

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ «ВОЕННАЯ АКАДЕМИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ»

# ВЕСТНИК ВОЕННОЙ АКАДЕМИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

№ 2 (59) 29 июня 2018 г.



**ВОЕННЫЙ НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ**

Учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь»

# ВЕСТНИК ВОЕННОЙ АКАДЕМИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

№ 2 (59) 29 июня 2018 г.

**Военный научно-теоретический журнал**

Издается с 2003 года

**Адрес редакции:**

220057, г. Минск-57, учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь», главный корпус, комн. № 11.

Тел: 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:**

Постолова М. В.

**Дизайн обложки:**

Мацкевич А. Н.

**Печать:**

ЛП № 02330/76

от 27.03.2014 г.

Подписано в печать 20.06.18 г.

Формат 60×84/8. Бумага писчая.

Гарнитура «Таймс». Печать ризография. Усл. печ. л. 8,60.

Тираж 100 экз. Зак. 258.

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;

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

**Ильёв И. Г.**, кандидат технических наук, доцент;

**Костюкович С. Н.**, кандидат технических наук, доцент;

**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;

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

**Шевченко В. С.**, доктор технических наук, профессор;

**Ярмолик С. Н.**, кандидат технических наук, доцент.

В соответствии с приказом Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь научный журнал «Вестник Военной академии Республики Беларусь» включен в перечень научных изданий для опубликования результатов диссертационных исследований по военной, технической (информатика, вычислительная техника и управление; вооружение и военная техника; радиотехника, связь, электроника и микроэлектроника) и педагогической (воинское обучение и воспитание, военная педагогика) отраслям науки.

## СОДЕРЖАНИЕ

### Основы военной науки и военного строительства

Искаков Е. С. Анализ факторов и причин необходимости развития системы комплектования Национальной гвардии Республики Казахстан офицерскими кадрами тактического уровня.....	3
---	---

### Системный анализ и информационные технологии в военном деле

Гришко В. Д., Локтик А. Р. Оценивание эффективности инженерной инфраструктуры участка ответственности подразделения, непосредственно охраняющего государственную границу .....	10
--	----

Избаш М. Ю., Рябоконт В. В., Душеина Л. В. Математическое моделирование противоборства оперативно-тактических группировок войск и распределение ресурсов по задачам боевых действий .....	17
---	----

### Общетеоретические вопросы разработки и совершенствования вооружения и военной техники

Жук А. А., Булойчик В. М. Эффективность решения задачи распределения ресурсов искусственной нейронной сетью .....	26
---	----

Лапука О. Г., Посребышев А. Н. Анализ результатов влияния помех дальномерному каналу многофункциональной радиолокационной станции на параметр телеуправления ракетой по методу пропорциональной навигации .....	33
---	----

Солонар А. С., Хмарский П. А., Михалковский А. А., Парахневич А. В. Влияние высоты цели на точность измерения ее местоположения в двухкоординатной РЛС обзора .....	40
---	----

Солонар А. С., Хмарский П. А., Михалковский А. А., Парахневич А. В. Оценка высоты баллистической цели по данным двухкоординатной РЛС обзора нелинейным методом 0020ДАК м наименьших квадратов .....	46
---	----

### Разработка, модернизация и эксплуатация вооружения и военной техники

Санько А. А., Шейников А. А., Романёнок С. Н. Методика распознавания нарушений нормальной работы авиационного двигателя по его параметрам и параметрам несущего винта с использованием регрессионного анализа .....	54
---	----

Шоманков Д. А., Вашкевич В. Р. Диагностическая модель аэрометрических приборов на основе совместной обработки регистрируемых разнородных параметров полета .....	61
--	----

### Проблемы военной педагогики, воинского обучения и воспитания

Воронова Е. В. Современные информационные процессы в социальных сетях: феномен «диванной мобилизации» (на примере украинского конфликта 2014–2017 гг.) .....	70
--	----

## ОСНОВЫ ВОЕННОЙ НАУКИ И ВОЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

---

УДК 355.5

### АНАЛИЗ ФАКТОРОВ И ПРИЧИН НЕОБХОДИМОСТИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКТОВАНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ ГВАРДИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН ОФИЦЕРСКИМИ КАДРАМИ ТАКТИЧЕСКОГО УРОВНЯ

Е. С. Искаков, адъюнкт ВА Республики Беларусь\*

*В данной статье проводится анализ факторов и причин, указывающих на необходимость совершенствования имеющейся системы комплектования Национальной гвардии Республики Казахстан офицерскими кадрами.*

*This article analyzes the factors and reasons indicating the need to improve the existing system of recruitment of the National guard of the Republic of Kazakhstan officers.*

Система комплектования вооруженных сил, других войск и воинских формирований Республики Казахстан включает в себя *призыв* граждан на воинскую службу и *добровольное поступление* на воинскую службу в соответствии с национальными законодательными актами, а также набор гражданского персонала в соответствии с трудовым кодексом и законом о государственной службе Республики Казахстан. Добровольное поступление на воинскую (офицерскую) службу происходит путем заключения контракта.

К закономерностям военного строительства относятся некоторые особенности комплектования вооруженных сил, их технического оснащения, обучения и воспитания. Вопросы комплектования вооруженных сил, других войск и воинских формирований Республики Казахстан, обеспечения их потребности, необходимого боевого потенциала являются одной из ключевых задач военного строительства государства. Наличие потенциальных угроз военной безопасности обязывает Республику Казахстан поддерживать готовность ее вооруженных сил, других войск и воинских формирований к выполнению задач в военных конфликтах и обеспечению как внутренней, так и внешней безопасности государства.

Национальная гвардия Республики Казахстан (НГ РК) является воинским формированием, организационно входит в единую республиканскую систему органов внутренних дел и предназначена для обеспечения безопасности личности, общества и государства, защиты прав и свобод человека и гражданина от преступных и иных противоправных посягательств [1]. В соответствии с Военной доктриной Республики Казахстан на НГ РК во взаимодействии с органами внутренних дел, вооруженными силами и другими государственными органами страны возложено пресечение внутренних вооруженных конфликтов [2]. В соответствии с законом «Об обороне Республики Казахстан» при объявлении мобилизации НГ РК входит в состав вооруженных сил [3] и активно участвует во всех военных конфликтах (низкой, средней, высокой интенсивности). Поэтому вопросы подготовки кадров и комплектования НГ РК, как и закономерности военного строительства в целом, должны рассматриваться через призму военной науки.

Анализ процесса становления и развития системы комплектования офицерскими кадрами НГ РК на современном этапе развития войск является важной научной задачей, которую необходимо решать в изменяющейся обстановке в жизни войск и государства в целом.

Сущность научной задачи, решаемой в данной статье, состоит в том, чтобы в результате анализа факторов и причин сложившейся кадровой системы ВС РК, НГ РК и прогноза развития военно-политической обстановки в регионе усовершенствовать систему комплектования офицерскими кадрами тактического уровня.

Ввиду непосредственного участия НГ РК как составляющей военной организации государства в обеспечении военной безопасности страны, в том числе в повышении военного потенциала для адекватного реагирования на военные угрозы, соответствия военной мощи характеру военных угроз, вопросы комплектования НГ РК необходимыми кадрами являются актуальными в свете требований времени и положений Военной доктрины государства [2].

Решение проблем подготовки и поиск путей дальнейшего развития способов комплектования офицерами тактического уровня войск являются первостепенными, что вызвано рядом причин.

Во-первых, процесс развития вооруженных сил, других войск и воинских формирований возможен, если в войсках имеется высококвалифицированный офицерский состав, способный руководить и повести за собой личный состав.

Во-вторых, прогнозирование улучшения качественных характеристик офицерских кадров предполагает совершенствование одного из разделов отечественной военной науки, изучения вопросов комплектования.

В-третьих, советская военная наука имела множество отечественных трудов об офицерском составе Советского Союза, ввиду этого исследование перспективных направлений кадрового развития офицерского состава и требуемого уровня укомплектованности должно получить свое дальнейшее развитие.

В-четвертых, состояние офицерского корпуса имеет важное значение для решения вопросов теории военного строительства в области обеспечения профессиональными военными кадрами ввиду того, что в нем заложен практический интерес воинских соединений и частей.

Проблемы укомплектованности профессиональными кадрами в процессе деятельности в области управления представляют значительный научный и практический интерес. Исследования в данной области были проведены в опубликованных работах таких российских ученых, как: С. И. Ашмариной, Р. Д. Гутгарца, П. В. Журавлева, М. А. Винокурова, Е. Д. Катульского, Л. А. Карташовой, Д. С. Мостмана, Ю. Г. Одегова, Н. Н. Пушкарева, Н. Ф. Пушкарева, В. Г. Румичёва, В. Н. Сулицкого, В. В. Травина, Е. В. Троицкой, В. К. Тарасова, Н. А. Чижова, А. А. Хохлова, Ю. Н. Царегородцева.

За рубежом исследованием данной проблемы занимались: Г. Десслер, П. Друкер, В. Румчев, У. Манди, Дж. Шермерорн, Дж. Хант, Р. Осборн и др.

В частности, С. И. Ашмарина в своих работах раскрывает экономические аспекты информационных ресурсов, а также методы исследования кадровой информации. Р. Д. Гутгарц и М. А. Винокуров поднимают проблемы, связанные с организационно-методическим обеспечением управления кадрами включая Интернет и его использование при найме работников с внешнего рынка труда. Л. А. Карташова и Е. В. Троицкая исследуют проблемы применения персональных компьютеров в организации принятия кадровых решений при найме, отборе и перемещении персонала. Н. Ф. Пушкарев и Н. Н. Пушкарев основное внимание уделяют учету персонала, статистическим обобщениям и применению инструментальных методов в решении кадровых задач. Ю. В. Нефедов, В. Г. Румянцев, Е. Е. Степанова, В. Н. Сулицкий обращают внимание на разработки математических методов и моделей по кадровому обеспечению предприятий. Кроме того, В. Г. Румчев уделяет внимание программным продуктам создания автоматизированных баз и банков данных. Н. А. Волгин и Ю. Г. Одегов рассматривают традиционные проблемы экономики труда и социальных отношений в коллективах, а также необходимые требования к составу информационного обеспечения системы управления персоналом. Н. А. Чижов, А. А. Хохлов исследуют проблемы, связанные с кадровыми технологиями в службе управления персоналом.

Однако важнейшие аспекты прогнозирования укомплектованности кадрами в НГ РК были исследованы не в полной мере. В первую очередь в предыдущих исследованиях рассматривались организационные процедуры укомплектования за счет создания резерва, а не методологические основы комплектования кадровой системы. Наибольшее внимание

уделялось учету кадрового потенциала, а не методам прогнозирования потребности и укомплектованности кадровой системы. Предлагаемый автором подход к решению проблем комплектования войск офицерскими кадрами тактического уровня позволит прогнозировать их потребность исходя из планируемой боеспособности подразделений в зависимости от выполняемых служебно-боевых задач, направленных на недопущение или ликвидацию потенциальных угроз.

Наряду с причинами необходимости изучения проблемы подготовки и комплектования офицерами, имеются также системные факторы, определяющие перспективную потребность НГ РК в офицерских кадрах.

*Первый фактор* – становление казахстанской армии. Только за период 1992–1994 гг. из вооруженных сил, других войск и воинских формирований Республики Казахстан было откомандировано в ВС других государств СНГ, а также уволено в запас несколько тысяч военнослужащих из числа офицерского состава, так как на заре становления казахстанской армии офицерский корпус по своим количественным и качественным параметрам во многом не соответствовал требованиям. Вместе с распадом СССР был положен конец советской системе подготовки военных кадров, которая сложилась в Советском Союзе и была неизменной на протяжении ряда десятилетий. Из сотни союзных военных училищ по профилю подготовки командиров взводов для армии в Казахстане имелось лишь Алма-Атинское общевойсковое командное училище с годовым выпуском около трехсот лейтенантов, половина из которых были выходцами из других республик и после окончания училища убывали в свои государства [4].

*Фактор второй* – отсутствие системы подготовки офицерских кадров тактического звена. «Кадровый голод» в те годы стал одной из важных проблем вооруженных сил, других войск и воинских формирований Республики Казахстан. Приходилось срочно принимать решения по назначению офицеров на должности, так как личный состав воинских частей оставался порой без командиров рот, батальонов и даже полков. Порой в полках оставалось всего лишь несколько десятков офицеров, половина из которых также собиралась уехать из Казахстана. Что касается ситуации с кадрами в управлениях соединений, то в них некомплект офицерского состава ощущался еще больше [5]. Для выхода из создавшегося положения кадровая политика МО и МВД Республики Казахстан в указанный период была направлена на количественное восполнение офицерского корпуса и, как следствие, поддержание боеготовности частей и соединений.

Поэтому, исходя из складывающейся ситуации, в офицерском корпусе Внутренних войск командованием были приняты кардинальные меры по подготовке кадров, их обучению и повышению квалификации по специальности. Уже в августе 1992 г. с Президентом Республики Казахстан был согласован вопрос о создании при Алма-Атинском пограничном училище факультета для подготовки офицеров Внутренних войск (ВВ).

*Фактор третий* – экстренное решение задачи кадрового пополнения офицерами. С февраля 1993 г. были открыты курсы ускоренной (5–6 месячной) подготовки офицеров – экстернат.

Для укомплектования должностей офицерского состава прапорщиками, имеющими высшее и среднее специальное образование, занимающих офицерские должности, были присвоены офицерские звания 281 человеку. Отобраны и зачислены слушателями на факультет ВВ в Военный институт КНБ Республики Казахстан – 75 человек, в Алма-Атинское высшее общевойсковое командное училище (АВОКУ) – 10 человек, в Алматинское высшее техническое училище при МВД Республики Казахстан – 22 человека. Выпущено с курсов по подготовке младших офицеров с присвоением первичных офицерских званий – 121 прапорщик и сверхсрочнослужащий, призван из запаса 141 офицер [6].

*Фактор четвертый* – международное сотрудничество в сфере военного дела и образования. Помимо этого, *офицеров тактического звена* – командиров взводов готовили в городе Алма-Ате на базе общевойскового командного и пограничного училищ,

специалистов служб тыла – по договорам в военных училищах ВВ Республики Узбекистан и Украины. А подготовка офицерских кадров высшего звена управления для соединений и частей ВВ осуществлялась на договорной основе с Россией, в военной Академии. Также использовался вариант подготовки высшего командного звена на базе высшей школы МВД Республики Казахстан, где был создан военный факультет.

*Пятый фактор* – социально-экономический аспект. По мнению офицеров, прапорщиков, военнослужащих сверхсрочной службы ВВ Республики Казахстан, их жизненный уровень являлся наиболее низким по сравнению с другими республиками СНГ.

*Шестым фактором* автор считает отсутствие системности в комплектовании и подготовке военных кадров в переходный период формирования НГ РК.

Учебные части и учебные подразделения при соединениях (воинских частях) комплектовались офицерами, окончившими полный курс высших военных училищ, прослужившими в войсках не менее одного года, имеющими высокие деловые и моральные качества, хорошую военную и физическую подготовку, годными по состоянию здоровья к службе в учебных подразделениях и склонными к педагогической работе. Разрешалось направлять в учебные части офицеров – специалистов кинологической службы и тыла по окончании ими высших военных училищ. Наряду с этим строго был установлен возраст офицеров, проходящих службу в учебных ротах. Он не должен был превышать 32 лет. После достижения данного возраста они подлежали перемещению с повышением в должности в другие соединения и воинские части [7].

Следует отметить, что перемещение офицеров производилось после 2–3-летней работы в занимаемой должности. Офицеров, допускающих личную недисциплинированность, разрешалось откомандировывать сразу после принятия к ним мер воздействия.

В постановлении Военного совета указывалось, что управление ВВ, а также многие командиры соединений и частей нарушают принцип подбора кадров. В ряде случаев на офицерские должности назначались лица без учета необходимых для управления качеств и даже скомпрометировавшие себя на прежней работе.

*Седьмой фактор* – отсутствие системы прогнозирования подготовки офицерских кадров тактического звена в постсоветский период.

