют способом регистрации в линию для пленок одинаковой толщины при фиксированных условиях, не нарушая геометрию расположения при замене пленок в кюветном отделении спектрофлуориметра. Отметим, что параметр L_r (5) учитывает не только влияние самопоглощения, но и изменение бокового рассеяния света внутри пленки.

Обозначим спектральную чувствительность солнечного элемента без покрытия через $B_0(\lambda)$, а с покрытием – через $B(\lambda)$. Тогда относительное число квантов света флуоресценции, генерирующих электрический ток в СЭ, есть величина F_{el} :

$$F_{el} = \frac{L_r \gamma \int B_0(\lambda) w_0(\lambda) d\lambda}{\int w_0(\lambda) d\lambda} = L_r \gamma S, \quad (6)$$

где интеграл перекрывания (7):

$$S = \int B_0(\lambda) w_0(\lambda) d\lambda / \int w_0(\lambda) d\lambda. \quad (7)$$

ЛТИ-покрытие частично поглощает солнечный свет в области спектральной чувствительности СЭ. Вычислим интегральную величину такого рода потерь, принимая во внимание (6):

$$\phi_{\text{loss}} = \frac{\int (1 - T_{\text{int}}(\lambda)) B_0(\lambda) \sigma(\lambda) d\lambda}{\int \sigma(\lambda) d\lambda}. \quad (8)$$

Объединяя соотношения (4), (6) и (8), из (1) получим

$$\phi_{\text{LDS}} = Q_{\text{abs}} F_{\text{el}} - \phi_{\text{loss}} = Q_{\text{abs}} \gamma L_r S - \phi_{\text{loss}}. \quad (9)$$

Из (9) следует, что эффективность трансформации света ϕ_{LDS} зависит, прежде всего: от оптической плотности ЛТИ-покрытия D (3); квантового выхода флуоресценции пленки γ , измеренного при $D < 0,05$; самопоглощения (реабсорбции) флуоресценции (5); перекрытия спектральной чувствительности СЭ $B_0(\lambda)$ и спектра флуоресценции пленки $w_0(\lambda)$, измеренного при $D < 0,05$ (7); потерь (8).

Арктангенс-нормальное распределение и его применение для оценки эффективности ПЛТИ

Для оптимизации свойств ЛТИ приходится выполнять моделирование процессов преобразования поглощенного солнечного излучения (или имитатора АМ0) в свечение флуоресценции, которое затем поглощается ТСЭ в соответствии с его спектральной чувствительностью $B_0(\lambda)$, т. е. при расчетах дважды используется процедура преобразования сигналов:

- 1) при поглощении солнечного излучения ПЛТИ (4);
- 2) при поглощении флуоресценции ПЛТИ солнечным элементом (6).

Диффузные спектры испускания (поглощения) аппроксимировались с помощью арктангенс-нормального распределения $f(\nu)$, предложенного и апробированного в [14]:

$$f(\nu) = f_0 \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\nu - \omega}{c - b \arctg[a(\nu - \omega)]} \right)^2 \right], \quad (10)$$

где ν – частота излучения, а f_0 – его интенсивность в максимуме полосы флуоресценции (поглощения) на частоте ω ; c , b и a – параметры, характеризующие соответственно полуширину, асимметрию, а также форму спектра на коротковолновом и длинноволновом краях полосы.

Для сравнения использовалось и лог-нормальное распределение.

Показано, что арктангенс-нормальное распределение обладает рядом преимуществ. Одно из них – простой способ оценки исходных параметров итерации, которые находились непосредственно из спектров поглощения и флуоресценции ЛТИ, полученных экспериментально. (Оценка производится по простым формулам, приведенным в [14].)

На рисунке 1 демонстрируется пример применения распределения (10) для описания спектра флуоресценции эталона SRM 936a (бисульфат хинина, 0,5 моль/л H_2SO_4), который использовался ранее и производился в коммерческих целях NIST (Национальным институтом стандартов и технологий, США) [15].

Максимальная ошибка аппроксимации с помощью распределения (10) не превышает 1,72 %, в то время как по сертификату NIST допустимая ошибка измерений спектра эталона SRM 936a составляет 4,60 % [15]. Следовательно, распределение (10) с параметрами $\omega = 22190 \text{ см}^{-1}$, $c = 1736,8 \text{ см}^{-1}$, $b = 546,8 \text{ см}^{-1}$ и $a = 1,75 \cdot 10^{-4} \text{ см}$ пригодно не только для модельных расчетов, но и для аналитического воспроизведения спектра эталона SRM 936a.

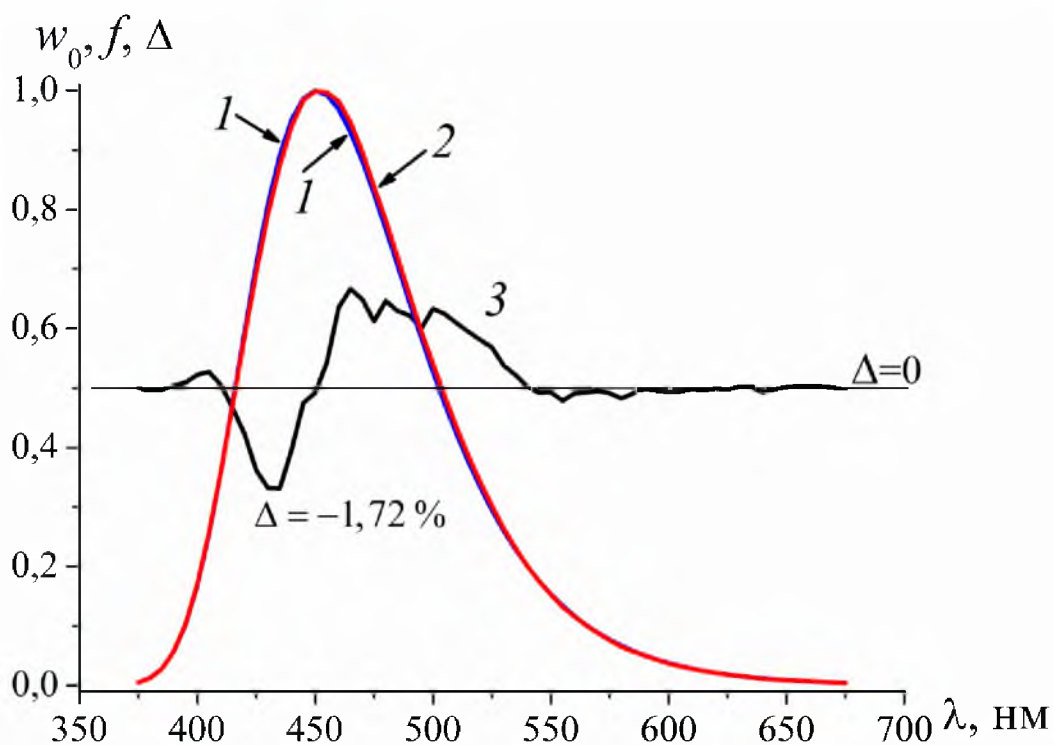


Рисунок 1. – Спектр флуоресценции эталона SRM 936a w_0 [15] (1), его описание арктангенс-нормальным распределением f (2) и расхождение между данными аппроксимации и измерений $\Delta = (f - w_0)$, увеличенное в 10 раз (3)

На рисунке 2 приведены данные, необходимые для моделирования.

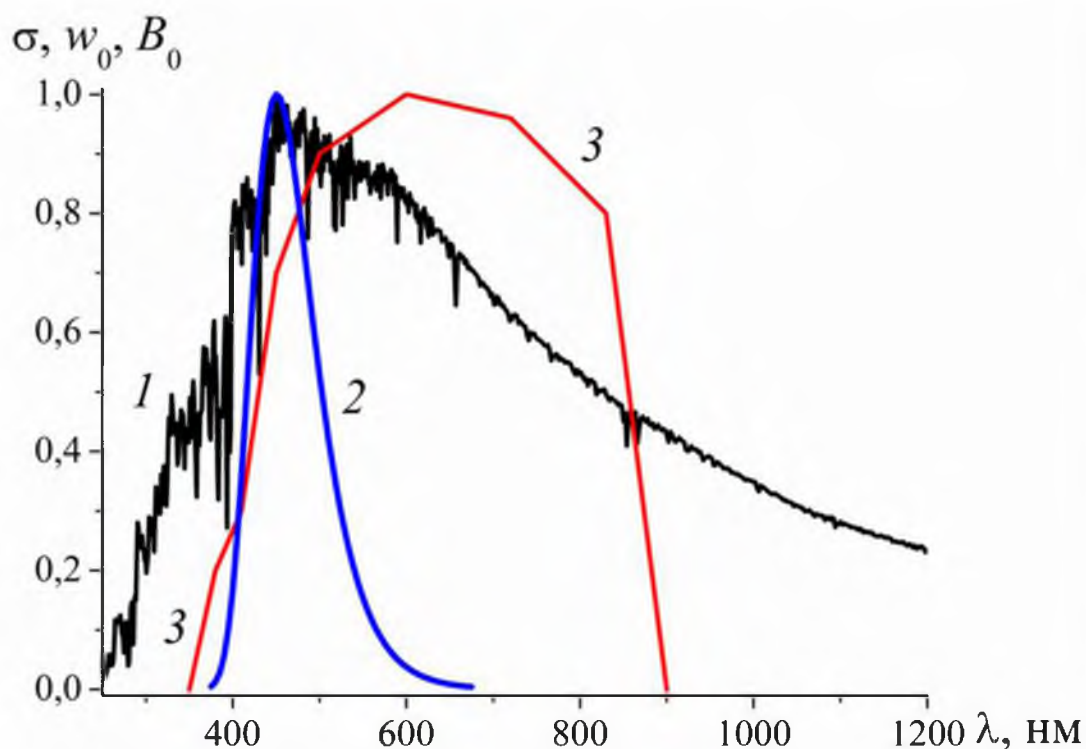


Рисунок 2. – Спектр солнечного излучения в космосе σ согласно стандарту AM0 [16] (1), спектр флуоресценции красителя SRM 936a w_0 [15] (2) и эффективность преобразования энергии солнечного элемента B_0 AlGaAs-типа (3)

При расчете эффективности трансформации света ϕ_{LDS} мы исходили из предположения, что ПЛТИ имеет такой же спектр флуоресценции w_0 , как и эталон SRM 936a (рисунок 2),

а солнечный свет с $\lambda < 410$ нм полностью поглощается трансформатором. Потери на реабсорбцию принимались равными 25 %. Чтобы упростить численное интегрирование, учитывалось, что распределение солнечного излучения в космосе AM0 описывается формулой Планка при $T = 5780$ К [1].

Считалось, что модельному элементу AlGaAs-типа соответствует спектральная эффективность преобразования энергии B_0 в области 350–900 нм, приведенная на рисунке 2. Во многом она подобна эффективности СЭ с инжектором AlGaAs/InGaP [17].

В результате установлено, что при квантовом выходе флуоресценции, равном 1, ПЛТИ позволяет увеличить эффективность преобразования энергии модельного AlGaAs-элемента на 6,6 %.

Выводы

1. Как показано здесь и ранее в [14], арктангенс-нормальное распределение (10) хорошо описывает диффузные спектры флуоресценции и поглощения красителей. Более того, оно обеспечивает идеальную аппроксимацию экспериментальных данных на краях полос с практически нулевым значением отклонения Δ (см. рисунок 1).

2. При использовании люминесцентного покрытия увеличение эффективности преобразования энергии ϕ_{LDS} исследованного здесь модельного солнечного AlGaAs-элемента составило 6,6 %. Если спектральная чувствительность B_0 сдвигается как целое в длинноволновую область, то будет возрастать и доля солнечного излучения, которая может быть преобразована ЛТИ. Как следствие, возрастет и ϕ_{LDS} .

Существует множество различных конструкций СЭ, отличающихся составом, назначением, условиями эксплуатации и стоимостью. Поэтому нет сомнений, что дальнейшие исследования по оптимизации параметров ЛТИ представляют значительный интерес. Мы полагаем, что подробные расчеты с учетом свойств, особенностей конструкции и назначения СЭ позволят достигнуть более существенных результатов и подскажут новые технические решения по применению ЛТИ-материалов.