*Восьмой фактор* – в настоящее время НГ РК проходит очередной этап своего развития, поэтому необходимо систематизировать кадровую работу данного направления в соответствии с современными требованиями.

Приоритетом в строительстве и развитии НГ РК было приведение ее структуры и состава в соответствие с внутренними, социально-экономическими, военно-техническими условиями развития государства, эффективного участия в решении задач по поддержанию внутривнутриполитической стабильности, выполнению задач военного времени.

НГ РК сегодня составляет реальный силовой компонент, сочетающий единство двух важных функций: военно-оборонительной и правоохранительно-полицейской.

Бифункциональное предназначение войск не осложняет процесс их развития, а скорее прибавляет динамичность и дополнительные возможности, и рассматривать это нужно не иначе как преимущество войск. Важно в динамике процесса развития войск не допустить нарушения баланса. При этом определяющими факторами меры баланса являются характер внешних и внутренних угроз национальным интересам страны, предназначение и содержание задач, выполняемых войсками [9].

Анализ военно-политической обстановки и внешних угроз безопасности Казахстана обуславливает военно-оборонительную функцию НГ РК, на которую направлены мероприятия в области военного строительства и военной организации государства. Войска, являясь их субъектом, имеют ряд конкретных задач, планы приведения в высшие степени боевой готовности и действий, ответственность за их выполнение в свете военно-доктринальных взглядов на военную безопасность государства. В связи с этим адекватны угрозам и задачам войск на трех стратегически определенных направлениях должны быть

организационно-штатная структура соединений и частей войск, тактические способы действий, взаимодействие с региональными органами управления вооруженных сил, способность наращивания (эшелонирования) группировки войск на угрожаемых направлениях. Вместе с тем НГ РК по своему предназначению не являются силовой доминантой военной безопасности.

Определенные в военной доктрине внутренние угрозы могут детерминироваться противоправными действиями деструктивных сил, преследующих политические цели; сохраняется опасность групповых нарушений и массовых беспорядков на социально-экономической и национально-этнической почве; прогнозируется осложнение криминальной обстановки в Алма-Ате и Астане с прилегающими районами; не исключается вероятность диверсий, террористических актов и попыток захвата важных государственных объектов и стратегического сырья. Характер данных угроз представляет собой реальную опасность стабильности и устойчивому развитию Казахстана, поэтому актуализируются задачи МВД по охране общественного порядка и безопасности, борьбе с преступностью, в том числе на улицах и в общественных местах, возрастает роль НГ РК как военно-полицейской и силовой составляющей. Содержание задач при этом отвечает предназначению войск [9].

Таким образом, внешние угрозы безопасности имеют потенциальный характер. Их отражение осуществляется всей системой военной организации государства, при этом НГ РК не является решающей силой. Вместе с тем не менее серьезные внутренние угрозы носят реальный характер и представляют собой опасность нарушения внутривнутриполитической стабильности и успешности развития страны, а при их нарастании и конституционного строя.

В настоящее время структура и состав войск предусматривают трехуровневую систему построения, а также соответствующую систему управления:

оперативно-стратегический уровень – Главное командование НГ РК;

оперативный (оперативно-территориальный) уровень – региональные командования НГ РК;

тактический уровень – воинские части, подразделения НГ РК.

Указанные изменения позволили создать в границах каждого регионального командования рациональные по составу группировки НГ РК, которые входят в общую систему органов охраны правопорядка государства, представляют собой унифицированный комплект воинских формирований по направлениям служебно-боевой деятельности и способны в основном самостоятельно решать вопросы обеспечения внутренней безопасности в данном регионе страны без привлечения сил и средств из других регионов. Это также позволило согласовать действия оперативно-территориальных объединений НГ РК с формированиями ВС РК и другими взаимодействующими органами и обеспечить соответствие требованиям Плана применения ВС РК, мобилизационного плана и государственной программы оперативного оборудования территории страны в целях обороны.

Планомерно проводится работа по техническому перевооружению на основе приоритетного оснащения воинских частей современной бронированной полицейской техникой, нелетальными средствами и специальным оружием, обеспечивающим выполнение служебно-боевых задач правоохранительной направленности.

Факторами, влияющими на развитие системы комплектования и НГ РК в целом на ближайший период, могут являться: наличие конфликтного потенциала в Центрально-Азиатском регионе; попытки пересмотра сложившейся системы обеспечения мировой стратегической стабильности; сохранение тенденции к расширению НАТО на Восток; возрастание угрозы мирового терроризма и стремление террористических организаций к обладанию средствами массового поражения; расширение идей радикального экстремизма, масштабов организованной преступности и незаконного оборота оружия и наркотиков.

Прогнозируемые угрозы невоенного характера, связанные с качественно новыми средствами экономической, политической, технологической, этнической, конфессиональной



и другими формами экспансии, останутся важнейшими факторами, определяющими масштаб и направленность развития НГ РК. При этом возрастут бюджетные расходы на финансирование мероприятий, связанных с необходимостью технического перевооружения и коренной перестройки системы связи и телекоммуникаций, переходом на цифровые технологии и созданием автоматизированных систем государственного и военного управления нового поколения.

Система комплектования офицерскими кадрами НГ РК как никогда нуждается в подготовленном офицерском составе тактического звена с необходимыми знаниями, умениями, навыками и качествами, соответствующими требованиям складывающейся обстановки.

Сложный и динамичный характер современной служебно-боевой деятельности, использование в ней новейших информационных технологий, образцов вооружения и военной техники, зависимость хода и исхода военных действий (результатов) от содержания и качества заблаговременно проведенной подготовки обуславливают объективную необходимость в дальнейшем совершенствовании как системы определения потребности офицерского состава НГ РК в условиях их комплектования, так и системы подготовки офицерских кадров тактического звена в целом.

Процесс комплектования офицерского состава тактического звена в НГ РК по своему содержанию является многоплановым и имеет особенности, обусловленные прежде всего порядком прохождения военной службы военнослужащими НГ РК, а также необходимостью периодического обновления (пополнения) знаний и практических навыков в процессе должностного роста, переквалификации для замещения соответствующих должностей, т. е. переподготовки.

Назрела необходимость создания методики, позволяющей обосновать потребности в офицерах тактического звена и выработать рекомендации органам военного управления НГ РК по их применению в практической деятельности для обеспечения постоянной готовности соединений и частей НГ РК к выполнению задач в любой обстановке. Необходимо отметить, что войска имеют устойчивую кадровую систему, однако в ее работе отсутствует необходимая методика по определению потребности офицерских кадров тактического звена. Следовательно, существующая система комплектования офицерскими кадрами НГ РК требует своего дальнейшего развития.

#### Список использованных источников

1. О Национальной гвардии Республики Казахстан : Закон Респ. Казахстан от 10 янв. 2015 г. № 274-V ЗРК.
2. Об утверждении Военной доктрины Республики Казахстан : Указ Президента Респ. Казахстан от 29 сент. 2017 г. № 554 // Казахстанская правда, 2017. – № 24.
3. Об обороне и Вооруженных Силах Республики Казахстан : Закон Респ. Казахстан от 7 янв. 2005 г. – № 29.
4. Бакаев, А. К. Политика военного строительства в Республике Казахстан (вопросы теории и практики в контексте истории и современности) : дис. ... д-ра. полит. наук / А. К. Бакаев. – Алматы, 1996. – 168 с.
5. Муханбеткалиев, К. С. История создания и развития Вооруженных Сил Республики Казахстан (1991–2000 гг.) : дис. ... канд. воен. наук. – Алматы. 2001. – 129 с.
6. Козыбаев, М. К. Военная реформа: исторический опыт // М. К. Козыбаев. – Багдар. – 1999. – № 2. – С. 41;  
Козыбаев, М. К. Национальные воинские формирования в республиках Средней Азии и Казахстане (1941–1945 гг.) / М. К. Козыбаев, Р. Г. Каратаев // Известия АН Каз. ССР. Серия общественных наук. – 1998. – № 1.

7. Касымов А. Х. Мое кредо – получать удовлетворение от работы // Казакстан сарбазы. – 1995. – 1 декабря; Он же: Мы создаем армию профессиональную // Казакстан сарбазы. – 1996. – 26 июля.

8. Жаппаспаев, М. А. Реформирование Вооруженных Сил Республики Казахстан: состояние, проблемы и перспективы : дис. ... канд. воен. наук / М. А. Жаппаспаев. – Щучинск, 2003. – 127 с.

9. Ахметов, Ж. Х. Военная безопасность: аспекты развития военного искусства и военного образования в условиях новых угроз : сб. науч. ст. и публ. / Ж. Х. Ахметов. – Петропавловск, 2009. – 549 с.

---

\*Сведения об авторе:

Искаков Ертай Сеильбекович,  
адъюнкт заочной формы обучения,  
УО «Военная академия Республики Беларусь».  
Статья поступила в редакцию 30. 03.2018 г.

# СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ВОЕННОМ ДЕЛЕ

УДК 519.81

## ОЦЕНИВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНЖЕНЕРНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ УЧАСТКА ОТВЕТСТВЕННОСТИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ, НЕПОСРЕДСТВЕННО ОХРАНЯЮЩЕГО ГОСУДАРСТВЕННУЮ ГРАНИЦУ

В. Д. Гришко, кандидат технических наук, доцент;  
А. Р. Локтик\*

*В первой статье цикла работ, посвященных вопросам моделирования деятельности органов пограничной службы Республики Беларусь, проводится формализация оценивания инженерной инфраструктуры участка ответственности подразделения, непосредственно охраняющего государственную границу. Введено понятие «упреждаемость» отдельных элементарных участков местности, определено его влияние на эффективность инженерной инфраструктуры. Представлены предложения по использованию указанного порядка оценивания инженерной инфраструктуры.*

*In the first article of the series of works devoted to the modeling of the activities of the Border Service of the Republic of Belarus, a formalization of the assessment of the engineering infrastructure of the responsibility area of the unit guarding the state border is carried out. Introduced the concept of "anticipation" of individual elemental areas of the terrain, its impact on the efficiency of engineering infrastructure was determined. Proposals for using the proposed procedure for assessing engineering infrastructure are presented.*

### Введение и постановка задачи

В Республике Беларусь сформированы необходимые условия как для предотвращения, так и для нейтрализации различных угроз национальной безопасности. Меры по защите от внешних угроз национальной безопасности сосредоточены на направлениях, определенных Концепцией национальной безопасности Республики Беларусь. Одним из таких направлений является эффективная реализация государственной пограничной политики, обеспечивающей комплексный подход к управлению границей, оптимальное сочетание барьерных функций и создание благоприятных условий для активного развития экономических связей, повышения туристической и деловой привлекательности страны.

На фоне широкого внедрения в повседневную деятельность государственных органов систем поддержки принятия решения различного назначения приходится констатировать факт недостаточной проработки отечественными авторами соответствующей тематики в интересах охраны государственной границы. При этом следует отметить, что в сопредельных с Республикой Беларусь государствах работа в данном направлении ведется достаточно давно и плодотворно [1, 5–7], однако воспользоваться результатами этой работы зачастую не представляется возможным. Настоящая статья открывает цикл работ, посвященных вопросам математического обеспечения систем поддержки принятия решений в сфере обеспечения пограничной безопасности.

Методика оценивания эффективности функционирования территориально-распределенных систем охраны, к которым относится система охраны государственной границы, должна обеспечивать решение двух классов задач – оценочных и оптимизационных [1]. Для решения указанных задач используются модели местности, системы охраны государственной границы, действий нарушителя и соответствующих подразделений.

Задача проводимого авторами исследования состоит в разработке комплекса моделей (системы охраны государственной границы, нарушителя границы<sup>1</sup> и т. д.) в целях поддержки принятия решения на построение системы охраны государственной границы с последующей их реализацией в виде специального программного обеспечения.

Результаты проведенного анализа позволяют сделать вывод о безусловной необходимости использования системного подхода к решению обозначенной задачи. Кроме того, представляется целесообразным провести первоначальную декомпозицию задачи и обособленно рассмотреть вопросы оценивания таких элементов исследуемой системы, как инженерная инфраструктура [2], действий подразделения, непосредственно охраняющего границу, и нарушителя. В рамках настоящей статьи предлагается рассмотреть порядок оценивания инженерной инфраструктуры подразделения, непосредственно охраняющего государственную границу, поскольку именно инженерная инфраструктура является тем элементом исследуемой системы, который напрямую влияет на функционирование других ее элементов и, как следствие, выполнение задачи подразделения по недопущению нарушения государственной границы.

В рамках поставленной задачи рассмотрим участок ответственности подразделения, непосредственно охраняющего государственную границу, при этом рассматриваемый участок оборудован в инженерном отношении неравномерно и неоднородно. Требуется разработать порядок оценивания эффективности системы инженерных сооружений участка подразделения, непосредственно охраняющего государственную границу и определить порядок использования полученных результатов.

### Решение задачи

Наличие качественной инженерной инфраструктуры на участке ответственности подразделения является одним из основных условий эффективного выполнения подразделением его функций, а ее (инфраструктуры) оптимальное (рациональное) построение – одной из актуальных и наиболее ресурсоемких задач. Поэтому введем понятие **обобщенного показателя эффективности инженерной инфраструктуры**, который учитывал бы обнаружение и задержание нарушителя границы относительно затраченных на данный участок материальных средств (ресурсов):

$$Q = \frac{W_{\text{зад}}}{C_{\text{ии}}}, \quad (1)$$

где  $Q$  – обобщенный показатель эффективности инженерной инфраструктуры;  
 $W_{\text{зад}}$  – показатель, отражающий вероятность задержания нарушителя на участке подразделения (частный показатель результативности);

$C_{\text{ии}}$  – показатель ресурсоемкости инженерной инфраструктуры участка подразделения (частный показатель стоимости).

Очевидно, что инженерная инфраструктура максимально эффективна при высокой вероятности (близка к 1) задержания нарушителя границы при минимально затраченных ресурсах, при этом выражение (1) корректно только в тех случаях, когда  $C_{\text{ии}} > 0$ . В случае, если инженерная инфраструктура на участке подразделения не разворачивается ( $C_{\text{ии}} = 0$ ), оценка ее эффективности не производится.

Исходя из того, что в практической деятельности одним из основных показателей качества системы охраны участка ответственности подразделения, непосредственно охраняющего государственную границу, является количество так называемых

<sup>1</sup> *Модель нарушителя границы* представляет собой формализованное описание *противоправных действий* нарушителя границы. Понятие модели нарушителя границы широко используется в погранологии – науке, изучающей проблемы обеспечения пограничной безопасности государств с помощью математических методов и моделей.

неупреждаемых участков<sup>2</sup>, наиболее целесообразным подходом к оценке качества инженерной инфраструктуры является разбиение участка подразделения на  $n$  элементарных участков (дискрет). Каждая дискрета характеризуется протяженностью, проходимостью, наличием и качественным состоянием инженерных сооружений и т. д., что определяет ее «упреждаемость».

Тогда показатель  $W_{\text{зад}}$ , отражающий вероятность задержания нарушителя на участке подразделения, представим как некоторую функцию от степени упреждаемости дискреты участка:

$$W_{\text{зад}} = F(D_{\text{нy}}, D_{\text{y}}), \quad (2)$$

где  $F(D_{\text{нy}}, D_{\text{y}})$  – функция, отражающая зависимость вероятности задержания нарушителя от степени упреждаемости (неупреждаемости) участка подразделения;

$D_{\text{нy}}$  – множество неупреждаемых дискрет на участке ответственности подразделения;

$D_{\text{y}}$  – множество упреждаемых дискрет на участке ответственности подразделения.

При этом множества  $D_{\text{нy}}$  и  $D_{\text{y}}$  являются подмножествами множества всех дискрет участка ответственности подразделения  $D$ , мощность которого соответственно равна  $n$ :

$$D_{\text{нy}} \cup D_{\text{y}} = D, D_{\text{нy}} \cap D_{\text{y}} = \emptyset, \quad \text{card}(D) = n, \quad (3)$$

В свою очередь упреждаемость дискреты определяется вероятностью обнаружения нарушителя в ее пределах и вероятностью его перехвата в пределах всей зоны ответственности – по маршруту движения из одной дискреты в другую.