Список литературы

1. Павлович, В. С. Фотопроцессы в биомолекулах, углеродных наночастицах и полимерных солнечных элементах / В. С. Павлович. – Минск: ВАРБ, 2016. – 318 с.
2. Novel, H. J. The effect of fluorescent wavelength shifting on solar cell spectral response / H. J. Novel, R. T. Hodgson, J. M. Woodall // Sol. Energy Mater. Sol. Cells. – 1979. – Vol. 2, № 1. – P. 19–29.
3. Rational design of tetraphenylethylene-based luminescent down-shifting molecules: photophysical studies and photovoltaic applications in a CdTe solar cell from small to large units / Y. Li [et al.] // Phys. Chem. Chem. Phys. – 2014. – Vol. 16, № 47. – P. 26193–26202.
4. Li, Y. Tuning photophysical properties of triphenylamine and aromatic cyano conjugate-based wavelength-shifting compounds by manipulating intramolecular charge transfer strength / Y. Li, T. Ren, W.-J. Dong // J. Photochem. Photobiol. A: Chemistry. – 2013. – Vol. 251, № 1. – P. 1–9.
5. Li, Y. Theoretical modeling on luminescent down-shifting process: A Discussion on luminescent molecule design / Y. Li, W.-J. Dong // 40th IEEE Photovoltaic Specialist Conference (PVSC). – 2014. – P. 2243–2248.
6. Enhancing solar cell efficiency: the search for luminescent materials as spectral converters / X. Huang [et al.] // Chem. Soc. Rev. – 2013. – Vol. 42, № 1. – P. 173–201.
7. Evaluation of the effective quantum efficiency of photon conversion layers placed on solar cells / T. Fix [et al.] // Sol. Energy Mater. Sol. Cells. – 2015. – Vol. 132, № 1. – P. 191–195.
8. Enhanced ultraviolet responses in thin-film InGaP solar cells by down-shifting / X. Sheng [et al.] // Phys. Chem. Chem. Phys. – 2013. – Vol. 15, № 47. – P. 20434–20437.
9. Increased JSC of production line CdTe mini-module through luminescent down-shifting / D. Ross [et al.] // Sol. Energy Mater. Sol. Cells. – 2012. – Vol. 103. – P. 11–16.

10. Increase in short-wavelength response of encapsulated CIGS devices by doping the encapsulation layer with luminescent material / E. Klampaftis [et al.] // Sol. Energy Mater. Sol. Cells. – 2012. – Vol. 101. – P. 62–67.
11. UV enhancement of silicon solar cells using thin SRO films / J. Carrillo-Lopez [et al.] // Sol. Energy Mater. Sol. Cells. – 2012. – Vol. 100. – P. 39–42.
12. Luminescent ethylene vinyl acetate encapsulation layers for enhancing the short wavelength spectral response and efficiency of silicon photovoltaic modules / E. Klampaftis [et al.] // IEEE J. Photovolt. – 2011. – Vol. 1, № 1. – P. 29–36.
13. Klampaftis, E. Improvement in multi-crystalline silicon solar cell efficiency via addition of luminescent material to EVA encapsulation layer / E. Klampaftis, B. S. Richards // Prog. Photovolt: Res. Appl. – 2011. – Vol. 19, № 3. – P. 345–351.
14. Павлович, В. С. Об одном способе аппроксимации диффузных электронно-колебательных спектров молекул / В. С. Павлович, Л. Г. Пикулик // Журн. прикл. спектр. – 1977. – Т. 26, № 4. – С. 697–701.
15. Standard Reference Material 936a. Quinine Sulfate Dihydrate: National Institute of Standards & Technologies. / Gaithersburg, MD 20899. December 16, 1994.
16. Solar Spectra: Air Mass Zero [Electronic resource]. – Mode of access: <http://rredc.nrel.gov/solar/spectra/am0>.
17. The Physics of High-Efficiency Thin-Film III-V Solar Cells / R. E. Welser [et al.] // Solar Cells – New Approaches and Reviews / ed: Leonid A. Kosyachenko. – Croatia, EUROPEAN UNION: InTechOpen, 2015. – P. 247–277; <http://dx.doi.org/10.5772/59283>.

*Сведения об авторах:

Черкас Надежда Леонидовна,
Мищанчук Евгений Владимирович,
Павлович Владимир Свиридович,
УО «Военная академия Республики Беларусь».
Статья поступила в редакцию 16.01.2016 г.

РАЗРАБОТКА, МОДЕРНИЗАЦИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

УДК 621.37

ОСОБЕННОСТИ ПОДАВЛЕНИЯ РАДИОВЗРЫВАТЕЛЕЙ С ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ ЗОНДИРУЮЩЕГО СИГНАЛА, ПОСТРОЕННЫХ ПО ПРИНЦИПУ СЛЕДЯЩЕГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ВЫСОТЫ

А. М. Гатальский

О. Г. Лапука, доктор технических наук, профессор*

Статья посвящена обоснованию параметров ретрансляционной помехи радиовзрывателям артиллерийских боеприпасов, построенным по принципу следящего радиовысотомера. Получены формулы и определены ограничения для расчета параметров помехи, обеспечивающей имитацию требуемой высоты для преждевременного срабатывания радиовзрывателей на безопасном удалении от прикрываемого объекта.

The article is devoted to substantiation of the parameters of retransmission jam to the proximity fuzes of artillery munitions, is built on the principle of tracking radar altimeter. The formulas and defined constraints to calculate the parameters of the jam, providing the imitation of the desired height for the premature triggering of proximity fuzes at a safe distance from the cloaked object.

Введение

Применение следящей системы в измерителях высоты радиолокационных взрывателей (РВ) с непрерывным излучением частотно-модулированных колебаний обеспечивает повышение помехоустойчивости и обуславливает особенности их функционирования, существенные для радиоподавления. Данные особенности должны быть учтены при обосновании частотных параметров имитирующей помехи РВ, обеспечивающей преждевременный подрыв артиллерийских боеприпасов на безопасном удалении (высоте) от прикрываемого объекта или перевод их на ударное действие.

Анализ особенностей работы следящих измерителей высоты, существенных для радиоподавления

Рассматривая РВ как систему, построенную по принципу высотомера, необходимо проанализировать особенности ее функционирования применительно к решаемой задаче – определению момента достижения боеприпасом высоты, оптимальной для подрыва. При частотном методе измерения дальности решение задачи заключается в определении разности частот переданного и принятого сигналов до момента достижения ею значения, соответствующего этой высоте. В случае принятия решения о подрыве по результатам единичного измерения высока вероятность возникновения ситуации, когда в результате воздействия на приемник РВ активных помех данное решение будет принято преждевременно на высоте, существенно отличающейся от оптимальной. Вид и параметры помехи таким РВ, построенным на основе несledящего измерителя высоты, обоснованы в работе [1].

Защита РВ от срабатывания по аномальным результатам измерений, т. е. отличающимся от ожидаемых, при воздействии как искусственных (преднамеренных, непреднамеренных), так и естественных помех может быть обеспечена путем внедрения в состав измерителя следящей системы. Помимо повышения помехоустойчивости, применение следящей системы позволяет улучшить точность измерений, а также обеспечить экстраполяцию результатов измерений при исчезновении принимаемого сигнала. Слежение за высотой в высотомерах, использующих частотно-модулированные зондирующие сигналы, сводится к удержанию разностной частоты в полосе пропускания узкополосного фильтра.

Автоматическое слежение позволяет сделать систему узкополосной и обеспечивает выигрыш в отношении сигнал/шум по сравнению с неперестраиваемым измерителем, полоса пропускания линейной части которого охватывает весь диапазон возможных значений разностной частоты, тогда как в каждый момент времени спектр преобразованного сигнала (разностной частоты) занимает лишь небольшую часть этой полосы. Применение следящей системы приобретает особую актуальность для высотомеров на основе аналоговых измерителей частоты, построенных по принципу счетчика числа «нулей» преобразованного сигнала за период модуляции или использующих частотный дискриминатор [2, 3]. Слежение за частотой в цифровых системах оправдано необходимостью защиты от аномальных результатов измерений, возникающих в результате воздействия сигналоподобных имитирующих помех.

Следует отметить, что работе высотомера в режиме слежения предшествует поиск сигнала. Оптимальная высота разрыва РВ H_{opt} заранее известна. Размер зоны поиска определяется предельными измеряемыми значениями высоты ($H_{\text{max}} - H_{\text{min}}$). Минимальное значение H_{min} целесообразно выбирать не меньше оптимальной высоты разрыва. Выбор максимального значения зависит от условий применения взрывателя: времени дальнего взведения; траекторных характеристик (угла и скорости падения); быстродействия системы поиска; энергетических параметров; обуславливающих потенциальные возможности по обнаружению сигнала.

Для различных типов артиллерийских систем значение оптимальной высоты разрыва составляет 2...20 м, в то время как апогей траектории может достигать нескольких тысяч метров. Поскольку основной функцией измерителя высоты в составе РВ является определение момента времени, оптимального для подрыва, не требующее измерения высоты на большей части траектории полета боеприпаса, то включение РВ вблизи цели (подстилающей поверхности) предотвратит его раннее обнаружение средствами разведки противника и преждевременное срабатывание в результате воздействия активных помех. Измерение может осуществляться только на конечном участке траектории, начиная с высоты, превышающей оптимальную высоту разрыва в 5...10 раз. Поэтому в качестве типового диапазона поиска можно принять интервал высот от 10 до 200 м.

Этапы работы РВ при различных углах наклона траекторий полета представлены на рисунке 1.

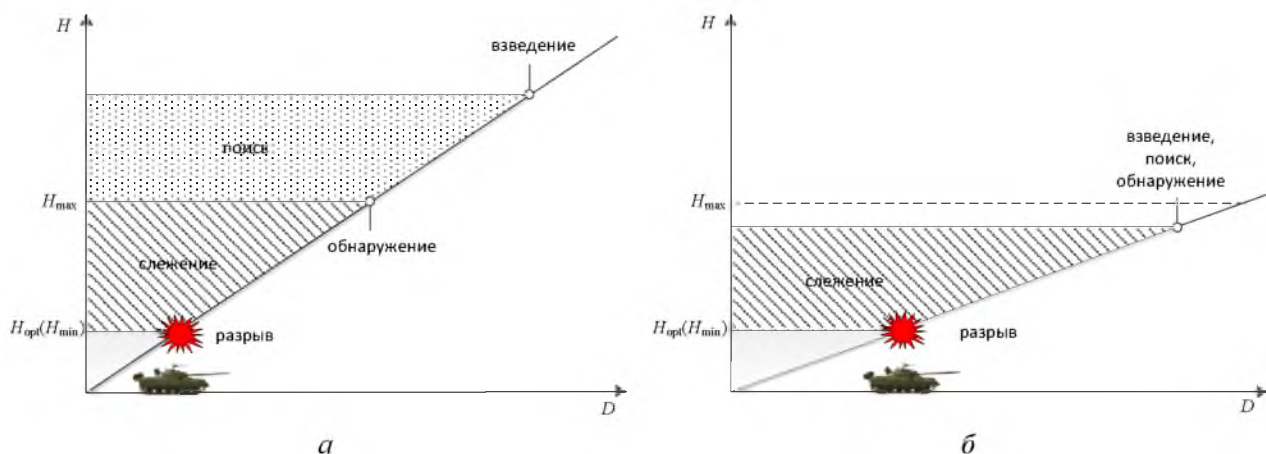


Рисунок 1. – Этапы работы РВ на основе следящего измерителя высоты при навесной (а) и настольной (б) стрельбе

Непосредственно после взведения начинается этап поиска сигнала в диапазоне разностных частот, ширина которого пропорциональна интервалу измеряемых высот. Поиск происходит до момента достижения боеприпасом верхней границы интервала измеряемых высот. На рисунке 1, а этапу поиска соответствует отрезок траектории между точкой взведения РВ и точкой, в которой происходит обнаружение отраженного сигнала. При достаточном для обнаружения уровне сигнала происходит его захват на сопровождение.

Этап слежения завершается подрывом боеприпаса при достижении частотой преобразованного сигнала значения, соответствующего оптимальной высоте разрыва.

На рисунке 1, б этап поиска не показан ввиду его кратковременности. Захват сигнала на сопровождение осуществляется после его обнаружения при однократном обзоре интервала измеряемых высот после взведения РВ. Такая ситуация наиболее вероятна для пологих траекторий при настильной стрельбе (угол падения менее 20°), на которых взведение РВ происходит при его нахождении в интервале измеряемых высот.

Сужение полосы пропускания следящего РВ на этапе слежения позволяет сделать вывод, что наиболее благоприятным для постановки имитирующих помех является этап поиска. Вследствие возможной кратковременности этапа поиска формирование помехи необходимо осуществлять немедленно после взведения РВ. Иначе может произойти обнаружение и захват на сопровождение сигнала, отраженного от подстилающей поверхности.

При отсутствии информации о параметрах модуляции зондирующего сигнала главными исходными данными для обоснования параметров ретрансляционной помехи следящему измерителю являются диапазон измеряемых высот и диапазон дальностей взведения. При этом задача обоснования заключается в поиске такого вида и параметров помехи, при которых обеспечивается имитация высоты из интервала от H_{\min} до H_{\max} при взведении РВ боеприпаса на любой дальности из интервала от $D_{в\min}$ до $D_{в\max}$.

Обоснование вида и параметров помехи следящему измерителю высоты

Анализ особенностей функционирования РВ артиллерийских боеприпасов [1] показал, что для большинства из них взведение осуществляется на удалении $D_{в}$ от 700 до 2000 м от цели. Диапазон измеряемых высот с учетом рассмотренных выше допущений ограничим интервалом от 10 до 200 м.

В [1] предложен способ имитации требуемой высоты в заданном интервале дальностей. Показано, что для формирования сигнала разностной частоты, пропорционального высоте H на дальности $D_{им}$, необходимо сдвинуть ретранслируемый ЛЧМ сигнал РВ по частоте вниз на величину

$$\Delta f_{сдв} = \frac{2S}{c}(D_{им} - H), \quad (1)$$

где S – крутизна закона ЛЧМ. Выражение для расчета имитируемой высоты, полученное из (1), имеет вид

$$H = D_{им} - \frac{\Delta f_{сдв} c}{2S}. \quad (2)$$

Из приведенной ранее формулировки задачи обоснования следует, что $D_{им}$ и H должны удовлетворять условиям:

$$D_{в\min} \leq D_{им} \leq D_{в\max}; \quad H_{\min} \leq H \leq H_{\max}. \quad (3)$$

При отсутствии информации о параметрах сигнала РВ обоснование параметров помехи проведем для ограниченных диапазонов возможных значений девиации частоты ΔF и длительности сигнала T_m , однозначно характеризующих диапазон крутизны $[S_{\min}; S_{\max}]$.

Рассмотрим случай, когда взведение РВ осуществляется на удалении $D_{в\min}$. Величина частотного сдвига, обеспечивающего имитацию высоты H_{\min} , рассчитывается по формуле

$$\Delta f_{сдв}(1) = \frac{2S}{c}(D_{в\min} - H_{\min}). \quad (4)$$

Из выражения (2) следует, что с увеличением дальности взведения при одном и том же значении частотного сдвига возрастает имитируемая высота. С учетом ограничения имитируемой высоты по условию (3) при фиксированной величине $\Delta f_{сдв}(1)$ максимальная дальность взведения, для которой обеспечивается имитация высоты из интервала поиска, ограничивается величиной

$$D_{\text{им max}}(1) = D_{\text{в min}} + \Delta H, \quad (5)$$

где $\Delta H = H_{\text{max}} - H_{\text{min}}$ величина интервала поиска. Выразив из (4) $D_{\text{в min}}$ и подставив в (5), получим

$$D_{\text{им max}}(1) = \frac{c\Delta f_{\text{сдв}}(1)}{2S} + H_{\text{min}} + \Delta H. \quad (6)$$

Если $D_{\text{им}}(1) < D_{\text{в max}}$, то для обеспечения имитации высоты из интервала поиска во всем диапазоне дальностей взведения потребуется формирование помехи в виде суммы нескольких сигналов, каждый из которых сформирован в результате сдвига принимаемого сигнала по частоте на требуемое значение. Данная процедура может быть реализована путем комплексного понижающего преобразования ретранслируемого сигнала с использованием опорного многотонального сигнала, у которого частоты гармонических составляющих равны величинам частотных сдвигов. Формула расчета частотного сдвига для 2-го интервала дальностей взведения получена в результате замены $D_{\text{в min}}$ в (4) на $D_{\text{им}}(1)$ согласно (6):

$$\Delta f_{\text{сдв}}(2) = \frac{2S}{c} \left(\frac{c\Delta f_{\text{сдв}}(1)}{2S} + H_{\text{min}} + \Delta H - H_{\text{min}} \right) = \Delta f_{\text{сдв}}(1) + \frac{2S}{c} \Delta H. \quad (7)$$

Количество гармоник многотонального опорного сигнала определяется из отношения

$$m = \text{ceil} \left(\frac{\Delta D_{\text{в}}}{\Delta H} \right), \quad (8)$$

где $\Delta D_{\text{в}} = D_{\text{в max}} - D_{\text{в min}}$, $\text{ceil}(\)$ – операция округления до ближайшего большего целого числа. Границы внутренних интервалов дальностей определяются по выражению

$$D_{\text{им max}}(l) = D_{\text{в min}} + l \cdot \Delta H. \quad (9)$$

Величины частотных сдвигов для m интервалов дальностей взведения вычисляются по рекуррентной формуле

$$\Delta f_{\text{сдв}}(l) = \Delta f_{\text{сдв}}(l-1) + \frac{2S}{c} \Delta H, \quad l = 1, 2, \dots, m, \quad (10)$$

которая преобразуется к виду

$$\Delta f_{\text{сдв}}(l) = \frac{2S}{c} (D_{\text{в min}} + (l-1)\Delta H). \quad (11)$$

Графики зависимостей имитируемой высоты от дальности взведения РВ в линейном масштабе, полученные согласно (2), (8) и (11), при $D_{\text{в}} \in [700; 2000]$ м, $H \in [10; 200]$ м, $S = 100$ ГГц/с приведены на рисунке 2. Вертикальными штрихпунктирными линиями обозначены границы интервалов дальностей взведения.

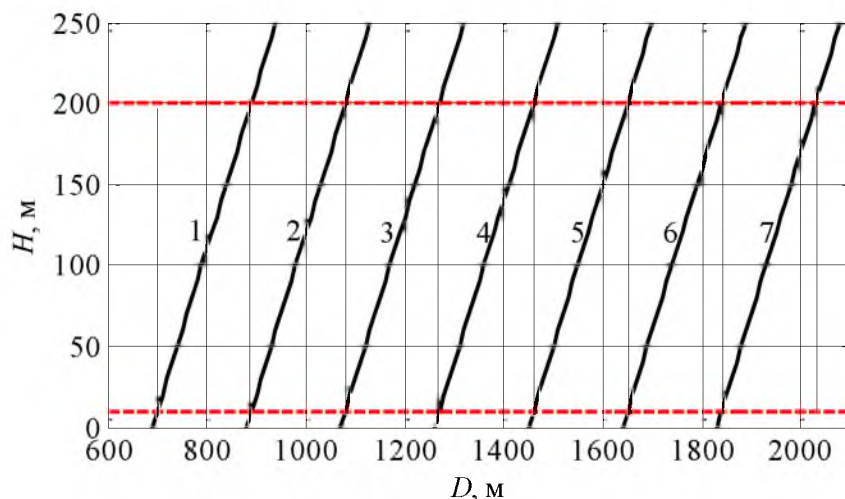


Рисунок 2. – Зависимости имитируемой высоты от дальности взведения при различных частотных сдвигах ретранслируемого сигнала

Номинальные значения частотных сдвигов и соответствующие им границы интервалов дальностей взведения, в пределах которых обеспечивается имитация высоты из интервала поиска, приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Номиналы сдвигов частоты ретранслируемого сигнала и границы интервалов дальностей взведения

l	1	2	3	4	5	6	7
$\Delta f_{\text{сдв}}(l)$, кГц	460	587	713	840	967	1093	1220
$D_{\text{им min}}(l)$	700	890	1080	1270	1460	1650	1840
$D_{\text{им max}}(l)$	890	1080	1270	1460	1650	1840	2030

Представленные результаты справедливы только для значения крутизны $S = 100$ ГГц/с. Как было отмечено ранее, отсутствие информации о параметрах модуляции зондирующего сигнала вынуждает обеспечивать имитацию высоты при произвольном значении крутизны S из интервала допустимых (заданных) значений.

В работе [1, с. 74] получено выражение, позволяющее определить необходимое количество гармонических составляющих опорного сигнала для формирования помехи, обеспечивающей имитацию высоты H в некоторой точке траектории, ограниченной интервалом дальностей $[D_{\text{min}}; D_{\text{max}}]$, при произвольном постоянном значении крутизны из интервала $[S_{\text{min}}; S_{\text{max}}]$:

$$\log_d \left(\frac{S_{\text{max}}}{S_{\text{min}}} \right) \leq n < \log_d \left(\frac{S_{\text{max}}}{S_{\text{min}}} \right) + 1, \quad (12)$$

где $d = (D_{\text{им max}} - H_{\text{opt}}) / (D_{\text{им min}} - H_{\text{opt}})$. Выражение для расчета частотных сдвигов, равных значениям частот гармоник многотонального опорного сигнала, имеет вид

$$\Delta f_{\text{сдв}}(k) = \frac{2S_{\text{min}}(D_{\text{им max}} - H_{\text{opt}})^k}{c(D_{\text{им min}} - H_{\text{opt}})^{k-1}}; \quad k = 1, 2, \dots, n. \quad (13)$$

Условия имитации при подавлении РВ на основе несledящих и следящих измерителей принципиально отличаются. Для первых необходимо обеспечить имитацию высоты H_{opt} при *перемещении* боеприпаса в интервале дальностей подавления от $D_{\text{п max}}$ до $D_{\text{п min}}$, безопасных для подрыва [1], для вторых – имитировать высоту из диапазона измеряемых значений $[H_{\text{min}}; H_{\text{max}}]$ в *точке взведения* РВ на удалении $D_{\text{им}}$ на этапе поиска и обеспечить достижение имитируемого значения H_{opt} в пределах зоны радиоподавления на этапе сопровождения. На первый взгляд, данные различия не позволяют применить выражения (12), (13) для расчета параметров помехи. Однако если принять в качестве интервала дальностей подавления интервал $[D_{\text{им min}}(l); D_{\text{им max}}(l)]$, для которого обеспечивается имитация высоты из интервала поиска, H_{opt} заменить на H_{min} , а поиск сигнала по частоте интерпретировать как движение измерителя, то выражения (12), (13) будут справедливы и для следящих систем. Правомочность такой интерпретации основывается на том, что как при движении, так и поиске отраженного сигнала путем изменения крутизны зондирующего сигнала или частоты опорного гетеродина приемника проявляется один и тот же эффект – изменение разностной (промежуточной) частоты.

Определим необходимое количество гармонических составляющих и соответствующие им номинальные значения частотных сдвигов для ближнего интервала дальностей взведения $[D_{\text{им min}}(1); D_{\text{им max}}(1)]$. Ограничим значения параметров модуляции зондирующего сигнала интервалами $\Delta F \in [75, 300]$ МГц, $T_m \in [50, 2000]$ мкс. Данное ограничение принято в соответствии с результатами анализа потенциальных значений параметров зондирующего сигнала, представленными в работе [1]. Девиация частоты, соответствующая ширине спектра сигнала, обуславливает разрешающую способность по высоте в диапазоне от 2 до 0,5 м соответственно, длительность сигнала – время его

когерентного накопления. С учетом принятых значений ΔF и T_M диапазон крутизны составляет 37,5...6000 ГГц/с. Результаты расчета номинальных значений частотных сдвигов приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Номиналы сдвигов частоты ретранслируемого сигнала для первого интервала дальностей

k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\Delta f_{\text{сдв } k}$, кГц	220	280	358	456	582	742	946	1207	1540	1964	2505
k	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
$\Delta f_{\text{сдв } k}$, кГц	3194	4074	5196	6626	8451	10779	13747	17532	22359	28516	

Выразив $D_{\text{им}}$ из (2), получим выражение, устанавливающее зависимость дальности, на которой обеспечивается имитация высоты $H_{\text{мин}}$, от крутизны при заданном значении $\Delta f_{\text{сдв}}$:

$$D_{\text{им}} = \frac{\Delta f_{\text{сдв}} c}{2S} + H_{\text{мин}}. \quad (14)$$

Графики зависимостей, построенные согласно (14) для частотных сдвигов, указанных в таблице 2, представлены на рисунке 3.

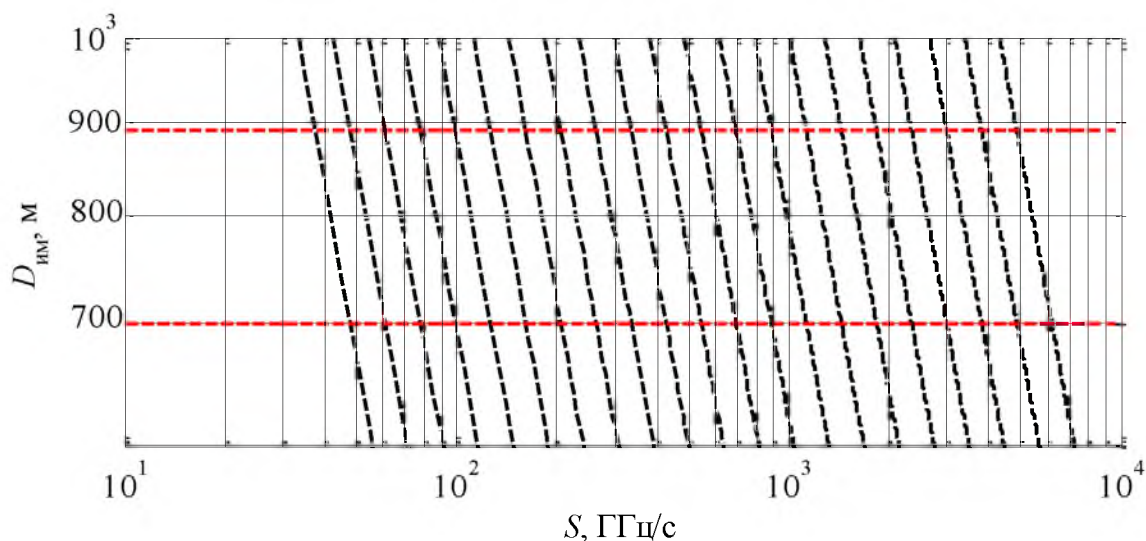


Рисунок 3. – Зависимости дальности имитации от крутизны ЛЧМ

Как следует из графиков, каждая из n составляющих помехи обеспечивает «покрытие» равных в логарифмическом масштабе интервалов крутизны зондирующего сигнала. Аналогично рассчитаны количество и номинальные значения частотных сдвигов для остальных интервалов дальностей взведения. Количество составляющих опорного многотонального сигнала для каждого интервала дальностей взведения приведено в таблице 2.