Таким образом, с учетом разбиения участка подразделения на дискреты выражение показателя эффективности инженерной инфраструктуры (1) целесообразно рассматривать в следующем виде:

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i W_{\text{обн } i} \delta_i)}{C_{\text{ИИ}}}, \quad (4)$$

где  $i$  – индекс дискреты;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -й дискреты, отражающий ее значимость в пределах участка ответственности подразделения (например, направление сосредоточения основных усилий, удаленность от границ участка ответственности и т. п.);

$W_{\text{обн } i}$  – показатель, отражающий вероятность обнаружения нарушителя в  $i$ -й дискрете участка подразделения;

$\delta_i$  – индикатор упреждаемости  $i$ -й дискреты:

$$\delta_i = \begin{cases} 1, & \text{если } (\exists j)(t_{\text{нгг } ij} \geq t_{\text{п } i}), i = \overline{1, n}, \\ 0 & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (5)$$

(здесь  $t_{\text{нгг } ij}$  – время, необходимое нарушителю для передвижения от  $i$ -й до  $j$ -й дискреты;  $t_{\text{п } i}$  – время, необходимое силам перехвата подразделения для передвижения из места размещения (дислокации) до  $i$ -й дискреты (возможного места задержания в пределах участка ответственности подразделения)).

Исходя из того, что события выбора нарушителем  $i$ -й дискреты в качестве элемента маршрута движения и обнаружения его в выбранной  $i$ -й дискрете являются зависимыми, показатель  $W_{\text{обн } i}$  рассчитывается как

$$W_{\text{обн } i} = P_{\text{игг } i} P_{\text{обн } i}, \quad (6)$$

<sup>2</sup> Участок местности (дискрета) является неупреждаемым, если отсутствует физическая возможность перехвата нарушителя границы, обнаруженного в его пределах, силами подразделения до преодоления нарушителем установленной зоны ответственности.

где  $P_{\text{нгг } i}$  – вероятность выбора нарушителем  $i$ -й дискреты в качестве элемента маршрута движения;

$P_{\text{обн } i}$  – вероятность обнаружения нарушителя в  $i$ -й дискрете.

При этом время, необходимое как нарушителю, так и силам перехвата подразделения для передвижения:

$$t_{\text{нгг } ij} = F_{\text{нгг}}(i, j), \quad (7)$$

$$t_{\text{п } i} = F_{\text{п}}(i), \quad (8)$$

где  $F_{\text{нгг}}(i, j)$  – функция, отражающая передвижение нарушителя из  $i$ -й до  $j$ -й дискреты;

$F_{\text{п}}(i)$  – функция, отражающая передвижение сил перехвата подразделения в  $i$ -ю дискрету.

Функции  $F_{\text{нгг}}(i, j)$  и  $F_{\text{п}}(i)$  являются временными характеристиками (элементами) соответствующих моделей (нарушителя и сил перехвата подразделения), которые, несомненно, заслуживают более пристального внимания и будут рассмотрены в следующих публикациях. В рамках настоящей статьи отметим, что вышеобозначенные модели на основе формализованного описания объектов (нарушителя, подразделения), тактической и геопространственной моделей участка ответственности подразделения, некоторого алгоритма построения маршрута движения обеспечивают вычисление вероятностей движения нарушителя из исходной точки (места обнаружения) через все дискреты участка ответственности, а также времени, необходимого на это передвижение [4, 5]. При этом геопространственная модель участка местности (цифровая карта местности) является основным источником исходных данных (цифровых данных о местности) для работы алгоритма построения маршрута. Тактическая модель участка подразделения является надстройкой над геопространственной моделью и представляет собой совокупность элементов обстановки, представленных в виде специфических объектов цифровой карты местности.

Таким образом, геопространственная и тактическая модели участка местности, модель нарушителя и сил перехвата формируют исходные данные для оценивания инженерной инфраструктуры, обеспечивая необходимый уровень достоверности и адекватности предложенного подхода реальным процессам. Следует отметить, что именно тактическая модель участка подразделения отражает инженерную инфраструктуру участка ответственности подразделения. Улучшая именно ее параметры (количественный и качественный состав задействованных средств обнаружения, оборудование участка в инженерном отношении и т. п.), осуществляется оптимизация как инженерной инфраструктуры, так и системы охраны участка ответственности подразделения в целом.

С учетом того, что множество элементов инженерной инфраструктуры  $R_3$ , учитывающее наличие инженерных заграждений, усложняет передвижение нарушителя, а множество  $R_0$  создает наиболее благоприятные условия для передвижения сил перехвата, выражения (7) и (8) можно представить в виде:

$$t_{\text{нгг } ij} = F_{\text{нгг}}(R_3, i, j); \quad (9)$$

$$t_{\text{п } i} = F_{\text{п}}(R_0, i). \quad (10)$$

В силу того, что тактика действий сил перехвата подразделения предполагает не только своевременное развертывание заслонов на предполагаемых маршрутах движения нарушителя, но и выдвижение тревожной группы к месту его (нарушителя) первоначального обнаружения и последующее преследование по соответствующему маршруту,  $t_{\text{п } j}$  следует определить как

$$t_{\text{п } j} = \min(t_{3j}, t_{\text{нгг } ij}), \quad (11)$$

где  $t_{3j}$  – время, необходимое заслонам для передвижения из места размещения подразделения до  $j$ -й дискреты и развертывания там в боевой порядок;

$t_{тj}$  – время, необходимое тревожной группе для передвижения из места размещения подразделения до места обнаружения нарушителя ( $i$ -й дискреты) и далее до  $j$ -й дискреты.

Графическая интерпретация рассмотренного подхода к оценке эффективности инженерной инфраструктуры участка ответственности подразделения представлена на рисунке.

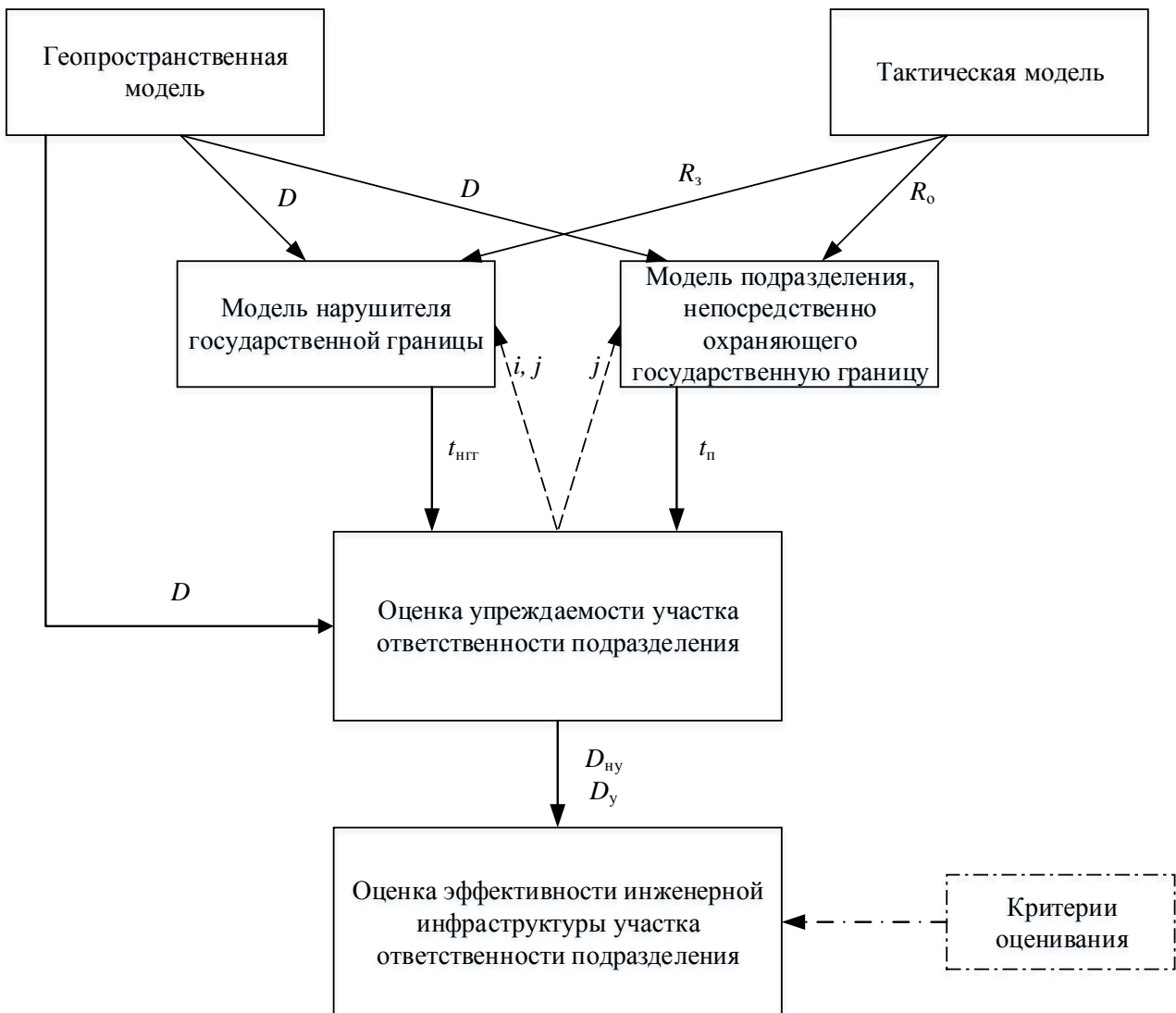


Рисунок. – Порядок оценивания эффективности инженерной инфраструктуры участка ответственности подразделения, непосредственно охраняющего границу

Как показано на рисунке, основу данной модели составляют геопроостранственная и тактическая модели участка ответственности подразделения. Геопроостранственная модель участка ответственности подразделения задается на цифровой карте местности и определяется:

- множеством (совокупностью) дискрет;
- параметрами объектов местности (леса, болота, дороги и т. д.).

Тактическая модель определяется наличием на участке ответственности подразделения инженерных заграждений и сооружений – множества  $R_3$  и  $R_0$ , которые, как отмечалось ранее, усложняют передвижение нарушителя ( $R_3$ ) и создают наиболее благоприятные условия для передвижения сил перехвата ( $R_0$ ), определяют временные показатели перемещения нарушителя границы (из  $i$ -й в  $j$ -ю дискрету), сил перехвата (в  $i$ -ю дискрету обнаружения нарушителя границы) и, как следствие, модели действий нарушителя границы и подразделения.

Определение неупреждаемых дискрет  $D_{ny}$  на цифровой карте местности позволяет визуализировать «неприкрытые» (наиболее проходимые для нарушителя границы) участки государственной границы в условиях развернутой системы инженерных сооружений и существующей местности, заблаговременно предпринять меры по их прикрытию в ходе специальных действий (при пограничном поиске), а также исходя из заданных (разработанных) критериев оценивания сделать вывод об эффективности развернутой инженерной инфраструктуры на участке ответственности подразделения.

### Заключение

Представляется целесообразным выделить несколько вариантов использования предложенного порядка оценивания инженерной инфраструктуры:

1) оценивание эффективности элементов инженерной инфраструктуры, затрудняющих передвижение нарушителя и обеспечивающих передвижение сил подразделения;

2) комплексное оценивание инженерной инфраструктуры;

3) использование в качестве базовой модели оценивания системы охраны участка ответственности подразделения в целом.

Первый вариант предполагает исключение из рассмотрения в выражении (6) вероятности  $P_{обн\ i}$  посредством приравнивания ее к 1. При этом результатом порядка оценивания будет множество неупреждаемых дискрет местности, визуализируемых на фоне электронной карты местности, которое предназначено для использования в качестве исходных данных при принятии решения о наращивании системы охраны в целом и инженерной инфраструктуры в частности. При этом наиболее действенным является изменение элементов инженерной инфраструктуры, затрудняющих передвижение нарушителя и обеспечивающих передвижение сил подразделения.

Использование в выражении (6) реальных (расчетных) значений вероятности  $P_{обн\ i}$  соответствует второму варианту использования предложенного порядка. Данный вариант в первую очередь предназначен для сравнительной количественной оценки различных модификаций построения инженерной инфраструктуры участка ответственности подразделения. Кроме того, данный вариант не только может, но и должен быть положен в основу оценки вариантов системы охраны участка ответственности подразделения в целом.

Таким образом, предложенный выше подход позволяет не только произвести оценивание эффективности развернутой (предлагаемой к развертыванию) системы инженерных сооружений участка подразделения, непосредственно охраняющего государственную границу, но и получить комплексную оценку инженерной инфраструктуры участка границы. Кроме того, разработанный порядок может найти применение в системах поддержки принятия решения на построение системы охраны государственной границы.

В рамках следующей статьи будут рассмотрены вопросы построения модели нарушителя.

### Список использованных источников

1. Крюков, И. Н. Методика оценки эффективности функционирования территориально-распределенной радиотехнической системы охраны / И. Н. Крюков, А. Шуалов, В. М. Ковалюк // Радиосистемы. – 2004. – № 2. – С. 22–28.

2. Инструкция об организации инженерного обеспечения оперативно-служебной деятельности территориальных органов пограничной службы Респ. Беларусь: утв. приказом Председателя Государственного пограничного комитета Респ. Беларусь, 01.07.2010, № 414. – Минск, 2010. – 136 с.

3. Петухов, Г. Б. Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем / Г. Б. Петухов, В. И. Якунин. – М. : АСТ, 2006. – 504 с.



4. Булойчик, В. М. Специализированный анализ картографической информации в интересах поддержки принятия решения о размещении на местности элементов узлов связи / В. М. Булойчик, В. Д. Гришко // Сб. науч. статей Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2005. – № 8. – С. 3–8.

5. Рябец, А. Я. Система критериев выбора рациональных вариантов территориально-распределенных систем охранного мониторинга на основе геоинформационной технологии / А. Я. Рябец, С. А. Удот // Радиотехника. – 2012. – № 1. – С. 4–8.

6. Панин, О. А. Охрана государственной границы: обоснование критерия оценки эффективности системы инженерно-технического контроля в составе ИСБ / О. А. Панин, Н. Н. Лысый // Безопасность. Достоверность. Информация. – 2008. – № 3 (78) – С. 14–18.

7. Беляков, С. А. Применение математических методов и моделей в деятельности пограничных ведомств государств – участников СНГ: моногр. / С. А. Беляков, В. В. Шумов; под ред. В. И. Борисова. – М. : Погран. акад. ФСБ России, 2013. – 378 с.

---

\*Сведения об авторах:

Гришко Вадим Дмитриевич,

Локтик Андрей Робертович,

ГУО «Институт пограничной службы Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 21.03.2018 г.

УДК 358.1

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОТИВОБОРСТВА  
ОПЕРАТИВНО-ТАКТИЧЕСКИХ ГРУППИРОВОК ВОЙСК И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ  
РЕСУРСОВ ПО ЗАДАЧАМ БОЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ**

М. Ю. Избаш, кандидат военных наук, доцент;

В. В. Рябоконт;

Л. В. Душеина, кандидат технических наук\*

*Данной публикацией завершается цикл статей о формировании возможного подхода к математическому моделированию вооруженного противоборства оперативно-тактических группировок войск\*. В рамках рассматриваемого примера показаны результаты рационального распределения ресурсов по решаемым войсками задачам.*

*The cycle of articles about formation of the possible approach to mathematical modelling of the armed antagonism of operational and tactical groupings of armies comes to the end with the given publication. Your attention within the limits of a considered example accepts results of rational distribution of resources on problems solved by armies.*

**Введение**

Представленный математический аппарат [1, 2] позволяет с помощью компьютерных средств решить задачу математического программирования и минимизировать степень реализации боевых возможностей противника для конкретных заданных условий и ограничений, т. е. обеспечить максимальное снижение боевых возможностей противостоящей группировки при заданном способе ведения боевых действий, установленном боевом составе группировок войск и выделенном ресурсе боеприпасов для их выполнения.