Таблица 3. – Распределение количества гармоник опорного сигнала по интервалам дальностей

Номер интервала дальности l	1	2	3	4	5	6	7
Количество гармоник многотонального опорного сигнала n_l	21	26	32	37	42	47	52

Общее количество гармоник для перекрытия диапазона крутизны в полном интервале дальностей взведения от 700 до 2000 м представляет сумму гармоник для каждого интервала и составляет

$$\sum_{l=1}^m n_l = 257. \quad (15)$$

Анализ графиков зависимостей (14), построенных для 257 значений частотных сдвигов, показал, что данное количество гармоник является избыточным. Это можно наглядно показать на примере зависимостей для крайних интервалов дальностей (ближнего и дальнего). На рисунке 4, *а* показаны зависимости для 21 гармоники первого интервала дальностей и 53 гармоник седьмого интервала дальностей. Горизонтальными штриховыми линиями обозначены границы интервалов дальностей взведения. На рисунке 4, *б*, *в* данные зависимости представлены в увеличенном масштабе для узкого интервала крутизны.

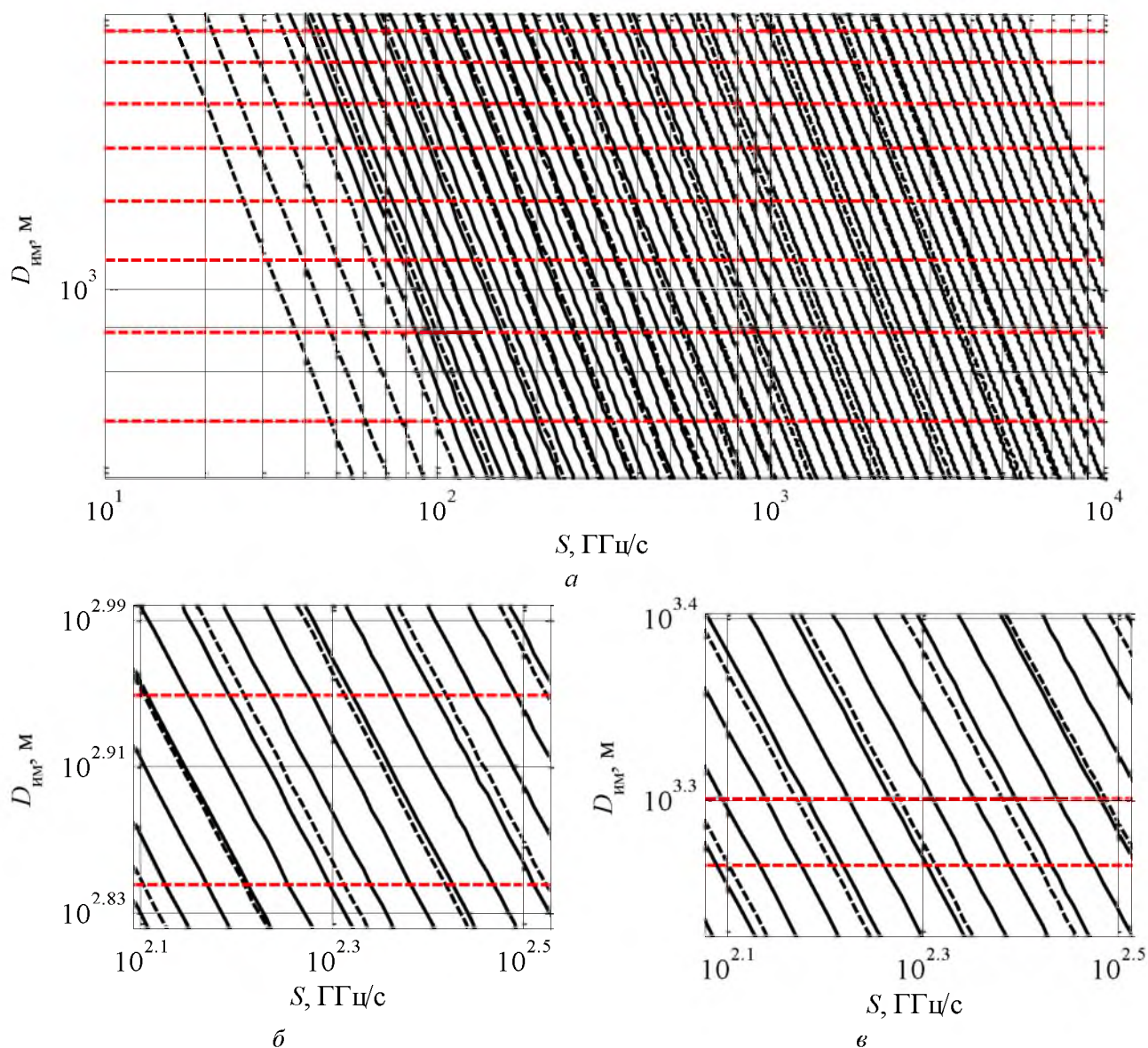


Рисунок 4. – Зависимости дальности имитации от крутизны для «собственных» гармоник первого и седьмого интервалов дальностей

Из рисунков видно, что «собственные», рассчитанные для данного интервала, гармоники опорного сигнала обеспечивают непрерывное покрытие диапазона крутизны в пределах этого интервала дальностей: штриховые наклонные линии – для первого

интервала (рисунок 4, б), сплошные наклонные линии – для седьмого интервала (рисунок 4, в). Гармоники первого интервала не обеспечивают непрерывное покрытие седьмого интервала дальностей, но при этом гармоники седьмого интервала обеспечивают непрерывное покрытие как для собственного, так и для первого интервала дальностей. Данное наблюдение справедливо и для остальных интервалов, которое в общем случае заключается в том, что гармоники дальнего интервала обеспечивают непрерывное покрытие как для собственного, так и для ближних интервалов. В отличие от собственного интервала, покрытие для ближних интервалов осуществляется с перекрытием. С одной стороны, это можно считать избыточностью для данного интервала, с другой – возможностью неоднократной имитации высоты в течение одного обзора интервала измеряемых высот, повышающей вероятность обнаружения и захвата помехи.

Следует отметить, однако, что гармоники дальнего интервала не обеспечивают полное покрытие диапазона крутизны для ближних интервалов: непокрытыми остаются нижние участки диапазона крутизны. Поэтому в целях минимизации количества гармоник, обеспечивающих полное покрытие, необходимо последовательно для остальных интервалов дальности, начиная с шестого, дополнить непокрытые участки диапазона крутизны «собственными» гармониками. Минимизация общего количества гармонических составляющих позволит повысить отношение помеха/сигнал на входе линейной части подавляемого приемника РВ за счет увеличения доли энергии передатчика помех, приходящейся на каждую гармоническую составляющую ретрансляционной помехи.

Обобщенная методика расчета номинальных значений частот и минимально необходимого количества гармоник опорного сигнала для формирования ретрансляционной помехи, обеспечивающей имитацию высоты из интервала поиска для полного интервала дальностей взведения, описывается такой последовательностью операций:

1. Для известных (заданных) граничных значений полного интервала дальностей взведения $D_{в\ min}, D_{в\ max}$ и интервала высот поиска H_{\min}, H_{\max} по формулам (8), (9) определяются количество внутренних интервалов дальностей взведения m и их граничные значения $D_{им\ max}(l)$. Верхняя граница l -го интервала является нижней границей $(l+1)$ интервала дальностей ($l = 1, 2, \dots, m$).

2. Для m -го интервала дальностей взведения (значений $D_{им\ min}(m), D_{им\ max}(m)$, полученных в п. 1) при известных (заданных) граничных значениях крутизны сигнала S_{\min}, S_{\max} по формулам (12), (13) рассчитываются количество n_m и номинальные значения частот гармонических составляющих опорного сигнала, равных частотным сдвигам $\Delta f_{сдв}(k_m)$ копий ретранслируемого сигнала.

3. Оценивается верхняя граница диапазона крутизны $S_{нп\ m-1}$ для $(m-1)$ -го интервала дальностей, непокрытая «собственными» гармониками m -го интервала. Выражение для расчета $S_{нп\ m-1}$, полученное из (1), имеет вид

$$S_{нп\ m-1} = \frac{c \cdot \Delta f_{сдв}(1_m)}{2(D_{им\ max}(m-1) - H_{\min})}, \quad (16)$$

где $\Delta f_{сдв}(1_m)$ – первая «собственная» гармоника m -го интервала дальностей; $D_{им\ max}(m-1)$ – дальняя граница $(m-1)$ -го интервала дальностей.

4. Для $(m-1)$ -го интервала дальностей взведения (значений $D_{им\ min}(m-1), D_{им\ max}(m-1)$, полученных в п. 1) и диапазона крутизны $[S_{\min}, S_{нп\ m-1}]$ по формулам (12), (13) рассчитываются количество $n_{нп\ m-1}$ и номинальные значения частот гармонических составляющих опорного сигнала, равных частотным сдвигам $\Delta f_{сдв}(k_{m-1})$.

5. Выполняются расчеты по пп. 3, 4 для $(m-2)$ и последующих ближних интервалов дальностей взведения.

Общее количество гармоник определяется в результате суммирования количества «собственных» гармоник каждого интервала дальностей:

$$n = n_m + \sum_{l=1}^{m-1} n_{\text{нп } l}, \quad (17)$$

где $n_{\text{нп } l}$ – количество «собственных» гармоник для непокрытых участков диапазона крутизны l -го интервала дальностей.

Результаты расчета количества гармоник опорного сигнала по интервалам дальностей в соответствии с приведенной методикой представлены в таблице 4. Общее количество гармоник равно 58, что в 4,4 раза меньше, чем до минимизации.

Таблица 4. – Распределение минимально необходимого количества гармоник опорного сигнала по интервалам дальностей

Номер интервала дальности l	1	2	3	4	5	6	7
Количество гармоник многотонального опорного сигнала n_l	1	1	1	1	1	1	52

В рассматриваемых условиях имитирующая помеха представляет собой сумму 58 сигналов, каждый из которых сформирован в результате сдвига ретранслируемого сигнала по частоте на величину $\Delta f_{\text{сдв}}$ согласно таблице 5.

Таблица 5. – Номиналы сдвигов частоты ретранслируемого сигнала

Номер гармоник	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta f_{\text{сдв}}$, кГц	220	267	315	362	410	457	505	557	615	679
Номер гармоник	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\Delta f_{\text{сдв}}$, кГц	749	827	913	1008	1113	1228	1356	1496	1652	1823
Номер гармоник	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$\Delta f_{\text{сдв}}$, кГц	2013	2222	2453	2707	2988	3299	3641	4019	4437	4897
Номер гармоник	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
$\Delta f_{\text{сдв}}$, кГц	5406	5967	6587	7271	8026	8859	9779	10794	11915	13152
Номер гармоник	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
$\Delta f_{\text{сдв}}$, кГц	14518	16025	17689	19525	21553	23790	26260	28987	31997	35319
Номер гармоник	51	52	53	54	55	56	57	58		
$\Delta f_{\text{сдв}}$, кГц	38986	43033	47501	52433	57877	63886	70519	77841		

Графики зависимостей дальности имитации, иллюстрирующие полное непрерывное покрытие диапазона крутизны, изображены на рисунке 5. Представленные графики демонстрируют возможность использования ограниченного количества составляющих помехи для обеспечения срабатывания РВ с линейной частотной модуляцией зондирующего сигнала, значения параметров которого находятся в заданных диапазонах ($\Delta F \in [75, 300]$ МГц, $T_m \in [50, 2000]$ мкс).