**Пример моделирования боевых действий.**

**Минимизация функции  $\Psi = \Psi(t, \vec{X})$  для 2-й задачи боевых действий**

Используя данные таблиц 1–3 и выражение (19) [1], определим вид целевой функции для 2-й задачи боевых действий ( $t_2 = 20$  ч):

$$\begin{aligned} \Psi(20, \vec{X}) = \Psi_2(\vec{X}) = & \frac{0,2 \cdot 0,5}{3} (1 - (x_1 + x_2 + x_3)) + \frac{0,2 \cdot 0,15}{24} (20 - (x_7 + x_8 + x_9)) + \\ & + \frac{0,2 \cdot 0,05}{32} (32 - (x_{10} + x_{11} + x_{12})) + \frac{0,3 \cdot 0,15}{15} (15 - (x_{19} + x_{20} + x_{21})) + \frac{0,3 \cdot 0,45}{24} (23 - (y_{22} + y_{23} + y_{24})) + \\ & + \frac{0,3 \cdot 0,4}{42} (41 - (y_{25} + y_{26} + y_{27})) + \frac{0,3 \cdot 0,15}{30} (30 - (y_{28} + y_{29} + y_{30})) + \frac{0,2 \cdot 0,5}{2} (2 - (x_{31} + x_{32} + x_{33})) + \\ & + \frac{0,2 \cdot 0,35}{4} (4 - (x_{34} + x_{35} + x_{36})) + \frac{0,2 \cdot 0,15}{16} (16 - (x_{37} + x_{38} + x_{39})). \end{aligned}$$

\*Окончание. Начало «Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь», № 3, 2017 и № 1, 2018.

Подставив данные таблиц 2 и 3 [1], получим:

$$\begin{cases} n_3(20) = \frac{1}{2} \left( \left( 93,68 - 69,31 \sqrt{\frac{1001,38}{856,1}} \right) e^{\sqrt{1001,38 \cdot 856,1} \cdot 10} + \left( 93,68 + 69,31 \sqrt{\frac{1001,38}{856,1}} \right) e^{-\sqrt{1001,38 \cdot 856,1} \cdot 10} \right) = 91,52, \\ b_3(20) = \frac{1}{2} \left( \left( 69,31 - 93,68 \sqrt{\frac{856,1}{1001,38}} \right) e^{\sqrt{1001,38 \cdot 856,1} \cdot 10} + \left( 69,31 + 93,68 \sqrt{\frac{856,1}{1001,38}} \right) e^{-\sqrt{1001,38 \cdot 856,1} \cdot 10} \right) = 66,8. \end{cases}$$

Количество боеспособных объектов в однотипных группах подсистемы ближнего боя стороны А [1] определены как

$$n_{31}(20) = 22,09, n_{32}(20) = 39,66, n_{33}(10) = 29,76.$$

Полученные данные линейной системы ограничений на возможные потери наступающей стороны А в пространстве изменения переменных представлены в таблице 6.

Таблица 6. – Ограничения на количество поражаемых объектов при выполнении 2-й задачи боевых действий

Поражаемые объекты		1-я подсистема				2-я подсистема			3-я подсистема			4-я подсистема			Макс. КОЛ-ВО
		1	0	20	32	0	0	15	23	41	30	2	4	16	
Нач. количество $n_1$ объект.		1	0	20	32	0	0	15	23	41	30	2	4	16	184
Макс. кол-во объектов, пораж. средствами	тип 1	1	0	2	2	0	0	2	0	0	0	0	2	2	2
	тип 2	0	0	10	10	0	0	10	0	0	0	0	0	10	10
	тип 3	0	0	15	15	0	0	15	0	0	0	0	0	15	15
Суммарные возможности, $x_i$ 1		0	20	32	0	0	15	0	0	0	2	4	16	–	

Многогранник ограничений в данном случае имеет вид:

$$\begin{aligned} & x_1 \leq 1, x_4 \leq 0, x_7 \leq 2, x_{10} \leq 2, x_{13} \leq 0, x_{16} \leq 0, x_{19} \leq 2, x_{22} = 0, x_{25} = 0, x_{28} = 0, x_{31} = 0, x_{34} \leq 2, x_{37} \leq 2; \\ & x_2 \leq 0, x_5 \leq 0, x_8 \leq 10, x_{11} \leq 10, x_{14} \leq 0, x_{17} \leq 0, x_{20} \leq 10, x_{23} = 0, x_{26} = 0, x_{29} = 0, x_{32} = 0, x_{35} = 0, x_{38} \leq 10; \\ & x_3 \leq 0, x_6 \leq 0, x_9 \leq 15, x_{12} \leq 15, x_{15} \leq 0, x_{18} \leq 0, x_{21} \leq 15, x_{24} = 0, x_{27} = 0, x_{30} = 0, x_{33} = 0, x_{36} = 0, x_{39} \leq 15; \\ & x_1 + x_2 + x_3 \leq 1, x_4 + x_5 + x_6 \leq 0, x_7 + x_8 + x_9 \leq 20, x_{10} + x_{11} + x_{12} \leq 32, x_{13} + x_{14} + x_{15} \leq 0, x_{16} + x_{17} + x_{18} \leq 0; \\ & x_{19} + x_{20} + x_{21} \leq 15, x_{31} + x_{32} + x_{33} \leq 2, x_{34} + x_{35} + x_{36} \leq 4, x_{36} + x_{37} + x_{38} \leq 16; \\ & x_1 + x_4 + x_7 + x_{10} + x_{13} + x_{16} + x_{19} + x_{22} + x_{25} + x_{28} + x_{31} + x_{34} + x_{37} = 2; \\ & x_2 + x_5 + x_8 + x_{11} + x_{14} + x_{17} + x_{20} + x_{23} + x_{26} + x_{29} + x_{32} + x_{35} + x_{38} = 10; \\ & x_3 + x_6 + x_9 + x_{12} + x_{15} + x_{18} + x_{21} + x_{24} + x_{27} + x_{30} + x_{33} + x_{36} + x_{39} = 15. \end{aligned}$$



### Рациональное распределение ресурсов по задачам боевых действий

Принятый способ выполнения боевой задачи предполагает последовательное решением двух задач боевых действий. При этом выполнение 1-й боевой задачи осуществляется на основе первоначальных исходных данных, а для выполнения 2-й задачи исходными данными является результат решения первой задачи. Тогда целевая функция распределения ресурсов боеприпасов по задачам боевых действий будет представлять собой  $\Psi_{\min}(20, \vec{X})$  с учетом не превышения исходными данными ограничений, вызванных дефицитом ресурсов. Используя значения таблиц 1–3 и ранее полученные выражения [1, 2], определим вид целевой функции:

$$\begin{aligned} \Psi^{\text{рац}}(20, \vec{X}) = & \frac{0,2 \cdot 0,5}{3} (n_1(10) - (x_1(20) + x_2(20) + x_3(20))) + \frac{0,2 \cdot 0,3}{6} (n_2(10) - (x_4(20) + x_5(20) + x_6(20))) + \\ & + \frac{0,2 \cdot 0,15}{24} (n_3(10) - (x_7(20) + x_8(20) + x_9(20))) + \frac{0,2 \cdot 0,05}{32} (n_4(10) - (x_{10}(20) + x_{11}(20) + x_{12}(20))) + \frac{0,3 \cdot 0,6}{6} \times \\ & \times (n_5(10) - (x_{13}(20) + x_{14}(20) + x_{15}(20))) + \frac{0,3 \cdot 0,25}{9} (n_6(10) - (x_{16}(20) + x_{17}(20) + x_{18}(20))) + \frac{0,3 \cdot 0,15}{15} (n_7(10) - \\ & - (x_{19}(20) + x_{20}(20) + x_{21}(20))) + \frac{0,3 \cdot 0,45}{24} (23 - (y_{22}(20) + y_{23}(20) + y_{24}(20))) + \frac{0,3 \cdot 0,4}{42} (41 - (y_{25}(20) + y_{26}(20) + \\ & + y_{27}(20))) + \frac{0,3 \cdot 0,15}{30} (30 - (y_{28}(20) + y_{29}(20) + y_{30}(20))) + \frac{0,2 \cdot 0,5}{2} (n_{11}(10) - (x_{31}(20) + x_{32}(20) + x_{33}(20))) + \\ & + \frac{0,2 \cdot 0,35}{4} (n_{12}(10) - (x_{34}(20) + x_{35}(20) + x_{36}(20))) + \frac{0,2 \cdot 0,15}{16} (n_{13}(10) - (x_{37}(20) + x_{38}(20) + x_{39}(20))). \end{aligned}$$

Согласно условиям (21)–(24) [2], составим линейную систему (многогранник) ограничений на возможные потери наступающей стороны А в пространстве изменения переменных с учетом рационального распределения ресурсов поражения.

Из ранее рассмотренных ограничений [1, 2] видно, что количество объектов, поражаемых конкретными огневыми средствами при рациональном распределении ресурсов, не может превышать их огневые возможности при решении двух первых задач боевых действий:

$$x_k^t = \min\{10V_{\text{арт}b} b_b; n_{0i}; t\}, \quad b = k - \left\lfloor \frac{k}{3} \right\rfloor, \quad k = \overline{1, 39}, \quad i = \overline{1, 13}, \quad t = \overline{1, 2}.$$

Очевидно, что суммарное количество объектов конкретного типа, поражаемых всеми видами огневых средств при рациональном распределении ресурсов, должно быть меньше или равно количеству объектов конкретного типа, поражаемых всеми видами огневых средств для решения двух первых задач:

$$x_i^t \geq x_i^{\text{рац}t}, \quad i = \overline{1, 13}, \quad t = \overline{1, 2}.$$

Кроме того, общее количество боеприпасов для огневых средств конкретного типа, затраченных для поражения всех объектов при выполнении 1-й и 2-й задач боевых действий, должно быть меньше или равно выделенному ресурсу боеприпасов конкретного типа:

$$\sum_{t=1}^t \sum_{k=3i-2}^{3i} x_k^t H_i \leq R_b, \quad t = \overline{1, 2}, \quad i = \overline{1, 13}, \quad b = \overline{5, 7}.$$

Для удобства анализа сведем полученные ограничения в таблицы 8 и 9.

В 1–3-й строках таблиц 8 и 9 представлены данные о максимально возможном количестве объектов с учетом ограничений на боевые возможности. В 4-й строке таблиц представлены данные о максимально возможном суммарном количестве поражаемых объектов конкретных типов, 5–7-я строки содержат данные о максимально выделенном ресурсе боеприпасов конкретного типа.

Таблица 8. – Ограничения на количество поражаемых объектов и выделяемых боеприпасов для выполнения 1-й задачи боевых действий

Ограничения		1-я подсистема				2-я подсистема			3-я подсистема			4-я подсистема		
		ПУ объед.	ПУ соед.	ПУ частей	ПУ подр.	тип 1	тип 2	тип 3	тр	мпр	пр	скл. объед.	скл. соед.	скл. част.
Кол-во пораж. объектов	тип 1	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	2	2
	тип 2	0	6	10	10	6	9	10	0	0	0	0	0	10
	тип 3	0	6	15	15	6	9	15	0	0	0	0	0	15
Суммарное кол-во поражаемых объектов		2	6	4	0	6	9	0	0	0	0	0	0	0
Количество боеприпасов	тип 1	2400	1600	1200	400	800	400	1200	0	0	0	0	1200	800
	тип 2	0	4800	6000	2000	2400	1800	6000	0	0	0	0	0	4000
	тип 3	0	4800	9000	3000	2400	1800	9000	0	0	0	0	0	6000

Таблица 9. – Ограничения на количество поражаемых объектов и выделяемых боеприпасов для выполнения 2-й задачи боевых действий

Ограничения		1-я подсистема				2-я подсистема			3-я подсистема			4-я подсистема		
		ПУ объед.	ПУ соед.	ПУ частей	ПУ подр.	тип 1	тип 2	тип 3	тр	мпр	пр	скл. объед.	скл. соед.	скл. част.
Кол-во пораж. объектов	тип 1	1	0	2	2	0	0	2	0	0	0	0	2	2
	тип 2	0	0	10	10	0	0	10	0	0	0	0	0	10
	тип 3	0	0	15	15	0	0	15	0	0	0	0	0	15
Суммарное кол-во поражаемых объектов		1	0	0		0	0	15	0	0	0	0	0	0
Количество боеприпасов	тип 1	1200	0	1200	400	0	0	1200	0	0	0	0	1200	800
	тип 2	0	0	6000	2000		0	6000	0	0	0	0	0	4000
	тип 3	0	0	9000	3000	0	0	9000	0	0	0	0	0	6000

Многогранник ограничений в данном случае имеет вид:

$$\begin{aligned}
 & x_1(10) \leq 2, x_4(10) \leq 2, x_7(10) \leq 2, x_{10}(10) \leq 2, x_{13}(10) \leq 2, x_{16}(10) \leq 2, x_{19}(10) \leq 2; \\
 & x_2(10) = 0, x_5(10) \leq 6, x_8(10) \leq 10, x_{11}(10) \leq 10, x_{14}(10) \leq 6, x_{17}(10) \leq 9, x_{20}(10) \leq 10; \\
 & x_3(10) = 0, x_6(10) \leq 6, x_9(10) \leq 15, x_{12}(10) \leq 15, x_{15}(10) \leq 6, x_{18}(10) \leq 9, x_{21}(10) \leq 15; \\
 & x_{22}(10) = 0, x_{25}(10) = 0, x_{28}(10) = 0, x_{31}(10) = 0, x_{34}(10) \leq 2, x_{37}(10) \leq 2; \\
 & x_{23}(10) = 0, x_{26}(10) = 0, x_{29}(10) = 0, x_{32}(10) = 0, x_{35}(10) = 0, x_{38}(10) \leq 10; \\
 & x_{24}(10) = 0, x_{27}(10) = 0, x_{30}(10) = 0, x_{33}(10) = 0, x_{36}(10) = 0, x_{39}(10) \leq 15; \\
 & x_1(10) + x_2(10) + x_3(10) \leq 2, x_4(10) + x_5(10) + x_6(10) \leq 6, x_7(10) + x_8(10) + x_9(10) \leq 4; \\
 & x_{10}(10) + x_{11}(10) + x_{12}(10) = 0, x_{13}(10) + x_{14}(10) + x_{15}(10) \leq 6, x_{16}(10) + x_{17}(10) + x_{18}(10) \leq 9; \\
 & x_{19}(10) + x_{20}(10) + x_{21}(10) = 0, x_{31}(10) + x_{32}(10) + x_{33}(10) = 0, x_{34}(10) + x_{35}(10) + x_{36}(10) = 0; \\
 & x_{37}(10) + x_{38}(10) + x_{39}(10) = 0; \\
 & x_1(20) \leq 1, x_4(20) = 0, x_7(20) \leq 2, x_{10}(20) \leq 2, x_{13}(20) = 0, x_{16}(20) = 0, x_{19}(20) \leq 2; \\
 & x_2(20) = 0, x_5(20) = 0, x_8(20) \leq 10, x_{11}(20) \leq 10, x_{14}(20) = 0, x_{17}(20) = 0, x_{20}(20) \leq 10; \\
 & x_3(20) = 0, x_6(20) = 0, x_9(20) \leq 15, x_{12}(20) \leq 15, x_{15}(20) = 0, x_{18}(20) = 0, x_{21}(20) \leq 5; \\
 & x_{22}(20) = 0, x_{25}(20) = 0, x_{28}(20) = 0, x_{31}(20) = 0, x_{34}(20) \leq 2, x_{37}(20) \leq 2; \\
 & x_{23}(20) = 0, x_{26}(20) = 0, x_{29}(20) = 0, x_{32}(20) = 0, x_{35}(20) = 0, x_{38}(20) \leq 10; \\
 & x_{24}(20) = 0, x_{27}(20) = 0, x_{30}(20) = 0, x_{33}(20) = 0, x_{36}(20) = 0, x_{39}(20) \leq 10; \\
 & x_1(20) + x_2(20) + x_3(20) \leq 1, x_4(10) + x_5(10) + x_6(10) = 0, x_7(10) + x_8(10) + x_9(10) = 0; \\
 & x_{10}(10) + x_{11}(10) + x_{12}(10) = 0, x_{13}(10) + x_{14}(10) + x_{15}(10) = 0, x_{16}(10) + x_{17}(10) + x_{18}(10) = 0; \\
 & x_{19}(10) + x_{20}(10) + x_{21}(10) \leq 15, x_{31}(10) + x_{32}(10) + x_{33}(10) = 0, x_{34}(10) + x_{35}(10) + x_{36}(10) \leq 1; \\
 & x_{37}(10) + x_{38}(10) + x_{39}(10) \leq 10; \\
 & 1200x_1(10) + 800x_4(10) + 600x_7(10) + 200x_{10}(10) + 400x_{13}(10) + 200x_{16}(10) + 600x_{19}(10) + \\
 & + 600x_{31}(10) + 600x_{34}(10) + 400x_{37}(10) + 1200x_1(20) + 800x_4(20) + 600x_7(20) + 200x_{10}(20) + \\
 & + 400x_{13}(20) + 200x_{16}(20) + 600x_{19}(20) + 600x_{31}(20) + 600x_{34}(20) + 400x_{37}(20) \leq 4000; \\
 & 1200x_2(10) + 800x_5(10) + 600x_8(10) + 200x_{11}(10) + 400x_{14}(10) + 200x_{17}(10) + 600x_{20}(10) + \\
 & + 600x_{32}(10) + 600x_{35}(10) + 400x_{38}(10) + 1200x_2(20) + 800x_5(20) + 600x_8(20) + 200x_{11}(20) + \\
 & + 400x_{14}(20) + 200x_{17}(20) + 600x_{20}(20) + 600x_{32}(20) + 600x_{35}(20) + 400x_{38}(20) \leq 8000; \\
 & 1200x_3(10) + 800x_6(10) + 600x_9(10) + 200x_{12}(10) + 400x_{15}(10) + 200x_{18}(10) + 600x_{21}(10) + \\
 & + 600x_{33}(10) + 600x_{36}(10) + 400x_{39}(10) + 1200x_3(20) + 800x_6(20) + 600x_9(20) + 200x_{12}(20) + \\
 & + 400x_{15}(20) + 200x_{18}(20) + 600x_{21}(20) + 600x_{33}(20) + 600x_{36}(20) + 400x_{39}(20) \leq 14000.
 \end{aligned}$$