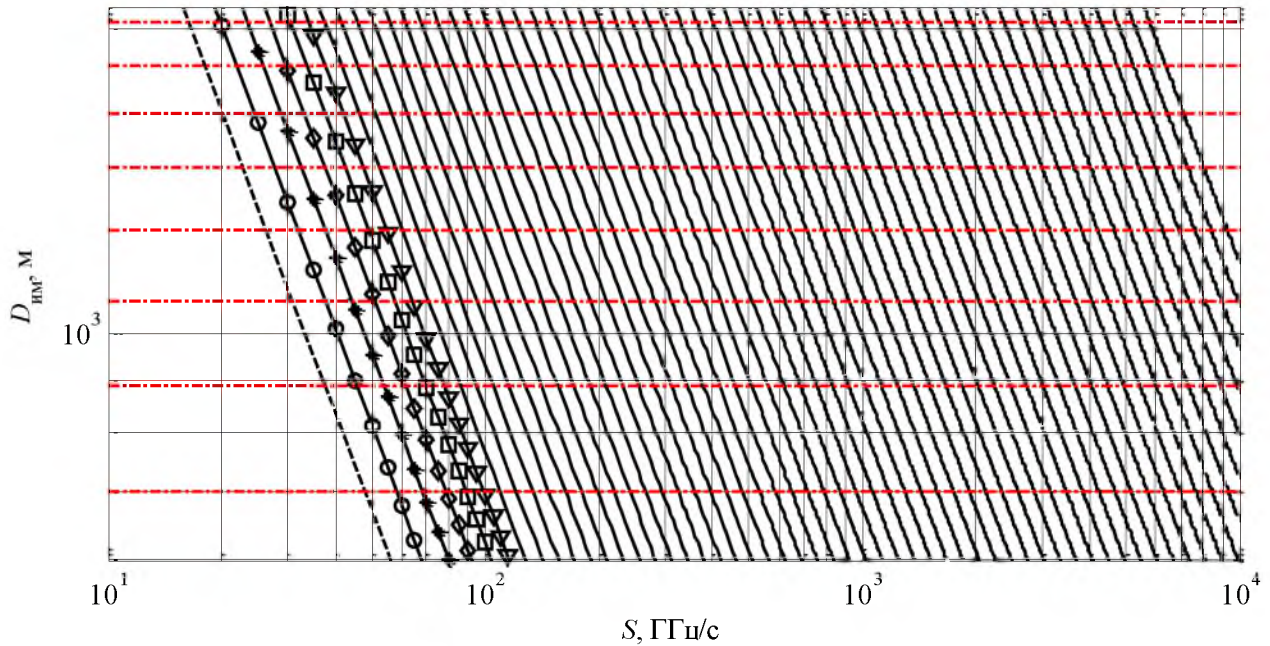


Рисунок 5. – Зависимости дальности имитации от крутизны для помехи, сформированной с использованием 58-тонального опорного сигнала

Полученные результаты характеризуют возможность имитации требуемой высоты для достаточно широкого диапазона потенциальных значений параметров сигнала, обусловленного их априорной неопределенностью. Конкретные системы будут работать только в некотором интервале данного диапазона параметров. Поэтому наличие информации о граничных значениях параметров зондирующего сигнала S_{\min} , S_{\max} , полученной по данным разведки или в результате предварительных измерений, позволит уменьшить количество гармонических составляющих опорного сигнала и тем самым увеличить отношение помеха/сигнал на входе линейной части подавляемого приемника.

Согласно выражению (12) количество гармоник снижается и при увеличении параметра d , обусловленном расширением интервала высот поиска. Однако даже при наличии достоверной информации о ширине интервала поиска при выборе условий для расчета параметров помехи необходимо учитывать ограничения, связанные с выполнением условия эффективного прикрытия – преждевременного подрыва боеприпасов на безопасном удалении от прикрываемого объекта. Имитация штатной высоты разрыва должна быть обеспечена до момента достижения боеприпасом ближней границы зоны радиоподавления $D_{\Pi \min}$ [1]. Для РВ на основе следящих высотомеров это означает, что разница между максимальным значением имитируемой высоты H_{\max} и оптимальной высотой разрыва H_{opt} не должна превышать расстояния между точкой взведения на удалении $D_{\text{в}}$ и ближней границей зоны радиоподавления $D_{\Pi \min}$:

$$H_{\max} - H_{\text{opt}} \leq D_{\text{в min}} - D_{\Pi \min}. \quad (18)$$

Для оценки энергетического выигрыша, обусловленного применением ретрансляционной помехи, в сравнении с активной шумовой помехой произведем анализ отношений помеха/сигнал на выходе устройства согласованной обработки подавляемого приемника РВ для обоих видов помех. В общем случае отношение помеха/сигнал может быть описано формулой

$$k = \frac{P_{\Pi} \cdot k_f}{P_c}, \quad (19)$$

где P_{Π} и P_c – мощности помехи и сигнала на входе устройства согласованной обработки; $k_f = \Delta f_{\text{прм}} / \Delta f_{\Pi}$ – коэффициент пересчета мощности помехи на выходе устройства

согласованной обработки (согласованного фильтра); $\Delta f_{\text{прм}} = 1/T_m$ – эквивалентная полоса пропускания устройства согласованной обработки; Δf_n – ширина спектра помехи.

При условии, что ширина спектра активной шумовой помехи равна ширине спектра сигнала, коэффициент пересчета мощности помехи определяется выражением $k_{fш} = 1/(\Delta F \cdot T_m)$. Для ретрансляционной помехи, представляющей сумму n сигналов, сформированных в результате сдвига принимаемого сигнала по частоте на требуемое значение, величина коэффициента пересчета мощности обратно пропорциональна количеству этих копий, равному числу гармоник спектра многотонального опорного сигнала $k_{fр} = 1/n$. Выигрыш в отношении помеха/сигнал составляет

$$\frac{k_{fр}}{k_{fш}} = \frac{\Delta F \cdot T_m}{n} \quad (20)$$

Для граничных значений параметров модуляции зондирующего сигнала ($\Delta F_{\text{min}} = 75$ МГц, $T_{\text{min}} = 50$ мкс; $\Delta F_{\text{max}} = 300$ МГц, $T_{\text{max}} = 2000$ мкс) величина выигрыша находится в интервале от 65 до 10 345 (от 18 до 40 дБ).

Заключение

Проведенный анализ особенностей работы РВ на основе следящего измерителя высоты позволил определить условия их применения и характеристики, обуславливающие требуемые рациональные параметры помехового сигнала. Получены формулы для расчета количества и номинальных значений частоты гармоник многотонального опорного сигнала, обеспечивающего формирование ретрансляционной помехи для имитации требуемой высоты. Разработана методика, позволяющая минимизировать необходимое количество гармоник многотонального сигнала для заданных значений параметров и условий применения.

Предложенная методика представляет рациональный подход к определению минимального количества гармоник опорного сигнала для формирования имитирующей помехи РВ в условиях, характеризующихся широким диапазоном возможных значений параметров зондирующего частотно-модулированного сигнала. Энергетический выигрыш, достигаемый за счет минимизации количества гармоник, позволяет повысить эффективность аппаратуры радиоэлектронного подавления РВ путем увеличения зоны прикрытия от артиллерийских боеприпасов, оснащаемых РВ, или снижения мощности передатчика помех при одинаковых размерах зоны прикрытия.

Список литературы

1. Обоснование принципов построения станций помех современным помехозащищенным радиовзрывателям артиллерийских боеприпасов: отчет о НИР / УО «ВА РБ»; рук. темы О. Г. Лапука. – Минск, 2016. – 115 с.
2. Комаров, И. В. Основы теории радиолокационных систем с непрерывным излучением частотно-модулированных колебаний / И. В. Комаров, С. М. Смольский. – М.: Горячая линия – Телеком, 2010. – 392 с.
3. Супряга, Н. П. Радиолокационные средства непрерывного излучения / Н. П. Супряга. – М.: Воениздат, 1974. – 182 с.

* Сведения об авторах:

Гатальский Алексей Михайлович,

Лапука Олег Георгиевич,

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 08.02.2017 г.

ПРИМЕНЕНИЕ КОРОТКОХОДОВОЙ СХЕМЫ ВОЗВРАТНО-ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО КПД И ЭФФЕКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ЭНЕРГОУСТАНОВОК НА БАЗЕ СВОБОДНОПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

А. Б. Менжинский;

А. Н. Малашин, кандидат технических наук, доцент;

А. Е. Каледа, кандидат технических наук, доцент;

Е. В. Колчин*

В статье представлено математическое моделирование свободнопоршневого двигателя. Получены зависимости механического КПД и эффективной мощности свободнопоршневого двигателя от величины хода поршневой группы при фиксированной скорости поршня.

The article presents mathematical modeling of the free piston engine. The dependences between the mechanical efficiency and the effective power of the free piston engine from the stroke of the piston at a fixed speed of the piston.

Анализ современных военных конфликтов показал, что к мобильным образцам вооружения (МОВ) 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) МОВ [1].

В настоящее время существует потребность в разработке СЭС МОВ, составной частью которой являлся бы электромеханический преобразователь энергии с высокими энергетическими и минимальными массогабаритными показателями. В военно-исследовательских центрах ведущих стран в качестве перспективного электромеханического преобразователя энергии рассматривается свободнопоршневой двигатель Стирлинга (СПДС) и свободнопоршневой двигатель внутреннего сгорания (СПДВС) с линейным электрическим генератором (ЛЭГ). Подобными энергоустановками на базе свободнопоршневых двигателей (СПД) занимается множество фирм и научных университетов, таких как NOAX и Innas (Дания), Toyota Central R&D Labs Inc., Sandia National Laboratories, Питер Ван Блариган, университет Тояхаши, German Aerospace Center (DLR) и др.

Интерес к исследованию СПД обусловлен рядом преимуществ в сравнении с классическими двигателями внутреннего сгорания с кривошипно-шатунным механизмом (ДВС с КШМ): относительной простотой конструкции, на 40 % меньшим количеством элементов, отсутствием вращающихся частей, что в 2,5–3 раза уменьшает габаритную мощность, удельную массу и металлоемкость СПД [2]. Кроме того, отсутствие КШМ делает такт расширения СПД более быстрым, что снижает потери от теплопередачи тепла в рабочих цилиндрах. Что касается основных эксплуатационных преимуществ СПД, это сниженный на 30 % расход топлива [3], уменьшенная длительность пуска СПД, сниженная шумность за счет возможности обеспечения противофазной работы автономных модулей. Также следует отметить, что СПД, ввиду меньшего числа пар трения, обладают меньшими механическими потерями, имеют повышенную надежность и ресурс при одновременном снижении периодичности технического обслуживания. Кроме того, СПДВС при его использовании совместно с электрическими генераторами имеет возможность непрерывного изменения геометрической степени сжатия в двигателе, за счет чего двигатель может работать на более широкой номенклатуре топлив. К тому же, в подобной энергоустановке может быть реализован процесс управляемого самовоспламенения НССИ (Homogeneous charge compression ignition), позволяющий существенно улучшить показатели топливной экономичности и экологичности [2].

Сравнительный анализ технических характеристик ДВС свободнопоршневого типа и ДВС, использующих в своей конструкции КШМ, показал, что СПД обладают большим КПД

(на 19–27 %), меньшей удельной массой (в 2,5 раза) и большим ресурсом до капитального ремонта (в 1,7 раза). Что касается ДС свободнопоршневого типа и ДС, использующих в своей конструкции КШМ, СПД обладают большим КПД (на 19–27 %), меньшей удельной массой (в 3,5 раза) и большим ресурсом до капитального ремонта (в 1,5 раза) [4].

Важное конструктивное преимущество энергоустановок на базе СПД – это сравнительно легкое их модульное исполнение. Необходимый номинал выходной мощности энергоустановки формируется набором некоторого числа автономных модулей. Модульная конструкция энергоустановки на базе СПД обладает повышенной надежностью и живучестью за счет сохранения частичной работоспособности при аварийных отказах части модулей. Кроме того, появляется возможность нагружать СПД на оптимальную нагрузку, тем самым обеспечивать его работу в режиме, оптимизированном по расходу топлива. Автономность модулей создает уникальные возможности распределения и монтирования отдельных модулей в несущие конструкции автомобильной базы. Применительно к МОВ это оптимизация конструкции МОВ из условия удобства размещения полезной нагрузки и увеличения грузоподъемности или экипажевместимости благодаря независимому распределению по МОВ отдельных модулей.

Оптимальность применения рассмотренных видов тепловых двигателей необходимо оценивать с позиции конкретного образца вооружения. Например, СПДВС надлежит использовать в составе бортовых энергоустановок МОВ и малой авиации [5], что обусловлено их лучшими энергетическими и массогабаритными показателями, а СПДС, в силу своих особенностей, могут быть использованы на стационарных образцах вооружения. Одна из заведомо целесообразных областей применения энергоустановок на базе СПД – это транспортные средства с электрическими трансмиссиями [3].