В результате решения задачи линейного программирования получено:

$$\Psi^{\text{рац}}(20, \vec{X}) = 0,502.$$

Данные о количестве поражаемых объектов при выполнении задач боевых действий и распределении средств поражения представлены в таблицах 10, 11.

Проведем анализ полученных результатов, для чего сравним значения основных частных показателей эффективности огневого поражения, полученных для первоначальных расчетов распределения объектов и средств поражения (первый случай), а также для рационального распределения боеприпасов (второй случай). К таким показателям можно отнести: степень реализации боевых возможностей ГВП; суммарное количество и типы поражаемых объектов группировки противника; расход боеприпасов для выполнения задач огневого поражения и его распределение по задачам боевых действий.

Таблица 10. – Поражаемые объекты и распределение средств поражения для 1-й задачи боевых действий при рациональном распределении боеприпасов

Поражаемые объекты		1-я подсистема				2-я подсистема			3-я подсистема			4-я подсистема		
		ПУ обьед.	ПУ соед.	ПУ частей	ПУ подр.	тип 1	тип 2	тип 3	тр	мпр	пр	скл. обьед.	скл. соед.	скл. част.
Нач. кол-во		3	6	24	32	6	9	15	24	42	30	2	4	16
Средства поражения	тип 1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	тип 2	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0
	тип 3	0	6	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0
Средства дуэльного боя		0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
Итого		1	0	24	32	0	0	15	23	41	30	2	4	16

Таблица 11. – Поражаемые объекты и распределение средств поражения для 2-й задачи боевых действий при рациональном распределении боеприпасов

Поражаемые объекты		1-я подсистема				2-я подсистема			3-я подсистема			4-я подсистема		
		ПУ обьед.	ПУ соед.	ПУ частей	ПУ подр.	тип 1	тип 2	тип 3	тр	мпр	пр	скл. обьед.	скл. соед.	скл. част.
Нач. кол-во		1	0	24	32	0	0	15	23	41	30	2	4	16
Средства поражения	тип 1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	тип 2	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	2
	тип 3	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	8
Средства дуэльного боя		0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
Итого		1	0	0	24	32	0	0	0	22	40	30	2	3



Степень реализации боевых возможностей группировки войск противника представляет собой важнейший показатель эффективности ОПП.

Целевая функция сформированной модели противоборства сторон показывает относительное снижение боевых возможностей в результате поражения тех или иных объектов противоборствующей группировки.

Проведенные расчеты показывают, что для первого случая минимальное значение степени реализации боевых возможностей будет равно  $\Psi_{\min}(20, \vec{X}) = 0,492$ , а для второго –  $\Psi^{\text{рац}}(20, \vec{X}) = 0,502$ . При этом первоначальное (максимальное) значение снижения целевой функции превосходит второе на 2 %.

В результате огневого воздействия в первом случае [1], (см. таблицы 8, 10) поражаются 54 объекта, среди них: пункты управления объединения – 3, пункты управления соединений – 6, пункты управления частей – 4, артиллерия 1-го типа – 6, артиллерия 2-го типа – 9, артиллерия 3-го типа – 15, склады соединений – 1, склады частей – 10. Во втором случае (см. таблицы 6, 7, 9, 11) поражаются 50 объектов, среди них: пункты управления объединения – 3, пункты управления соединений – 6, артиллерия 1-го типа – 6, артиллерия 2-го типа – 9, артиллерия 3-го типа – 15, склады соединений – 1, склады частей – 10. Во втором случае к поражению принимается на 8 % меньше объектов, из поражения исключаются пункты управления частей как менее важные.

Потребность в боеприпасах для выполнения огневых задач в первом случае составляет 28 600 условных боеприпасов. По условию для выполнения задач выделено 26 000. Перерасход составляет 10 %, что в реальных условиях боевых действий может поставить выполнение задач под угрозу срыва. Во втором случае потребность составляет 26 200 боеприпасов, перерасход – менее 1 % (обусловлено округлением количества поражаемых объектов и легко устраняется). Для этих условий с учетом первоочередности поражения наиболее важных объектов произведено распределение боеприпасов по решаемым боевым задачам: 1-я задача – 11 400 условных боеприпасов (44 %), 2-я задача – 14 800 условных боеприпасов (56 %).

Таким образом, проведенный анализ показывает, что при предложенном распределении ресурсов значительное снижение расхода боеприпасов (10 %) и количества поражаемых объектов ведет к незначительному (2 %) снижению эффективности ОПП. Важным аспектом, характерным для предложенного распределения, представляется обеспечение первоочередного поражения наиболее важных объектов противостоящей группировки. Кроме того, реализация предложенного распределения обеспечивает соответствие задач огневого поражения выделенному количеству боеприпасов и их целесообразное распределение по боевым задачам. В целом предложенный подход к распределению корректен и непротиворечив. Предложенное распределение ресурсов боеприпасов и средств поражения по задачам боевых действий и объектам поражения является рациональным.

### Заключение

Сформулированная задача математического программирования учитывает особенности состояния и возможности противоборствующих группировок войск, их количественно-качественный состав, имеющиеся взаимосвязи между элементами, преследуемые цели и решаемые задачи, т. е. полученный результат позволяет сделать вывод о работоспособности полученной модели вооруженного противоборства сторон.

Можно предположить, что применяя данные результаты при оперативной и боевой подготовке штабов и войск, разработанный подход позволит на этапе планирования обосновать цель огневого поражения, максимально возможную степень снижения боевых возможностей группировки противника в конкретных условиях, установленный объем огневых задач, направления сосредоточения основных усилий в ОПП и сформировать предложения по составу группировок сил огневого поражения на направлениях [3], а также

обосновать порядок огневого поражения в целом и при решении конкретных боевых задач, распределить выделенный ресурс боеприпасов по боевым задачам и формам огневого поражения, уточнить состав группировок сил ОПП [3].

Однако, наряду с положительными функциональными возможностями предложенного математического аппарата, сформулированная задача математического программирования достаточно объемна и сложна, множество ее слагающих требуют дальнейшего тщательного изучения и оценки.

Предложенные математические зависимости содержат определенное количество допущений и неопределенных факторов (двустороннее поражение, разведывательные возможности, радиоэлектронное и иные виды поражения, восстановление боеспособности, боевые действия других видов и родов войск), которые также подлежат обязательной оценке и корректному учету. Требуется дальнейшей проработки и детализации выполнение наиболее общих задач боевых действий.

Возможности доступной для использования в войсках вычислительной техники и базовые средства для разработки специализированного программного обеспечения позволят отказаться от практики принятия решений на основе упрощенных методик, опирающихся в основном на применение унифицированных таблиц, графиков и номограмм. Возможности современных ЭВМ позволят проводить моделирование военных действий в интересах принятия решений в реальном масштабе времени и с учетом большого количества условий, оказывающих влияние на эффективность военных действий формирований [4].

В целом предложенный подход не является единственно возможным вариантом решения обозначенной, достаточно серьезной прикладной военно-теоретической задачи. Вместе с тем изложенное позволит органам управления воинских формирований оперативно планировать действия войск, а в ходе ведения боевых действий успешно управлять ими, в том числе и при резких изменениях обстановки, решении внезапно возникающих задач.

#### Список использованных источников

1. Избаш, М. Ю. Математическое моделирование противоборства оперативно-тактических группировок войск и распределение ресурсов по задачам боевых действий / М. Ю. Избаш, В. В. Рябоконт, В. А. Липницкий // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2018. – № 1. – С. 11–19.
2. Избаш, М. Ю. Математическое моделирование противоборства оперативно-тактических группировок войск и распределение ресурсов по задачам боевых действий / М. Ю. Избаш, Л. В. Душеина, В. В. Липницкий // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2017. – № 3. – С. 3–7.
3. Избаш, М. Ю. Цель ОПП в операции и возможности по ее достижению в свете нового подхода к планированию огневого поражения / М. Ю. Избаш, В. В. Диордица // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2014. – № 3. – С. 17–30.
4. Булойчик, В. М. Возможные подходы к формированию облика системы обеспечения принятия решений в ходе подготовки и ведения военных действий / В. М. Булойчик, М. Ю. Избаш // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2015. – № 4. – С. 10–14.

---

\*Сведения об авторах:

Избаш Михаил Юрьевич,  
Рябоконт Вадим Викторович,  
Душеина Людмила Вадимовна,  
УО «Военная академия Республики Беларусь».  
Статья поступила в редакцию 09.04.2018 г.

# ОБЩЕТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

УДК 519.876.2

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТЬЮ

А. А. Жук, В. М. Булойчик, доктор технических наук, профессор\*

*Материалы статьи посвящены оценке результатов решения задачи целочисленного линейного программирования, полученных с помощью традиционного метода «ветвей и границ» и искусственной нейронной сети. Сравнительные результаты позволяют судить о целесообразности применения искусственной нейронной сети для решения подобных задач в современных и перспективных системах поддержки принятия решений.*

*Article materials are devoted an estimation of results of the decision of a problem of the integer linear programming, received by means of a traditional method «branches and borders» and of an artificial neural network. Comparative results allow to judge expediency of application of an artificial neural network for the decision of similar problems in modern and perspective systems of support of decision-making.*

На практике часто встречаются задачи, связанные с оптимальным (по некоторому критерию) распределением ресурсов. Речь может идти о задаче целераспределения, о распределении денежных средств, сырья по предприятиям и т. д., т. е. вообще о распределении всевозможных средств по каким-то категориям мероприятий.

Для решения задачи распределения ресурсов используются различные точные и приближенные методы, причем единственным методом, гарантирующим нахождение оптимального решения, является полный перебор всех возможных вариантов [1]. Однако мощность множества допустимых решений таких задач быстро (экспоненциально) растет с увеличением размерности входных данных [2], что делает неприемлемым использование метода полного перебора для многих практических задач.

Тем не менее во многих областях деятельности, особенно в военной, часто необходимо оперативно решать задачи рассматриваемого класса в реальном масштабе времени [3]. При этом часто приближенное решение задачи, полученное в приемлемое время, более ценно, чем точное решение, найденное через значительный промежуток времени. Данное обстоятельство стимулировало бурное развитие различных приближенных методов решения рассматриваемой задачи, среди которых наибольший интерес представляют нейросетевые алгоритмы.

В данной статье рассматривается задача максимизации целевой функции  $U(x)$  посредством рекуррентной нейронной сети (РНС) [4].

Целевая функция определяется выражением

$$U(x) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}, \quad (1)$$

где  $m, n$  – константы, предопределяющие размерность задачи;

$c_{ij}$  – константа, предопределяющая аналитический вид целевой функции;

$x_{ij}$  – параметр, принимающий только два значения: 1, если  $i$ -е средство назначается для выполнения  $j$ -го мероприятия, и 0, если  $i$ -е средство не назначается для выполнения  $j$ -го мероприятия.

Система ограничений определяется соотношением

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} x_{ij} \leq b_i, x \in [0, 1], \quad (2)$$

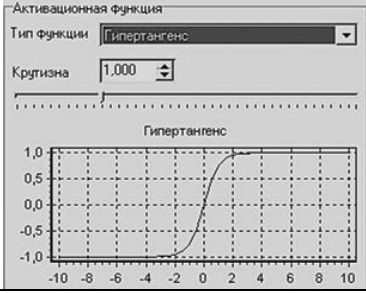
где  $a_{ij}$ ,  $b_i$  – константы, предопределяющие аналитический вид функций ограничений.

При решении рассматриваемой задачи для оценки эффективности применения РНС выполнены следующие действия:

1. Определены параметры РНС в соответствии с таблицей 1.
2. В интегрированной среде программирования Borland C++ Builder разработана имитационная модель РНС (рисунок 1).
3. Проведены четыре серии экспериментов с программной реализацией РНС на процессоре AMD Athlon 64 X2 (2,4 ГГц).

При проведении исследований каждая серия экспериментов состояла из десяти реализаций случайно сгенерированных значений матриц коэффициентов  $c_{ij}$  ( $c_{ij} \in [0 \div 1]$ ) целевой функции (1) и коэффициентов  $a_{ij}$ ,  $b_i$  ( $a_{ij} \in [1 \div 3]$ ,  $b_i = 3$ ) системы ограничений (2). При этом размерность задачи (сложность задачи) определялась количеством нейронов  $N$ , равным произведению  $m \cdot n$ , и числом учитываемых ограничений, равным произведению  $2 \cdot m$ .

Таблица 1. – Параметры рекуррентной нейронной сети

Количество нейронов сети, шт.	$10 \times 10$	$20 \times 20$	$30 \times 30$	$40 \times 40$
Функция активации нейронов				
Значение коэффициента функции активации нейронов $u_0$ [5]	0,02			
Значение коэффициента скорости изменения состояния сети $\lambda$	$1 \times 10^{-6}$			
Значения коэффициентов ограничений $\gamma_1 - \gamma_4$ функции энергии сети [4]	$\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = 700$ $\gamma_4 = 1$			

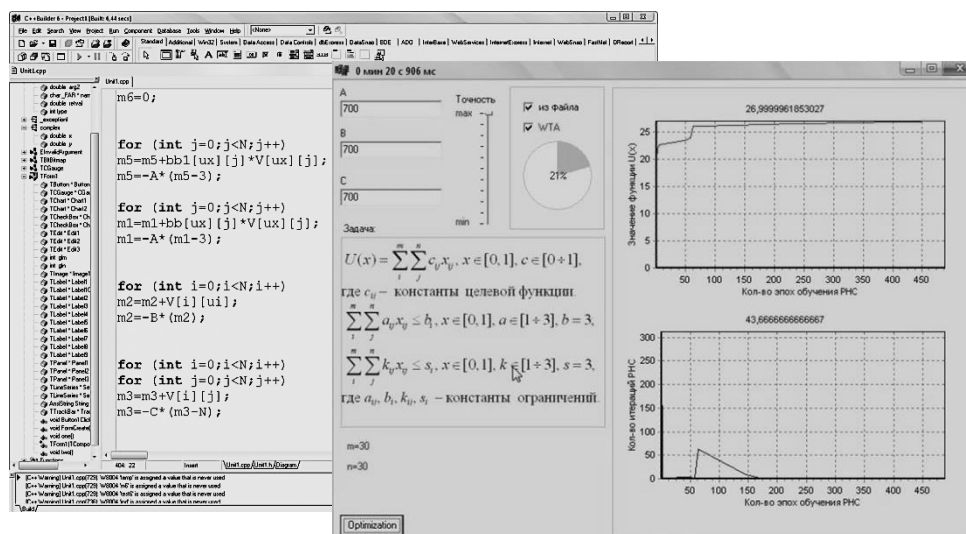


Рисунок 1. – Интерфейс программной реализации рекуррентной нейронной сети

Детальное рассмотрение используемых методов оценки качества работы нейронных сетей [6, 7, 8] показало, что в качестве базовых показателей их оценки рекомендуются следующие:

1. Показатель результативности, определяемый как усредненная сумма квадратов разностей между текущим значением выходного слоя нейронной сети и требуемым.

2. Показатель оперативности, значение которого в общем случае определяется временем получения варианта решения.

Для РНС, синтезированной для решения задачи распределения, показатель результативности определен на конкретном наборе исходных данных и определяет близость полученного решения к оптимальному.

В силу того, что различные исходные данные решаемой задачи определяют и различные диапазоны значений целевой функции (1) на множестве допустимых решений, показатель результативности РНС имеет относительный характер и вычисляется по выражению:

$$\Delta U(\bar{x}) = \frac{U(\bar{x}) - U_t(\bar{x})}{U_t(\bar{x})} \cdot 100\%, \quad \bar{x} \in [x_1, x_2, \dots, x_{10}], \quad (3)$$

где  $U(\bar{x})$  – расчетное значение целевой функции (1) от вектора параметров  $\bar{x}$ ;

$U_t(\bar{x})$  – точное (оптимальное) значение целевой функции (1), полученное от вектора параметров  $\bar{x}$ .

Результаты расчетов показателя результативности РНС представлены на рисунке 2. При этом в качестве точного значения  $U_t(\bar{x})$  принималось значение, полученное с помощью метода «ветвей и границ», реализованного функцией *bintprog* из пакета прикладных программ MATLAB.

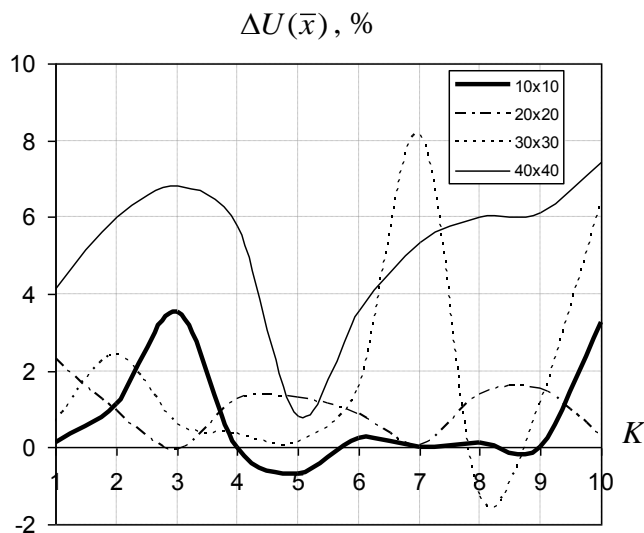
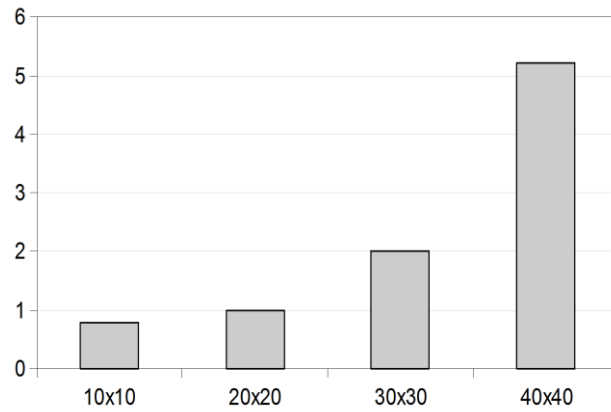


Рисунок 2. – Графики зависимости показателя результативности от сложности задачи ( $K$  – порядковый номер реализации в серии эксперимента)

Как показано на рисунке 2, повышение сложности задачи приводит к незначительному возрастанию ошибки решения, полученной относительно метода «ветвей и границ». Средние значения ошибок решения  $\Delta U_{cp}(\bar{x})$  представлены на рисунке 3.

$$\Delta U_{cp}(\bar{x}), \%$$



Сложность задачи ( $N = m \times n$ )

Рисунок 3. – Зависимость средних значений ошибок от сложности задачи

Используя [9] можно определить максимальную практически возможную ошибку  $\xi$  с доверительной вероятностью 0,95, которая была допущена в каждой серии экспериментов, при определении средней ошибки решения задачи (таблица 2).

Таблица 2. – Максимальная ошибка  $\xi$ , допущенная в серии экспериментов при определении средней ошибки решения задачи

Метод исследования	Серия экспериментов			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
	Максимальная ошибка $\xi$ , %			
Рекуррентная нейронная сеть	15,6	12,4	15,4	17,6
«Ветвей и границ»	16	11	11	6,3

Приведенные в таблице 2 значения ошибок  $\xi$  позволяют оценить требуемое количество реализаций  $\theta$ , необходимое для их уменьшения до 5 % (таблица 3).

Таблица 3. – Требуемое количество реализаций  $\theta$  для уменьшения максимальной ошибки  $\xi$  до 5 %

Метод исследования	Серия экспериментов			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
	Требуемое количество реализаций $\theta$			
Рекуррентная нейронная сеть	97	62	95	73
«Ветвей и границ»	104	48	44	16

Анализ данных таблиц 2 и 3 показывает, что количество реализаций в каждой серии экспериментов требуется увеличить, чтобы уменьшить максимальную практически допущенную ошибку результатов исследования до 5 %.

Так как качество решения рассматриваемой оптимизационной задачи зависит от ее размерности, то необходимо рассмотрение зависимости показателя (3) от размерности входных данных.

Для того чтобы найти обобщенную оценку точности решения, не зависящую от конкретного размера набора исходных данных, необходимо усреднить показатель  $\Delta U(\bar{x})$  по всему множеству исходных данных. В итоге получим показатель точности  $\delta$  в виде

$$\delta = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^S \Delta U(\bar{x}_i), \quad (4)$$

где  $S$  – количество наборов входных данных;

$\bar{x}_i$  – набор исходных данных конкретного размера.

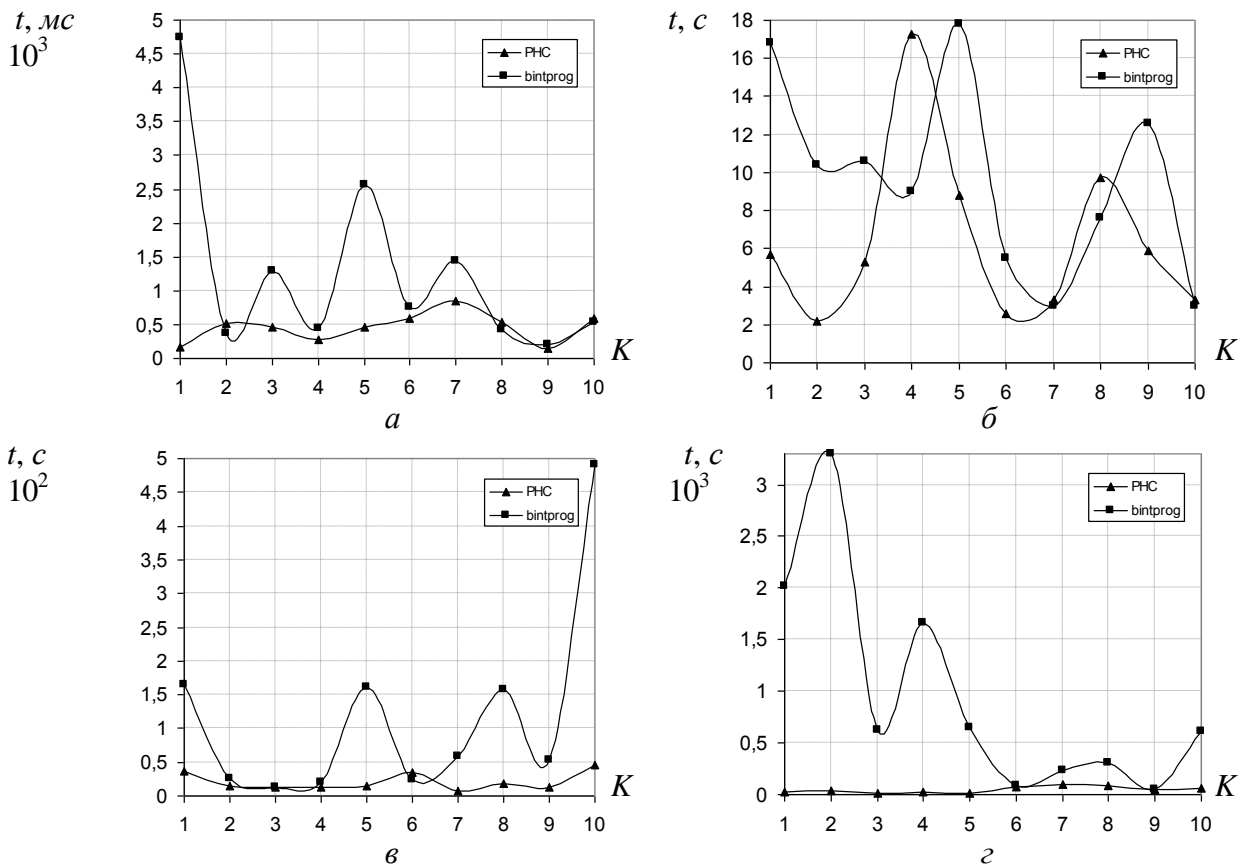
При усреднении показателя  $\Delta U(\bar{x})$  по всему множеству исходных данных (см. рисунок 3) значение показателя  $\delta$  составило 2,25 %.

Показатель оперативности рекуррентной нейронной сети  $t_{\text{РНС}}$  определяется в первую очередь характеристиками вычислительных средств, на которых реализована данная нейросеть [10, 11]. При этом наивысшие показатели оперативности будут присущи сетям, в которых реализовано максимальное распараллеливание процесса обработки информации.

Если рассматривать аппаратную реализацию РНС, то оперативность применения нейронной сети будет оцениваться временем переходных процессов вычислительных устройств, на которых она построена.

При отсутствии аппаратной реализации оперативность РНС может оцениваться по времени получения решения  $t$ . Поэтому в качестве показателя оперативности  $t_{\text{РНС}}$  рассматриваемой РНС принято время, необходимое для получения решения.

Результаты расчетов значений показателя оперативности РНС и функции *bintprog* представлены на рисунке 4.



а – для сложности задачи  $10 \times 10$ ; б – для сложности задачи  $20 \times 20$ ; в – для сложности задачи  $30 \times 30$ ;  
г – для сложности задачи  $40 \times 40$

Рисунок 4. – Графики зависимости времени решения задачи от ее сложности ( $K$  – порядковый номер реализации в серии эксперимента):

На рисунке 4 показано, что рассматриваемая РНС в пределах допустимой погрешности (см. рисунок 3) с увеличением сложности задачи обладает лучшим быстродействием. В отличие от метода «ветвей и границ» оперативность решения у предлагаемой РНС слабо зависит от размерности пространства  $m \times n$ . При практической реализации метода «ветвей и границ» с увеличением сложности задачи требуется сохранять

большое количество вариантов решений, что приводит к большой вычислительной сложности и, как следствие, к большим временным затратам на поиск решения.

Значения среднего времени  $t_{cp}$  решения задачи посредством РНС и функции *bintprog* представлены на рисунке 5.

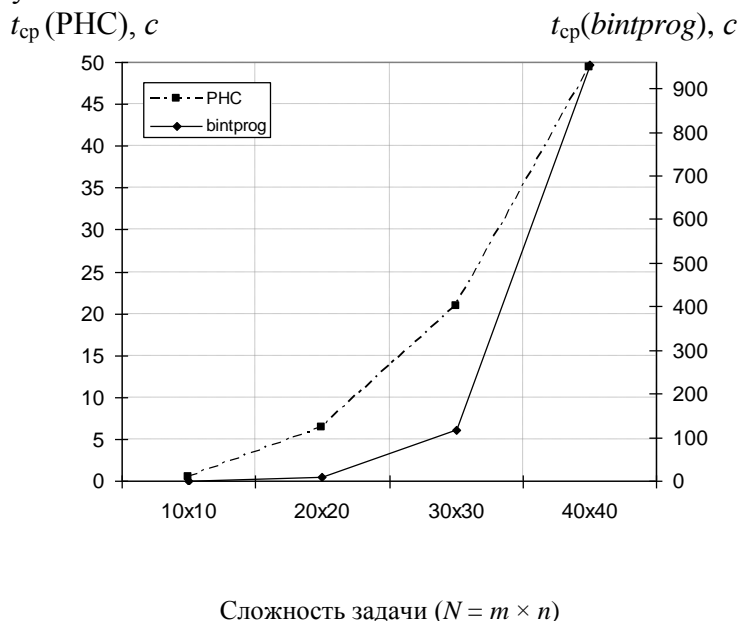


Рисунок 5. – Графики зависимости среднего времени решения задачи от ее сложности

Как показано на рисунке 5, применение РНС позволило уменьшить время решения задачи.

При усреднении показателя  $t$  по всему множеству исходных данных в соответствии с выражением (4) время решения задачи сократилось в 7,3 раза.

Таким образом, из оценки эффективности применения РНС при решении целочисленной задачи оптимального распределения ресурсов с учетом системы линейных ограничений следует:

1. Увеличение сложности задачи пропорционально приводит к увеличению количества нейронов РНС и медленному увеличению ошибки решения задачи.

2. Оперативность решения задачи распределения ресурсов посредством РНС выше, чем у метода «ветвей и границ». Сохранение точности решения задачи методом «ветвей и границ» с увеличением ее сложности приводит к большим временным затратам на его реализацию.

3. РНС уступает методу «ветвей и границ» по точности решения, но с увеличением сложности задачи разрыв существенно сокращается. При увеличении сложности задачи до размера  $50 \times 50$  и более посредством метода «ветвей и границ» были получены результаты с нулевым значением целевой функции (1), т. е. при которых решение не найдено.

#### Список использованных источников

1. Булойчик, В. М. Военно-прикладные вопросы математического моделирования. Ч. 2. Математические методы, используемые при моделировании процессов функционирования систем : учеб. пособие / В. М. Булойчик. – Минск : ВА РБ, 2000. – 156 с.
2. Овчинников, В. А. Алгоритмизация комбинаторно-оптимизационных задач при проектировании ЭВМ и систем / В. А. Овчинников. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. – 288 с.
3. Жук, А. А. Распределение огня артиллерии на основе линейной модели / А. А. Жук, В. М. Булойчик // Наука и военная безопасность: научно-теоретическое приложение к журналу «Армия». – 2017. – № 3. – С. 13–17.