В имеющихся опытных образцах СПД в качестве электрической машины применяются ЛЭГ [6]. Как показал анализ, ЛЭГ не в полной мере используют преимущества СПД [4]. В результате возникает необходимость применения новых конструкций и оптимизации ныне существующих электромеханических преобразователей энергии возвратно-поступательного движения. С этой целью требуется провести исследование динамики возвратно-поступательного движения поршневой группы («поршень – шток – поршень») СПД, для чего разработаем математическую модель СПД на основе уравнений термодинамики, которая позволит получить зависимость механического КПД и эффективной мощности СПД от величины хода поршневой группы СПД при фиксированной скорости поршня. В данной статье рассмотрим термодинамические процессы в СПДВС.

При построении математической модели СПД внутреннего сгорания были приняты следующие основные допущения [7]:

- процессы выпуска, впуска рабочего тела и процессы сгорания происходят практически мгновенно;
- расширение, сжатие и сгорание рабочего тела являются адиабатическими процессами;
- состояние рабочего тела в цилиндрах квазиравновесное;
- рабочий процесс описывается PV -диаграммой идеального цикла Отто;
- в каждом полупериоде рабочего цикла движение поршневой группы является равноускоренным (имеет некоторое среднее ускорение);
- рабочее тело – идеальный газ;
- распределенные массы поршневой группы заменяются сосредоточенными;
- на начальном этапе расчетов отсутствует сила трения поршней о стенки цилиндра;
- поршни расположены оппозитно;
- СПД работает в двухтактном режиме;
- отсутствуют ударные взаимодействия между элементами конструкции, такими как поршневая группа и цилиндр;
- конструкция СПД модульная и динамически уравновешена;
- форма полостей камеры сгорания двигателя цилиндрическая.

С учетом принятых допущений расчетная схема уравновешенного СПД, состоящая из двух автономных модулей, представлена на рисунке 1.

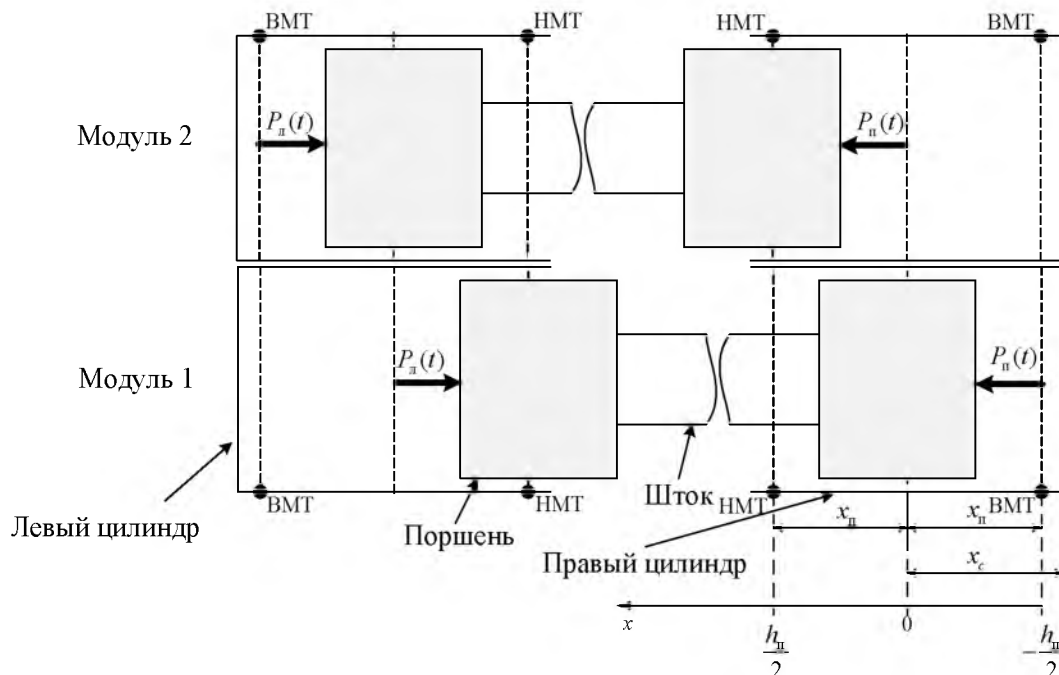


Рисунок 1. – Расчетная схема уравновешенного СПД, состоящая из двух автономных модулей

Термодинамические процессы, протекающие в обоих автономных модулях, идентичны, отличие состоит лишь в их противоположных фазах работы. Рассмотрим один из двух модулей, состоящий из двух поочередно и противоположно работающих цилиндров двухтактного двигателя.

В соответствии с расчетной схемой двигателя запишем уравнение баланса сил, действующих на подвижную часть (поршневую группу) автономного модуля 1:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = P_n(x) S_n - P_l(x) S_n, \quad (1)$$

где m – масса подвижной части СПД;

x – координата перемещения поршневой группы СПД;

$\frac{d^2 x}{dt^2}$ – ускорение поршневой группы СПД;

$P_n(x)$ – мгновенное значение давления в правом цилиндре;

$P_l(x)$ – мгновенное значение давления в левом цилиндре;

S_n – рабочая площадь поперечного сечения поршня.

Предположим, что поршневая группа СПД перемещается справа налево. Тогда в правом цилиндре осуществляется такт расширения, а в левом – такт сжатия.

Пусть в средней точке такта сжатия PV -диаграммы идеального цикла Отто (рисунок 2) с координатой подвижного элемента $x=0$ давление в левом цилиндре равно $P_{лср}$, тогда согласно уравнению Пуассона ($PV^n = \text{const}$) мгновенное значение давления в левом цилиндре можно записать как:

$$P_l(x) = P_{лср} \left[\frac{V_{ср}}{V_l(x)} \right]^n, \quad (2)$$

где $V_{ср}$ – объем цилиндра в средней точке такта сжатия;

$V_l(x)$ – мгновенное значение объема левого цилиндра;

n – показатель адиабаты.

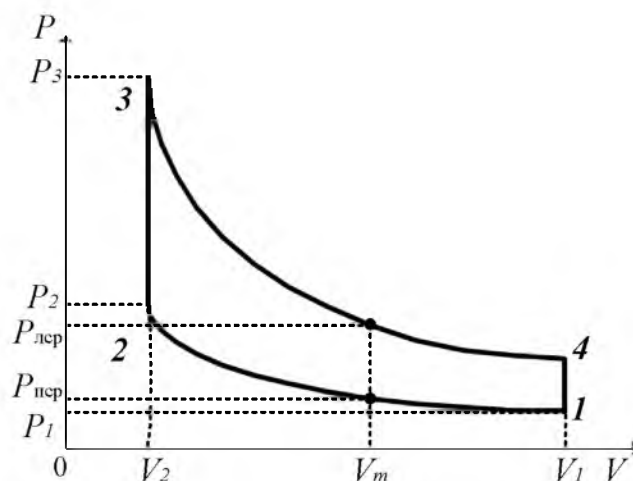


Рисунок 2. – PV-диаграмма идеального цикла Отто

Объем цилиндра в средней точке такта сжатия

$$V_{\text{ср}} = S_{\text{п}} x_c = \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) x_c, \quad (3)$$

где $x_c = x_{\text{п}} + x_{\text{сг}}$;

$x_{\text{п}}$ – половина рабочего хода поршня;

$x_{\text{сг}}$ – высота камеры сгорания цилиндра;

d – диаметр цилиндра.

Таким образом, мгновенное значение объема левого цилиндра может быть записано как

$$V_{\text{л}}(x) = (x_c - x) \left(\frac{\pi d^2}{4} \right). \quad (4)$$

Подставим уравнения (3) и (4) в уравнение (2), получим мгновенное значение давления в левом цилиндре:

$$P_{\text{л}}(x) = P_{\text{ср}} \left(\frac{x_c}{x_c - x} \right)^n. \quad (5)$$

Аналогичным образом получим мгновенное значение давления в правом цилиндре:

$$P_{\text{п}}(x) = P_{\text{пер}} \left(\frac{x_c}{x_c + x} \right)^n, \quad (6)$$

где $P_{\text{пер}}$ – давление в правом цилиндре при координате поршневой группы СПД $x = 0$.

Подставим уравнения (5) и (6) в (1), тогда уравнение баланса сил примет вид

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = \left[P_{\text{ср}} \left(\frac{x_c}{x_c - x} \right)^n - P_{\text{пер}} \left(\frac{x_c}{x_c + x} \right)^n \right] \frac{\pi d^2}{4}. \quad (7)$$

С учетом того что половина рабочего хода поршня двигателя в установившемся режиме равна x_s , минимальный и максимальный объем цилиндра соответственно может быть записан в виде

$$V_{\text{мин}} = V_2 = (x_c - x_{\text{п}}) \frac{\pi d^2}{4}; \quad (8)$$

$$V_{\text{макс}} = V_1 = (x_c + x_{\text{п}}) \frac{\pi d^2}{4}. \quad (9)$$

Запишем связь между $P_{\text{лср}}$ и $P_{\text{лср}}$ посредством анализа PV -диаграммы идеального цикла Отто:

$$P_{\text{лср}} = P_{\text{лср}} \left[1 + \frac{Q \left(\frac{x_c}{x_c - x_{\text{п}}} \right)^{1-n}}{m_{\text{r}} c_v T_m} \right]. \quad (10)$$

С учетом допущения, что рабочее тело – это идеальный газ, в средней точке такта сжатия получим

$$P_{\text{лср}} V_{\text{ср}} = \frac{m_{\text{r}}}{M} (n-1) c_v T_m, \quad (11)$$

где M – молярная масса газа (рабочего тела).

Комбинируя члены выражения (11), получим

$$m_{\text{r}} c_v T_m = \frac{P_{\text{лср}} V_{\text{ср}} M}{(n-1)} \quad (12)$$

Подставим выражения (3) и (11) в уравнение (10), получим

$$P_{\text{лср}} = P_{\text{лср}} + \frac{Q \left(\frac{x_c}{x_c - x_{\text{п}}} \right)^{1-n} (n-1)}{S_{\text{п}} x_c M}. \quad (13)$$

Таким образом, уравнение баланса сил (7) может быть записано в виде

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = \left[\left(1 + \frac{x}{x_c} \right)^{-n} - \left(1 - \frac{x}{x_c} \right)^{-n} \right] S_{\text{п}} P_{\text{лср}} + \frac{Q(n-1)(x_c - x_{\text{п}})^{n-1}}{(x_c + x)M}. \quad (14)$$

Уравнение баланса сил (7) содержит переменную $P_{\text{лср}}$ (давление в средней точке такта сжатия), которая изначально не известна для определенного типа двигателя. Поскольку давление P_1 в точке 1 PV -диаграммы всегда известно, выразим давление $P_{\text{лср}}$ через давление P_1 . С учетом того, что процесс сжатия адиабатический, получим:

$$P_{\text{лср}} = P_1 \left(\frac{x_c + x_{\text{п}}}{x_c} \right)^n. \quad (15)$$

Из уравнений (8) и (9) определим степень сжатия как отношение максимального объема цилиндра к минимальному объему:

$$\varepsilon = \frac{(x_c + x_{\text{п}})}{(x_c - x_{\text{п}})}. \quad (16)$$

Подставим выражение (16) в уравнение (15), получим

$$P_{\text{лср}} = P_1 \left(\frac{2\varepsilon}{\varepsilon + 1} \right)^n. \quad (17)$$

Процессы расширения и сжатия рабочего тела являются адиабатическими, следовательно, уравнение баланса сил (14) примет вид

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = \left(\frac{2\varepsilon}{\varepsilon + 1} \right)^n \left[\left(1 + \frac{x}{x_c} \right)^{-n} - \left(1 - \frac{x}{x_c} \right)^{-n} \right] S_{\text{п}} P_1. \quad (18)$$

Запишем уравнение баланса сил (14) в безразмерном виде, для чего примем $\bar{x} = \frac{x}{x_c}$:

$$mx_c \frac{d^2 \bar{x}}{dt^2} = \left(\frac{2\varepsilon}{\varepsilon+1} \right)^n \left[(1+\bar{x})^{-n} - (1-\bar{x})^{-n} \right] S_{\Pi} P_1.$$

Разложим в ряд Тейлора функцию $(1+\bar{x})^{-n} - (1-\bar{x})^{-n}$ вблизи точки $\bar{x} = 0$, ограничившись двумя первыми членами ряда:

$$m \frac{d^2 \bar{x}}{dt^2} = - \left(\frac{2\varepsilon}{\varepsilon+1} \right)^n \frac{S_{\Pi} P_1}{x_c} \bar{x} 2n. \quad (19)$$

Для удобства дальнейшего анализа вернемся к размерному виду уравнения баланса сил (19) и примем, что:

$$x_c = h_{\Pi} \frac{\varepsilon+1}{2(\varepsilon-1)},$$

где h_{Π} – величина рабочего хода поршневой группы СПД.

Тогда уравнение баланса сил (19) примет вид

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = - \left(\frac{2\varepsilon}{\varepsilon+1} \right)^n \frac{4n S_{\Pi} P_1 (\varepsilon-1)}{h_{\Pi} (\varepsilon+1)} x. \quad (20)$$

Из уравнения (20) получим ускорение поршневой группы

$$a = - \left(\frac{2\varepsilon}{\varepsilon+1} \right)^n \frac{4n S_{\Pi} P_1 (\varepsilon-1)}{m h_{\Pi} (\varepsilon+1)} x.$$

На основе уравнения поршневой группы определим скорость поршневой группы и рабочую частоту цикла. Скорость и рабочая частота поршневой группы соответственно равны:

$$v = \sqrt{\left(\frac{2\varepsilon}{\varepsilon+1} \right)^n \frac{2n h_{\Pi} S_{\Pi} P_1 (\varepsilon-1)}{m (\varepsilon+1)}}, \quad (21)$$

$$f = \sqrt{\frac{n}{2} \left(\frac{2\varepsilon}{\varepsilon+1} \right)^n \frac{(\varepsilon-1) S_{\Pi} P_1}{(\varepsilon+1) m h_{\Pi}}}. \quad (22)$$

Эффективная мощность и механический КПД поршневых ДВС с учетом механических потерь от трения определяется по выражениям (23) и (24) соответственно [8]:

$$N_e = N_i - N_{\text{мп}} = \frac{P_i V f i}{30 \tau} - f_{\text{тр}} v^2, \quad (23)$$

$$\eta_m = 1 - \frac{N_{\text{мп}}}{N_i} = 1 - \frac{30 \tau f_{\text{тр}} v^2}{P_i V f i}, \quad (24)$$

где P_i – среднее индикаторное давление;

V – рабочий объем двигателя;

f – рабочая частота двигателя;

i – количество цилиндров;

τ – тактность двигателя;

$f_{\text{тр}}$ – коэффициент трения (скольжения);

v – скорость поршня.

Подставим выражения (21) и (22) в уравнения (23) и (24), получим зависимость механического КПД и эффективной мощности СПД от величины хода поршневой группы СПД при неизменных параметрах рабочего цикла:

$$N_e(h_{\Pi}) = V \sqrt{\frac{n}{2} \left(\frac{2\varepsilon}{\varepsilon+1} \right)^n \frac{(\varepsilon-1) P_1}{(\varepsilon+1) m}} \left(\frac{i P_i \sqrt{V}}{30 \tau h_{\Pi}} - 4 f_{\text{тр}} \sqrt{\frac{n}{2} \left(\frac{2\varepsilon}{\varepsilon+1} \right)^n \frac{(\varepsilon-1) P_1}{(\varepsilon+1) m}} \right), \quad (25)$$

$$\eta_m(h_n) = 1 - \sqrt{\frac{\varepsilon^n (\varepsilon - 1) P_1 n \left(\frac{2}{\varepsilon + 1}\right)^{n+1} 60 \tau f_{\text{TP}} h_n}{V m i P_i}}. \quad (26)$$

Графики зависимости механического КПД и эффективной мощности от хода поршневой группы СПД представлены на рисунке 3.

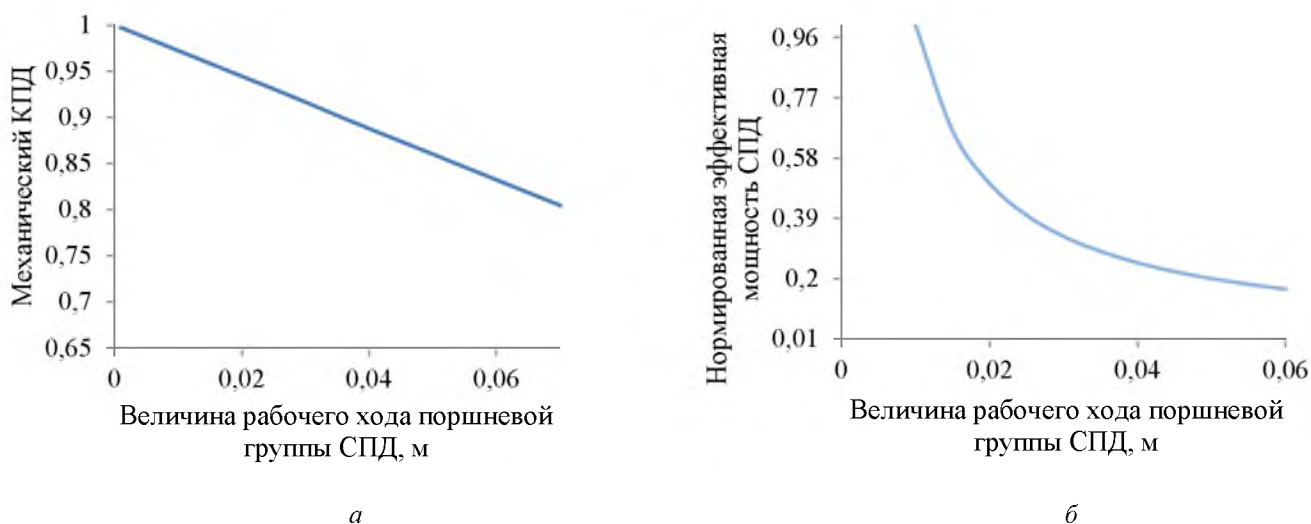


Рисунок 3. – Зависимости механического КПД (а) и эффективной мощности (б) от хода поршневой группы СПД

Проведем анализ полученных выражений (21), (22), (25), (26) и графиков зависимости механического КПД и эффективной мощности от величины хода поршневой группы СПД. Энергетическая эффективность СПД напрямую зависит от частоты перемещения поршневой группы СПД [5]. Для достижения максимальной частоты движения поршневой группы СПД необходимо как можно больше снижать массу и величину рабочего хода поршневой группы с соответственным увеличением рабочей площади поперечного сечения поршня для сохранения постоянства рабочего объема двигателя. При этом следует учитывать, что уменьшение хода поршневой группы с соответственным увеличением рабочей площади поперечного сечения поршня ограничивается ухудшением продувки цилиндра и скоростью сгорания топлива, а уменьшение массы поршневой группы лимитируется прочностью и надежностью ее конструкции. При постоянстве массы поршневой группы и рабочего объема двигателя уменьшение величины рабочего хода поршневой группы ведет к соответствующему увеличению рабочей частоты поршневой группы без изменения ее скорости, что, в свою очередь, не влияет на потери мощности от трения, которые прямо пропорциональны квадрату скорости движения поршневой группы (23). Таким образом, повышение рабочей частоты СПД за счет уменьшения величины рабочего хода поршневой группы при постоянстве рабочего объема двигателя приводит к увеличению эффективной мощности и механического КПД СПД.

Однако стоит отметить тот факт, что удельные и энергетические характеристики ЛЭГ с уменьшением хода подвижной части ухудшаются, что в целом отрицательно влияет на удельные и энергетические характеристики энергоустановки. Поэтому применение ЛЭГ в энергоустановках на базе СПД не в полной мере позволяет использовать преимущества СПД. Таким образом, необходимо разработать высокоэффективный короткоходовой электромеханический преобразователь энергии возвратно-поступательного типа для энергоустановок на базе СПД. Одной из перспективных схем подобного преобразователя энергии может быть электромеханический преобразователь энергии возвратно-поступательного типа [9] либо его совместное применение с ЛЭГ. Синтез высокоэффективного короткоходового электромеханического преобразователя энергии возвратно-поступательного типа для энергоустановок на базе СПД позволит создать СЭС МОВ с высокими энергетическими и минимальными массогабаритными показателями,

применение которой увеличит энерговооруженность МОВ с одновременным уменьшением их массогабаритных показателей.

Список литературы

1. Косачев, И. М. Методика сравнительного анализа однопоршневых образцов вооружения и военной техники / И. М. Косачев, И. М. Аношкин // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2013. – № 2. – С. 18–39.
2. Achten, Peter A. J. Design of a Hydraulic Free-Piston Engine / Peter A. J. Achten, Johan P. J. van der Oever, Jeroen Potma E. M. Vael // SAE Off-Highway Engineering. – 2001. – February. – P. 23–28.
3. Пинский, Ф. И. Энергоустановки со свободнопоршневыми двигатель-генераторами / Ф. И. Пинский // Бортовая энергетика. – 2004. – № 2. – С. 13–17.
4. Менжинский, А. Б. Разработка энергоустановки для мобильных образцов вооружения на базе свободнопоршневого двигателя: дис... магистра техн. наук: 1-95 80 04 / А. Б. Менжинский. – Минск, 2015. – 129 с.
5. 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.
6. 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.
7. Авдеев, К. А. Динамическая теория двигателей внутреннего сгорания: учеб. пособие / К. А. Авдеев, М. В. Маливанов. – Тула: ТуЛЭГУ, 2002. – 100 с.
8. Вырубов, Д. Н. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей: учеб. для вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» / Д. Н. Вырубов, Н. А. Иващенко. – М.: Машиностроение, 1983. – 372 с.
9. Использование возвратно-поступательной схемы электрического генератора для повышения эффективности энергоустановок автономных образцов вооружения / А. Б. Менжинский [и др.] // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2016. – № 4 (53). – С. 108–114.

*Сведения об авторах:

Менжинский Андрей Борисович,
 Малашин Андрей Николаевич,
 Каледа Андрей Евгеньевич,
 Колчин Евгений Владимирович,
 УО «Военная академия Республики Беларусь».
 Статья поступила в редакцию 16.01.2017 г.

ПРОБЛЕМЫ ВОЕННОЙ ПЕДАГОГИКИ, ВОИНСКОГО ОБУЧЕНИЯ И ВОСПИТАНИЯ

УДК 355.23

АКТУАЛЬНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИДЕОЛОГИЧЕСКОЙ РАБОТЫ В ВООРУЖЕННЫХ СИЛАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ: ОБОБЩЕНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ

С. В. Верлуп, кандидат юридических наук, доцент,
профессор АВН Российской Федерации*

В статье обобщены и обоснованы основные актуальные закономерности идеологической работы в Вооруженных Силах Республики Беларусь, необходимые для учета и использования в условиях современной обстановки.

This article has summarized and proved actual regularities of ideological work in the Armed Forces of the Republic of Belarus which can be used to considerate and control the modern situation's condition.

Принципиальная суть идеологической работы в Вооруженных Силах Республики Беларусь (далее – ВС) заключается в следующем:

– во-первых, сегодня это общепризнанная важная составляющая служебной деятельности по формированию в нужном направлении мировоззрения военнослужащих, а также общественного мнения как белорусских граждан, так и мирового сообщества в целом относительно их значения, роли и места в деле обеспечения национальной и международной безопасности;

– во-вторых, эта работа представляет собой диалектически развивающийся процесс, в котором своеобразно проявляются законы и закономерности общественного развития, познавательная деятельность людей, в том числе в военном деле, формирования личности гражданина, философии, психологии, социологии, кибернетики, правовых и других научных дисциплин. Иными словами, этой работе присущи свои закономерные связи с различными явлениями общественной жизни и военного дела, а также с другими составными частями деятельности ВС (боевой учебой, воспитанием военнослужащих, морально-психологической подготовкой и т. п.).

Необходимо отметить, что сегодня известны, ставшие академическими, постулаты, закономерности идеологической работы, в том числе и в ВС [1–9]. При этом в плане их ранжирования, первичны те, которые вытекают из общих закономерностей развития страны и ее государственной идеологии, а также совершенствования деятельности органов власти и управления. В то же время для обеспечения эффективности человеческой деятельности, в том числе идеологической работы, в данном случае – в ВС, необходимо непрерывно и своевременно решать такую важную научную задачу, как различать и понимать соответствующие закономерности, присущие именно нынешним, конкретным историческим условиям для их учета в практике. Указанным аспектом определяется и обосновывается цель данной статьи.

В общем понимании закономерности являются выражением действий законов в конкретных условиях (утверждениями, вскрывающими связи между явлениями, но не столь строгими, как законы). На этом основании закономерности идеологической работы в ВС правомерно трактовать как объективные, существенные, устойчивые и повторяющиеся связи между явлениями и процессами в государственной политике и идеологии Республики Беларусь. Они ее составные элементы. При этом сама идеологическая работа в ВС рассматривается нами как подсистема сложной системы строительства, развития и функционирования белорусской армии (повседневной организаторской и идеологической деятельности командиров (начальников), органов идеологической работы, в вопросах

взаимодействия со СМИ и общественностью [10], других составляющих).

Присущие идеологической работе в ВС закономерности, как и любой другой деятельности, имеют важное значение, так как выполняют роль устойчивых правил, применение которых обеспечивает эффективный результат. При этом каждая из них актуальна по-своему, и порой достаточно сложно ранжировать закономерности по степени важности или в строгом порядке. В то же время логично полагать, что их система с точки зрения последовательности формирования должна исходить из определенных приоритетов, идти от внешнего познания к внутреннему, от общего к частному.