4. Жук, А. А. Оптимизация распределения ресурсов посредством рекуррентной нейронной сети / А. А. Жук, В. М. Булойчик // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2016. – № 1. – С. 17–21.
5. Hopfield, J. J. «Neural» Computation of Decisions in Optimization Problems / J. J. Hopfield, D. W. Tank // Biological Cybernetics. – 1985. – № 52. – P. 141–152.
6. Гусева, А. В. Нейросетевое моделирование сложных организационно-технических систем / А. В. Гусева // Сборник трудов Белорусской инженерной академии. – 2003. – № 15. – С. 249–252.
7. Гришко, В. Д. Специализированный анализ картографической информации: алгоритм классификации дискрет местности и его нейросетевая интерпретация / В. Д. Гришко // Сборник научных статей докторантов, адъюнктов и соискателей Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2004. – № 8. – С. 52–58.
8. Галушкин, А. И. Теория нейронных сетей: в 3 т. / А. И. Галушкин. – М. : ИПРЖР, 2000. – Т. 1. – 378 с.
9. Кобзарь, А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников / А. И. Кобзарь. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. – 816 с.
10. Назаров, А. В., Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации систем / А. В. Назаров, А. И. Лоскутов. – СПб. : Наука и техника, 2003. – 384 с.
11. Нейрокомпьютеры: от программной к аппаратной реализации / М. А. Аляутдинов и [др.] – М. : Горячая линия-Телеком, 2008. – 152 с.

---

\*Сведения об авторах:

Жук Андрей Александрович,

Булойчик Василий Михайлович,

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 26.03.2018 г.

УДК 621.37

## АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЛИЯНИЯ ПОМЕХ ДАЛЬНОМЕРНОМУ КАНАЛУ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ НА ПАРАМЕТР ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ РАКЕТОЙ ПО МЕТОДУ ПРОПОРЦИОНАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ

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

А. Н. Поскрёбышев\*

*Статья посвящена обоснованию способов применения имитирующих помех каналу измерения дальности многофункциональной радиолокационной станции (МРЛС) как средства индивидуальной защиты носителя от телеуправляемого ракетного оружия. Получена аналитическая зависимость, связывающая радиальную скорость ложной цели с параметром телеуправления ракетой по методу пропорциональной навигации. Представлены зависимости требуемой перегрузки ракеты при различных начальных ракурсах наблюдения и радиальных скоростях ложной цели.*

*The article is concerned with foundation of method of application imitating jamming to the ranging channel of radiolocation system as personal protective equipment missile distance control weapon. Analytic relationship between the radial speed with the missile telecontrol parameter is received. Required missile overload dependences considering initial conditions are produced.*

Современные тенденции развития систем противовоздушной и противоракетной обороны характеризуются широким применением комбинированных систем наведения управляемых ракет с использованием различных источников координатной информации о текущем месторасположении и параметрах движения цели. Такая диверсификация информационных источников обеспечивает, с одной стороны, улучшение точности наведения объекта управления, а с другой – радикальное увеличение помехозащищенности системы в целом.

Типичным примером комплексирования информации, используемой в системах управления оружием, является объединение результатов радиолокационного наблюдения цели МРЛС комплекса ПВО (ПРО) и головки самонаведения наводящейся ракеты. При этом на первом, наиболее протяженном участке траектории наведения ракеты, команды управления формируются по измерениям МРЛС, характеризуемым наибольшей точностью измерения координат, а на втором (конечном) – по результатам комплексной обработки измерений МРЛС и ГСН наводящейся ракеты. Как показано в [1], в ряде важных для практики приложений преобладание в точности измерения относительных координат цели у радиолокационной головки самонаведения наступает только на финальном участке траектории, за единицы секунд до конца наведения. По результатам проведенного количественного анализа в [1] делается вывод о роли МРЛС как основного информационного источника, используемого для наведения управляемого ракетного оружия. Из этого следует приоритетность решения задачи радиоэлектронного подавления данной (РЛС) в целях решения задачи преодоления зон поражения комплексов ПВО (ПРО).

Следует отметить, что использование информации МРЛС для наведения ракет характеризуется определенной спецификой по отношению к применению средств радиоэлектронной борьбы. Это связано с некоторыми важными аспектами процессов радиоэлектронного подавления угломерных, дальномерных и доплеромерных каналов измерения относительных координат цели, а также влияния результатов помехопостановки на исход ракетной атаки. Нас интересуют имитирующие помехи как основное средство индивидуальной защиты носителя от управляемого ракетного оружия, используемое в современных бортовых комплексах радиоэлектронного подавления отечественной разработки. Данные помехи формируются ретрансляционным трактом, обеспечивающим наделение принимаемого сигнала специальными видами угловой (частотной, фазовой) модуляции.

В качестве исходных данных, учитываемых при решении рассматриваемой задачи, будем использовать следующие условия:

1. Наведение ракеты комплекса ПВО (ПРО) осуществляется методом пропорциональной навигации. Из теории систем радиуправления [2, 3] известно, что данный метод является наиболее энергетически выигрышным, т. е. требует минимума расхода кинетической энергии ракеты на решение задачи траекторного управления, характеризуется всевысотностью и всеракурсностью атак. Отметим, что использование данного метода в системах телеуправления по сравнению с использованием традиционного метода трех точек является более сложным, так как требует измерения большего количества параметров и реализации более сложного вычислительного алгоритма формирования параметра управления.

2. Для бортового размещения оборудования индивидуальной радиоэлектронной защиты имеется жесткий дефицит массогабаритных ресурсов и электропитания. Это означает, в частности, что не могут быть использованы усилители мощности, требующие реализации системы воздушного или жидкостного охлаждения, не может быть размещена сложная механическая конструкция и т. п.

3. Имеются существенные ограничения в СВЧ-развязке между приемной и передающей антеннами вследствие их близкого расположения, обусловленного габаритными ограничениями.

4. Многофункциональной РЛС комплекса для каждого из объектов наблюдения (цели, ракеты) измеряются, в общем случае, угловые координаты (азимут, угол места), дальность, а также производные данных величин по времени (угловая скорость линии визирования объектов и их радиальная скорость). Для зондирования многофункциональная РЛС использует широкополосные сигналы с внутриимпульсной линейной частотной модуляцией. Данные сигналы обеспечивают возможность обеспечения длительного когерентного накопления при сохранении требуемой разрешающей способности по дальности (около 50 м) и приемлемом уровне боковых лепестков за счет использования апподизации. Типовые параметры зондирующих сигналов: длительность импульса  $\tau_{\text{и}} = 100$  мкс, период повторения импульсов  $T_{\text{п}} = 2$  мс, девиация ЛЧМ  $\Delta f = 5$  МГц [4].

Отметим, что перечисленные условия, взятые в качестве исходных данных, являются достаточно жесткими. Это связано с энергетическими ограничениями устройств формирования имитирующих помех, располагаемых на борту защищаемого объекта. Дело в том, что наиболее перспективные виды помех индивидуальной защиты – помехи моноимпульсным угломерным каналам РЭС УО (поляризационная, когерентная) – являются одновременно энергетически наиболее затратными: для «надежного» увода угломерных следящих систем требуется превышение мощности помехи над мощностью полезного (отраженного от цели) сигнала как минимум на 30 дБ. На практике это реализовать не всегда возможно.

Вместе с тем имитирующие помехи каналам сопровождения по дальности и доплеровской частоте как средство индивидуальной защиты гораздо менее «требовательны» к энергетике: достаточно превышения над отраженным сигналом на 3 дБ [4]. В связи с этим высокой актуальностью характеризуется задача обоснования способов управления помеховым сигналом в целях внесения детерминированных возмущений в каналы управления наводящейся ракеты.

Сразу подчеркнем, что для систем самонаведения никакие помехи дальномерам и доплеромерам не приведут к сколь-либо значимым ошибкам формирования команд управления объектом, наводящимся методом пропорциональной навигации. Перспективы использования таких помех появляются только в случае использования систем телеуправления, для которых геометрический фактор относительного пространственного расположения наземной РЛС, ракеты и цели обеспечивает влияние ошибок измерения дальности «МРЛС – цель» на угловую скорость линии «ракета – цель», от знака и величины которой напрямую зависят знак и величина команды управления.

### Постановка задачи

В качестве исходных условий рассмотрим идеальное наведение телеуправляемой ракеты в упрежденную точку по методу пропорциональной навигации. Цель движется прямолинейно и равномерно, поэтому наведение ракеты осуществляется без маневрирования (поперечная перегрузка равна нулю). Модуль вектора скорости ракеты постоянен.

Относительное положение ракеты и цели на плоскости полностью характеризуется следующими величинами, непосредственно измеряемыми МРЛС (рисунок 1):

- дальность ракеты и ее производная (скорость сближения);
- дальность цели и ее производная;
- угловая скорость линии визирования ракеты;
- угловая скорость линии визирования цели;
- разность углов визирования ракеты и цели.

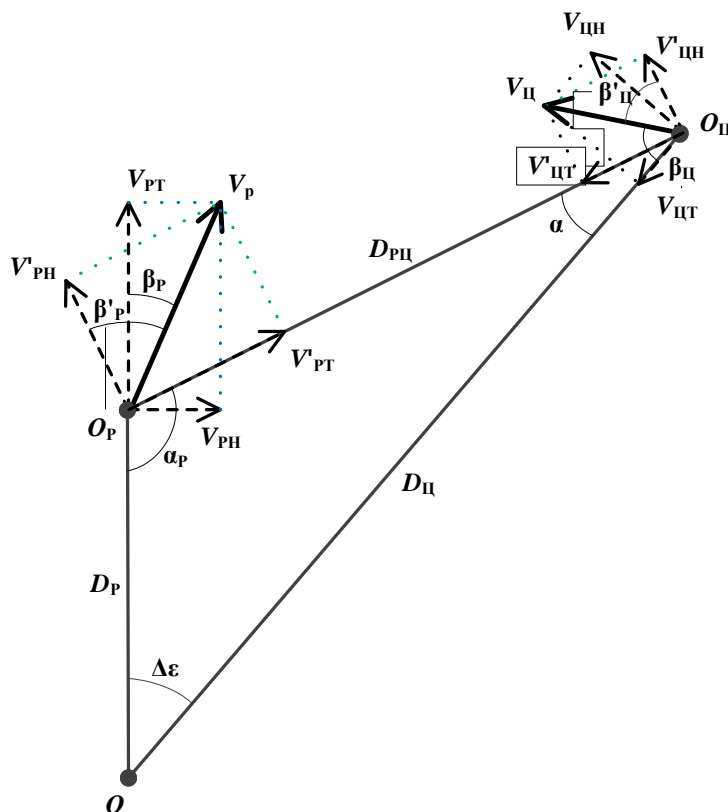


Рисунок 1. – Геометрия расположения ракеты, цели и МРЛС в горизонтальной плоскости

С борта цели создаются помехи дальномерному каналу МРЛС, которые обеспечивают детерминированное изменение текущей дальности цели относительно МРЛС, а также ее производных.

Необходимо найти аналитическую зависимость, связывающую параметр движения ложной цели вдоль линии визирования «ракета – цель» с параметром телеуправления ракеты по методу пропорциональной навигации.

### Решение

Из геометрических соображений понятно, что постоянное смещение ложной цели по дальности относительно МРЛС не приведет к возникновению вращения линии «ракета – цель», поэтому в качестве основного параметра, используемого для внесения управляемых перегрузок ракеты, будем рассматривать скорость ложной цели. Получим зависимость параметра телеуправления ракетой от данной величины. Ниже представлены математически строгие зависимости, а также их приближения, полученные с использованием гипотезы о малом ракурсе радиолокационного наблюдения цели (формулы помечены символом \*):

1. Находим дальность «ракета – цель». Из теоремы косинусов имеем:

$$D_{PЦ} = \sqrt{D_P^2 + D_{Ц}^2 - 2D_P D_{Ц} \cos \Delta \varepsilon}. \quad (1)$$

При малых углах  $\Delta \varepsilon$  выражение существенно упрощается:

$$D_{PЦ} \approx \sqrt{D_P^2 + D_{Ц}^2 - 2D_P D_{Ц}} = D_{Ц} - D_P. \quad (1^*)$$

2. Находим угол  $\alpha$  между линией визирования цели и линией «ракета – цель». Из теоремы синусов имеем:

$$\frac{\sin \alpha}{D_P} = \frac{\sin \Delta \varepsilon}{D_{PЦ}} \Rightarrow \sin \alpha = \frac{D_P \sin \Delta \varepsilon}{D_{PЦ}} = \frac{D_P \sin \Delta \varepsilon}{\sqrt{D_P^2 + D_{Ц}^2 - 2D_P D_{Ц} \cos \Delta \varepsilon}}. \quad (2)$$

Приближенное равенство при малых  $\alpha$  и  $\Delta \varepsilon$ :

$$\alpha \approx \frac{D_P \Delta \varepsilon}{D_{Ц} - D_P}. \quad (2^*)$$

3. Находим нормальную составляющую скорости цели, обусловленную воздействием помехи. С учетом выражения (2) получим:

$$V_{ЛЦН} = V_{ЛЦ} \sin \alpha = \frac{V_{ЛЦ} D_P \sin \Delta \varepsilon}{\sqrt{D_P^2 + D_{Ц}^2 - 2D_P D_{Ц} \cos \Delta \varepsilon}}. \quad (3)$$

Упрощенное выражение имеет вид:

$$V_{ЛЦН} \approx \frac{V_{ЛЦ} D_P \Delta \varepsilon}{D_{Ц} - D_P}. \quad (3^*)$$

4. Определяем составляющую угловой скорости линии «ракета – цель», вызванную воздействием помехи:

$$\omega_{PЦ} = \frac{V_{ЛЦН}}{D_{PЦ}} = \frac{V_{ЛЦ} D_P \sin \Delta \varepsilon}{D_P^2 + D_{Ц}^2 - 2D_P D_{Ц} \cos \Delta \varepsilon}. \quad (4)$$

Приближенное равенство при малой величине  $\Delta \varepsilon$ :

$$\omega_{PЦ} = \frac{V_{ЛЦ} D_P \Delta \varepsilon}{(D_{Ц} - D_P)^2}. \quad (4^*)$$

5. Находим составляющую скорости сближения, обусловленную влиянием создаваемых помех:

$$V_{ЛЦГ} = V_{ЛЦ} \cos \alpha = V_{ЛЦ} \cos \left( \arcsin \frac{D_P \sin \Delta \varepsilon}{\sqrt{D_P^2 + D_{Ц}^2 - 2D_P D_{Ц} \cos \Delta \varepsilon}} \right).$$

С учетом известного выражения  $\cos(\arcsin \lambda) = \sqrt{1 - \lambda^2}$  преобразуем данное выражение. Имеем:

$$\begin{aligned} V_{ЛЦГ} &= V_{ЛЦ} \sqrt{1 - \frac{D_P^2 \sin^2 \Delta \varepsilon}{D_P^2 + D_{Ц}^2 - 2D_P D_{Ц} \cos \Delta \varepsilon}} = V_{ЛЦ} \sqrt{\frac{D_P^2 \cos^2 \Delta \varepsilon + D_{Ц}^2 - 2D_P D_{Ц} \cos \Delta \varepsilon}{D_P^2 + D_{Ц}^2 - 2D_P D_{Ц} \cos \Delta \varepsilon}} = \\ &= V_{ЛЦ} \frac{D_{Ц} - D_P \cos \Delta \varepsilon}{\sqrt{D_P^2 + D_{Ц}^2 - 2D_P D_{Ц} \cos \Delta \varepsilon}}. \end{aligned} \quad (5)$$

Упрощаем ( $\cos \Delta\varepsilon \approx 1$ ):

$$V_{\text{ЛЦГ}} \approx V_{\text{ЛЦ}} \frac{D_{\text{Ц}} - D_{\text{Р}}}{\sqrt{D_{\text{Р}}^2 + D_{\text{Ц}}^2 - 2D_{\text{Р}}D_{\text{Ц}}}} = V_{\text{ЛЦ}}. \quad (5^*)$$

6. Конечное выражение для составляющей требуемого нормального ускорения ракеты, вызванной воздействием помехи дальномерному каналу, получаем с учетом формул (4) и (5):

$$j_{\text{НР}} = N_0 V_{\text{ЛЦГ}} \omega_{\text{РЦ}} = N_0 V_{\text{ЛЦ}}^2 \frac{D_{\text{Р}} \sin \Delta\varepsilon (D_{\text{Ц}} - D_{\text{Р}} \cos \Delta\varepsilon)}{(D_{\text{Р}}^2 + D_{\text{Ц}}^2 - 2D_{\text{Р}}D_{\text{Ц}} \cos \Delta\varepsilon)^{\frac{1}{2}}}. \quad (6)$$

Упрощаем с учетом наших допущений:

$$j_{\text{НР}} \approx N_0 V_{\text{ЛЦ}}^2 \frac{D_{\text{Р}} \Delta\varepsilon (D_{\text{Ц}} - D_{\text{Р}})}{(D_{\text{Р}}^2 + D_{\text{Ц}}^2 - 2D_{\text{Р}}D_{\text{Ц}})^{\frac{1}{2}}} = N_0 V_{\text{ЛЦ}}^2 \frac{D_{\text{Р}} \Delta\varepsilon}{(D_{\text{Ц}} - D_{\text{Р}})^2}. \quad (6^*)$$

Аналитическая зависимость для нормального ускорения ракеты может быть выражена через угол  $\alpha$  и дальность «ракета – цель». Конечное выражение, полученное без допущений и упрощений, при этом достаточно лаконично:

$$j_{\text{НР}} = N_0 V_{\text{ЛЦ}} \frac{V_{\text{ЛЦЦ}}}{D_{\text{РЦ}}} \cos \alpha = \frac{N_0 V_{\text{ЛЦ}}^2 \sin \alpha \cos \alpha}{D_{\text{РЦ}}} = \frac{N_0 V_{\text{ЛЦ}}^2 \sin(2\alpha)}{2D_{\text{РЦ}}}. \quad (7)$$

### Анализ результатов

Проанализируем выражения (6) и (7). Во-первых, как и следовало ожидать, внесение за счет воздействия помех на МРЛС постоянной ошибки измерения дальности (радиальная скорость ложной цели равна нулю) не приводит к возникновению перегрузки наводимой ракеты.