Методологической базой познания закономерностей идеологической работы в ВС является устойчивая тенденция сохранения значимости идеологии и идеологической системы как развивающегося общественно-исторического института в механизме функционирования любого государства, в его жизнедеятельности. Речь идет о том, что признание необходимости идеологии является объективным фактором, обеспечивающим в комплексе успешное развитие государства, общества и личности на основе четкого представления о целях и перспективах их развития. В свою очередь, стержнем такой основы являются идеи, определяющие направления экономического, технологического, индустриального и других составляющих выхода страны на прогрессивные и передовые позиции и пути, обеспечивая тем самым ее национальную безопасность, реальный суверенитет и территориальную целостность.

Отсюда следует, что первой, исходной закономерностью идеологической работы в ВС является *постоянная необходимость идеологии*, а поэтому повышение ее роли в деятельности ВС при решении задач по предназначению. Действие этой закономерности обусловлено:

– непрерывным возрастанием роли человеческого фактора в современных войнах и вооруженных конфликтах в условиях постоянного и беспрецедентного по силе информационно-психологического воздействия на сознание и мировоззрение всех участников, прежде всего, военнослужащих. При этом одновременно присутствует устойчивая тенденция усложнения задач защиты Республики Беларусь, обусловленная активным влиянием научно-технической революции на развитие военного дела, организационную структуру, вооружение, способы ведения боевых действий;

– качественными изменениями в личном составе, проявляющимися в использовании института службы по контракту; вследствие этого закономерно повышается и роль всех видов воспитательной работы со всеми категориями военнослужащих как одного из ключевых направлений обеспечения и поддержания высокой боевой готовности;

– устойчивой тенденцией нарастания сложности и противоречивости международной и региональной военно-политической обстановки, проявления которой выступают факторами, создающими реальные угрозы национальной безопасности Республики Беларусь (эти обстоятельства перечислены в Концепции национальной безопасности и Военной доктрине Республики Беларусь [11; 12]). В подтверждение уместно привести слова Президента Республики Беларусь – Главнокомандующего ВС А. Г. Лукашенко, который отмечает, что «обстановка в мире, в том числе в ближайшем зарубежье, продолжает стремительно меняться и зачастую далеко не в лучшую сторону. Трагические события на территории Украины, Сирии и Ирака позволяют говорить о том, что современные войны и военные конфликты ведутся в целях очередного пересмотра сложившегося геополитического мироустройства» [13, с. 1]. В указанных условиях повышается социальная ответственность ВС и других сил системы национальной безопасности за обеспечение мирного, прогрессивного и устойчивого развития белорусского государства, в том числе в составе союзов и объединений с другими странами;

– трансформацией борьбы идей на мировой арене в форму информационной войны, которая осуществляется непрерывно путем проведения высокотехнологичных информационно-психологических операций, кампаний и акций на основе современных информационных технологий. Идеологическая и информационная деятельность

объединяются, дополняют друг друга и образуют специфическую систему мер и действий, ключевым объектом которой становятся в первую очередь ВС противоборствующих сторон, сознание и мировоззрение военнослужащих всех уровней, их морально-психологическая готовность к решению стоящих задач.

Таким образом, постоянная необходимость идеологии в деятельности ВС при решении задач по предназначению – объективная закономерность. В то же время необходимо понимать, что этот процесс осуществляется не автоматически, а в результате целенаправленной и системной деятельности командиров и начальников, органов идеологической работы в ходе боевой подготовки и воспитания военнослужащих в духе патриотизма, ответственности и высокой бдительности.

Следующая закономерность – это **обусловленность целей, задач и содержания идеологической работы в ВС целями, задачами и содержанием государственной политики и идеологии**, реализуемыми под руководством Президента и Правительства Республики Беларусь.

Эта закономерность отражает руководящую роль Президента как Главнокомандующего ВС в военном строительстве, значение государственной политики и идеологии как мировоззренческой основы идеологической работы в ВС. Суть этой закономерности состоит в том, что цели, задачи и содержание данной работы определяются государственной политикой и идеологией, законодательными актами Президента, Правительства и Совета Безопасности, которые устанавливают главные направления деятельности ВС, соответственно, и идеологической работы. Отсюда обуславливается необходимость обеспечения соответствия идеологической системы реальному состоянию развития государства, общества и личности. Признаками такого соответствия является прежде всего отношение государства, как главного гаранта и субъекта управления, к идеологии и идеологической работе. Закономерность здесь проявляется в том, что в мире нет ни одного государства, которым бы не постулировались, не провозглашались, соответственно, не функционировали, сообразные мировоззренческие системы и идеологические установки, где самим государством не проводилось бы воздействий в нужном направлении на общественное мнение и индивидуальное сознание. Поэтому закономерно, что идеология становится интегратором обеспечения целостности с помощью государственной власти путем внесения смыслового раскрытия сущности событий, происходящих на планете, в самой стране, в обществе, а также борьбы с попытками подмены этих смыслов и экспансией других идей в целях защиты общепризнанных национальных духовно-нравственных ценностей в общественном и индивидуальном сознании.

В нашей стране соответствующие идеологические положения в главном, концептуальном виде в настоящее время представляют собой поддерживаемые народом такие мировоззренческие идеи, как *патриотизм и любовь к Родине, нацеленность на построение Республики Беларусь как сильного и процветающего государства*. Принципиально, что в сфере практической реализации данной идеи ВС отведена одна из главных, почетных и ответственных ролей – обеспечение военной безопасности Республики Беларусь. Поэтому в неразрывной связи с определяющей ролью государственной идеологии в идеологической работе находится вопрос о воздействии государственной политики на моральные и духовно-нравственные качества военнослужащих ВС. Выработанные на этой основе качества приобретают реальную мобилизующую и организующую силу, обеспечивающую высокую боевую готовность и качественное решение ВС задач по предназначению.

Командиры и начальники, органы идеологической работы ведут активную работу по разъяснению личному составу и проведению в жизнь внутренней и внешней политики Республики Беларусь и на этой основе формируют у воинов патриотизм и любовь к Родине, сознательность и идейную убежденность, повышают их мировоззренческую культуру, развивают служебную и общественную активность в духе бдительности и постоянной готовности надежно защищать национальные интересы нашей страны.

В современных условиях для командиров и начальников, органов идеологической работы особое значение приобретают установки Конституции, Концепции национальной безопасности и Военной доктрины Республики Беларусь [14; 11; 12], провозглашающие сугубо оборонительный характер функционирования военной организации Республики Беларусь.

Актуальным аспектом государственной идеологии является установка, что ни одно из государств не является для Республики Беларусь противником. Наша страна, реализуя самостоятельную военную политику в соответствии с национальными интересами, проводит миролюбивый внешнеполитический курс и выступает за решение всех межгосударственных споров исключительно мирным путем, соблюдает нерушимость границ и территориальную целостность, не выдвигает никаких территориальных претензий к другим государствам и не признает таких претензий со стороны других государств. В то же время, проводя последовательную миролюбивую политику, Республика Беларусь будет отстаивать свои национальные интересы с использованием всех имеющихся средств, в том числе посредством применения военной силы.

Одной из закономерностей идеологической работы в ВС является *соответствие ее содержания, форм и методов конкретным условиям жизни и служебной деятельности войск, особенностям исторической обстановки*. На каждом этапе развития ВС в целом командиры и начальники, органы идеологической работы действуют в различных условиях обстановки и решают вытекающие из нее задачи. Эти задачи играют определяющую роль по отношению к содержанию, выбору наиболее целесообразных, соответствующих сложившейся обстановке форм, методов и средств идейного и воспитательного воздействия на личный состав. Так, содержание, формы и методы идеологической работы в боевой обстановке существенно отличаются от тех, которые целесообразны и широко распространены в мирное время. Действие рассматриваемой закономерности на современном этапе развития ВС Республики Беларусь наглядно проявляется в совершенствовании структуры органов идеологической работы и соответствующего аппарата сил и средств, в появлении новой системы воспитания личного состава белорусской армии (отражена и раскрыта [8]).

Важной закономерностью идеологической работы является зависимость ее состояния *от уровня подготовленности соответствующих организаторов в первую очередь командиров (начальников) и офицеров-идеологов, их профессиональных, мировоззренческих и морально-нравственных качеств*. Не требует доказательств положение о том, что любая работа, в том числе и идеологическая, ведется через людей и успех проведения ее в жизнь зависит от правильного подбора и расстановки кадров.

Поэтому закономерно, что от состояния кадров, как на всех уровнях управления, так и в системе органов идеологической работы зависит ее качество и эффективность, претворение в жизнь государственной идеологии на местах во всех структурных воинских подразделениях. Благодаря своевременным, обоснованным и эффективным реформам ВС Республики Беларусь сегодня имеют оптимальную систему органов идеологической работы, укомплектованную хорошо подготовленными в профессиональном отношении военными и научно-педагогическими кадрами, преданными Родине, умелыми специалистами для обучения и воспитания подчиненных. Роль и значение таких качеств и требований четко обозначены в указании Президента Республики Беларусь – Главнокомандующего ВС А. Г. Лукашенко о том, что «следует учитывать, что любая современная война начинается с идеологической экспансии. Сначала разворачивается борьба за взгляды и убеждения людей, и только потом – за территорию. Без победы над общественным самосознанием собственно вооруженная агрессия обречена на провал. Поэтому важнейшие задачи офицерского корпуса – воспитывать верность воинскому долгу у всего личного состава, непосредственно участвовать в формировании в обществе патриотизма и понимания каждым гражданином личной ответственности за безопасность своего Отечества» [13, с. 1].

Таким образом, идеологическая работа выступает и устойчиво остается одной из

важных потребностей и одновременно необходимой составляющей жизнедеятельности современного государства: органов государственной власти и управления Республики Беларусь, общества, институтов и организаций (независимо от формы собственности), а также отдельной личности. Рассмотренные в статье основные закономерности, по нашему мнению, представляют собой научно обоснованный методический материал, способствующий в процессе идеологической работы в ВС Республики Беларусь повышению результативности решения следующих задач:

– формирования у военнослужащих, белорусских граждан, общества мировоззрения, основанного на созидательной и миролюбивой идеологии белорусского государства, проводимой и реализуемой в сфере обеспечения военной безопасности Республики Беларусь;

– воспитания военнослужащих в духе патриотизма и гордости за отечественные ВС и их славные боевые традиции, законопослушания и личной активной гражданской позиции в деле защиты Родины – Республики Беларусь.

Список литературы

1. Партийно-политическая работа в Вооруженных Силах СССР: учеб. пособие / Н. И. Бородин [и др.]; под ред. А. И. Сорокина. – М.: Воениздат, 1989. – 408 с.
2. Селезнев, И. А. Война и идеологическая борьба / И. А. Селезнев. – М.: Воениздат, 1974. – 240 с.
3. Теория и практика идеологической работы: курс лекций. – М.: Мысль, 1984. – 479 с.
4. Ревтович, С. С. Идеологическая работа в повседневной воинской деятельности: пособие / С. С. Ревтович, С. А. Лобачев, П. В. Евсиков. – Минск: ВА РБ, 2012. – 182 с.
5. Маруняк, И. Г. Идеологическая работа в Вооруженных Силах Республики Беларусь. Организация идеологической работы в подразделении / И. Г. Маруняк, В. В. Змиевский. – Гомель: БелГУТ, 2012. – 199 с.
6. Белорусский путь / под ред. О. В. Пролесковского и Л. Е. Криштаповича. – Минск: Б.и., 2010. – 495 с.
7. Идеологическая работа в Вооруженных Силах Республики Беларусь: учеб. пособие / под общ. ред. А. Н. Гуры. – Минск: ВА РБ, 2009. – 423 с.
8. Инструкция о порядке организации идеологической работы в Вооруженных Силах: приказ Министра обороны Респ. Беларусь от 10 сент. 2014 г., № 967.
9. Макаров, В. М. Контрпропаганда в системе идеологической деятельности: учеб. пособие / В. М. Макаров. – Минск: ВА РБ, 2015. – 350 с.
10. Верлуп, С. В. Основы работы со средствами массовой информации: пособие / С. В. Верлуп. – Минск: ВА РБ, 2013. – 178, [2] с.
11. Концепция национальной безопасности Республики Беларусь. – Минск: Бел. Дом печати, 2011. – 47 с.
12. Об утверждении Военной доктрины Республики Беларусь: Закон Респ. Беларусь, 20 июля 2016 г., № 412.
13. Приветствие Президента Республики Беларусь – Главнокомандующего Вооруженными Силами А. Г. Лукашенко делегатам 5-го Офицерского собрания Вооруженных Сил Республики Беларусь / Бел. воен. газ. Во славу Родины. – 2015. – 26 сент. – С. 1.
14. Конституция Республики Беларусь 1994 года (с изменениями и дополнениями, принятыми на республиканских референдумах 24 нояб. 1996 г. и 17 окт. 2004 г.) – Минск: Амалфея, 2005.

*Сведения об авторе:

Верлуп Сергей Владимирович,
УО «Военная академия Республики Беларусь».
Статья поступила в редакцию 04.01.2017 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.