Во-вторых, создаваемое за счет воздействия помех дальномерному каналу МРЛС нормальное ускорение ракеты прямо пропорционально квадрату скорости ложной цели, текущему углу упреждения  $\Delta\varepsilon$  и обратно пропорционально дальности «ракета – цель».

Следует отметить, что угол упреждения и расстояние «ракета – ложная цель» в процессе наведения являются переменными величинами, значение которых зависит от кинематики взаимного перемещения ракеты и цели относительно МРЛС. Поэтому значительный интерес представляет динамика изменения обусловленного воздействием помех дальномерному каналу требуемого нормального ускорения ракеты в ходе ее сближения с целью. Для получения данных зависимостей была использована имитационная модель кинематических соотношений, характерных для процесса идеального наведения ракеты в упрежденную точку. Основные условия моделирования следующие:

начальное относительное положение цели характеризуется дальностью (30 км) и ракурсом атаки (углом между вектором скорости цели и линией визирования). Ракурс принимает фиксированные значения 15, 30 и 45°;

модуль скорости ракеты постоянен и равен 1000 м/с;

скорость цели фиксированна, она составляет 600 м/с, что приблизительно соответствует скорости аэробаллистической цели на конечном (управляемом) участке полета;

значения радиальной скорости ложной (создаваемой воздействием помех дальномерному каналу) цели составляют 150, 300, 450 м/с.

Результаты расчетов показаны на рисунке 2.

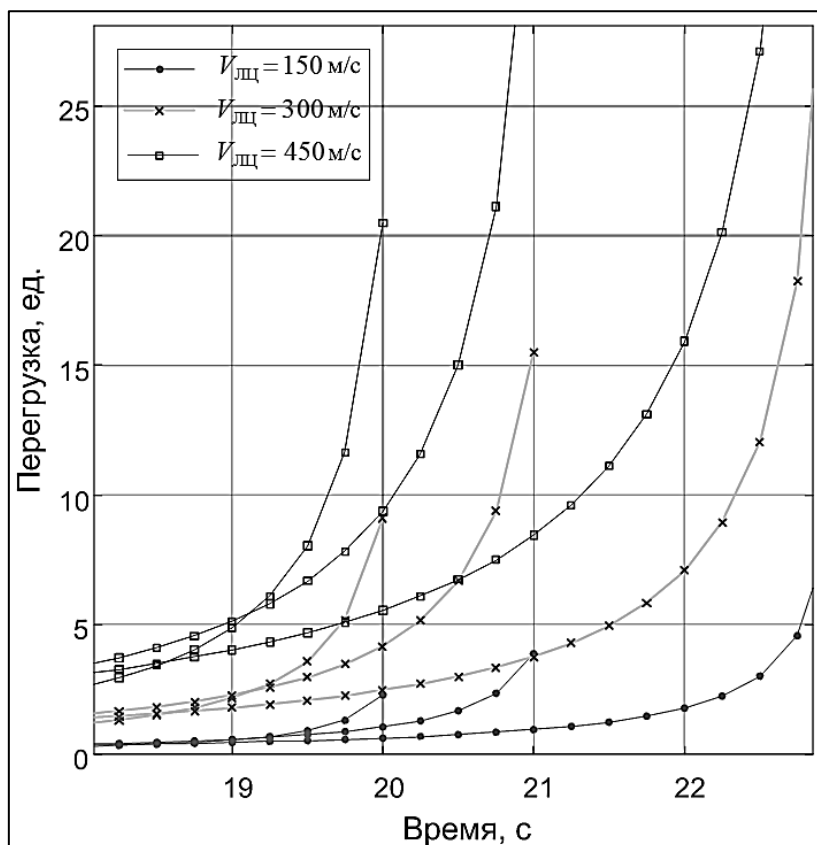


Рисунок 2. – Временные зависимости требуемой перегрузки ракеты при различных начальных ракурсах наблюдения и радиальных скоростях ложной цели

Зависимости, представленные на графиках, характеризуются:

интенсивным ростом требуемой перегрузки ракеты на конечном участке наведения (при подлете к цели);

существенным увеличением перегрузки при атаках с большим ракурсом;

возможностью управления знаком и величиной создаваемой за счет воздействия помех дальномерному каналу МРЛС перегрузки путем изменения знака и модуля радиальной скорости ложной цели.

Следует отметить, начальный этап наведения ракеты на ложную цель характеризуется относительно малыми значениями требуемой перегрузки ракеты вне зависимости от начальных условий, что не позволяет одинаково эффективно воздействовать помехами на всей траектории наведения ракеты. Однако по мере сближения ракеты с целью имитирующим помехам вполне «под силу» обеспечить видимость интенсивного маневрирования атакуемой цели с неизбежной реакцией контура наведения ракеты.

Дополнительным фактором, который следует учитывать, является существенное затруднение взятия цели на сопровождение радиолокационной или оптической головкой самонаведения ракеты для перехода на самонаведение. Дело в том, что целеуказание ГСН по дальности, скорости и угловым координатам, выданное с ошибкой, обусловленной воздействием создаваемых помех, с достаточно большой вероятностью не приведет к успешному захвату. Отметим, что достаточным для решения задачи эффективной радиоэлектронной защиты является ошибка целеуказания, превосходящая диапазон поиска отраженного сигнала хотя бы по одной из координат. Решение задачи оценки вероятности невзятия цели на сопровождение может быть получено методом статистических испытаний с использованием имитационной математической модели процесса наведения ракеты в условиях воздействия создаваемых помех.

### Заключение

В результате проведенных исследований получены аналитические зависимости, характеризующие результаты воздействия помех дальномерному каналу РЛС на контур наведения телеуправляемой ракеты. Показано, что при ненулевом ракурсе такие помехи обеспечивают внесение ошибок оценки угловой скорости линии «ракета – цель», что приводит к возникновению нормальной перегрузки ракеты.

Представленные результаты характеризуют возможность решения задачи радиоэлектронной защиты за счет энергетически наиболее выгодного способа радиоэлектронного подавления информационных источников процесса наведения телеуправляемого ракетного оружия – постановки помех дальномерному каналу РЛС. Данная возможность может быть особенно востребована в случае максимальных энергетических и массогабаритных ограничений на аппаратуру индивидуальной радиоэлектронной защиты, например, при ее размещении на борту малоразмерных летательных аппаратов.

### Список использованных источников

1. Лапука, О. Г. Характеристика радиоэлектронных средств управления оружием комплексов нестратегической противоракетной обороны как объектов радиоэлектронного подавления / О. Г. Лапука, А. Н. Поскрёбышев // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2017. – № 3 (56). – С. 99–108.
2. Канащенко, А. И. Системы командного радиоуправления. Автономные и комбинированные системы наведения / А. И. Канащенко, В. И. Меркулов. – М. : Радиотехника, 2004. – Т. 3. – 320 с.
3. Малкин, В. А. Системы радиоуправления летательных аппаратов : учеб. для курсантов УО «ВА РБ» / В. А. Малкин. – Минск : ВА РБ, 2011. – 277 с.
4. Перунов, Ю. М. Радиоэлектронное подавление информационных каналов систем управления оружием / Ю. М. Перунов, К. И. Фомичев, Л. М. Юдин. – М. : Радиотехника, 2004. – 416 с.

---

\*Сведения об авторах:

Лапука Олег Георгиевич,  
Поскрёбышев Андрей Николаевич,  
УО «Военная академия Республики Беларусь».  
Статья поступила в редакцию 27.04.2018 г.



УДК 621.396.96

## ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ ЦЕЛИ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ЕЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ В ДВУХКООРДИНАТНОЙ РЛС ОБЗОРА

А. С. Солонар, кандидат технических наук, доцент; П. А. Хмарский, кандидат  
технических наук; А. А. Михалковский; А. В. Паракневич\*

*В статье проанализировано влияние высоты цели на точность измерения ее местоположения в двухкоординатной РЛС обзора. Указаны условия, при которых необходимо восстановление высоты цели для обеспечения требуемой точности измерения местоположения по данным двухкоординатной РЛС обзора.*

*The effect of target height on the accuracy of measuring its location in a two-coordinate radar survey is estimated. The conditions are specified in which it is necessary to restore the height of the observed air object in order to ensure the required accuracy of measuring its location from the data of a two-coordinate radar survey.*

### Введение

Требования к возможностям средств радиолокации непрерывно повышаются, что приводит к необходимости расширения и обновления парка применяемых РЛС. Основу этого парка составляют наземные РЛС различных типов, среди которых по-прежнему важное место занимают двухкоординатные станции кругового и секторного обзора, используемые для создания дежурного радиолокационного поля и обеспечивающие получение разведывательной информации [1]. Особенность применения двухкоординатных РЛС обзора заключается в необходимости решения задачи дальнего обнаружения воздушных объектов как на средних, так и на больших высотах. Наблюдение двухкоординатные РЛС обзора ведут в полярных координатах (азимут и наклонная дальность), а сопровождение воздушных объектов целесообразно проводить в прямоугольной системе координат, что подтверждают многочисленные исследования отечественных и зарубежных авторов [2–6]. Однако известно, что при определенных значениях угла места (высоты) наблюдаемого объекта пересчет из полярной системы координат в прямоугольную может привести к существенным систематическим ошибкам, что, без принятия соответствующих мер, может снизить качество траекторной обработки [7, 8]. Решение данной проблемы возможно за счет косвенной оценки (восстановления) высоты, что, в свою очередь, требует привлечения сложных алгоритмов обработки и неизбежно приведет к повышению вычислительной сложности траекторной обработки. Использование данных алгоритмов целесообразно только в некоторых условиях наблюдения, которые в известной литературе не конкретизированы. Целями настоящей статьи являются: оценка влияния высоты цели на точность измерения ее местоположения в двухкоординатной РЛС обзора и конкретизация условий наблюдения, при которых необходимо ее восстановление.

### Постановка задачи

*Начальные условия.* Дана двухкоординатная РЛС обзора, с выхода устройства первичной обработки принятого сигнала которой формируется вектор наблюдаемых параметров  $\hat{\theta}_{k+1}$ , включающий оценки наклонной дальности  $\hat{r}_{k+1}$  и азимута  $\hat{\beta}_{k+1}$  цели на текущем  $(k+1)$ -м обзоре. Совокупность  $\hat{\theta}_{k+1}$  от каждой обнаруженной цели на текущем  $(k+1)$ -м обзоре передается на вход устройства траекторной обработки. В целях устранения эффекта «кажущихся ускорений» при сопровождении объектов в полярных координатах, значения  $\hat{\theta}_{k+1}$  предварительно пересчитываются в прямоугольную систему координат согласно [3, 4]:

$$\hat{\theta}_{xz(k+1)} = \left\| \begin{matrix} \hat{x}_{f(k+1)} \\ \hat{z}_{f(k+1)} \end{matrix} \right\| = \left\| \begin{matrix} \hat{r}_{k+1} \cos(\hat{\beta}_{k+1}) \\ \hat{r}_{k+1} \sin(\hat{\beta}_{k+1}) \end{matrix} \right\|, \quad (1)$$

где  $\hat{\theta}_{xz(k+1)}$  – оценка вектора наблюдения в прямоугольной системе координат;

$\hat{x}_{f(k+1)}, \hat{z}_{f(k+1)}$  – оценки прямоугольных координат наблюдаемого объекта ( $x$  – направление на север,  $z$  – на восток).

*Задачи:* оценить влияние высоты цели  $y$  на точность определения его местоположения при помощи двухкоординатной РЛС обзора согласно (1); конкретизировать условия наблюдения, при которых необходимо восстановление высоты цели.

### 1. Связь между координатами цели в плоскости наблюдения с ее координатами в прямоугольной системе координат

Высота цели  $y_{k+1}$  оказывает влияние на значение элементов вектора наблюдения  $\theta_{xz(k+1)}$ . Связь между координатами  $(x_{f(k+1)}, z_{f(k+1)})$  цели в плоскости наблюдения с ее координатами  $(x_{k+1}, y_{k+1}, z_{k+1})$  в прямоугольной системе координат продемонстрирована на рисунке 1.

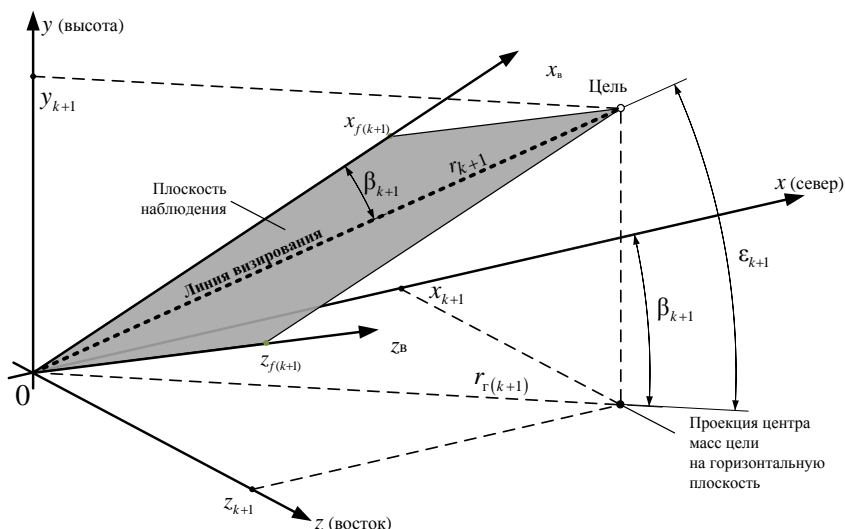


Рисунок 1. – Связь между координатами цели в плоскости наблюдения и ее координатами в прямоугольной системе

Центр прямоугольной системы координат  $x_0y_0z_0$  расположен в фазовом центре антенной системы РЛС. Плоскость наблюдения  $x_0y_0z_0$  включает линию визирования РЛС-цели, причем ось  $Ox_0$  лежит в плоскости  $x_0y_0$ , ось  $Oz_0$  лежит в плоскости  $x_0z_0$ . Прямоугольные координаты цели на  $(k+1)$ -м обзоре определяются через значения наклонной дальности  $r_{k+1}$ , азимута  $\beta_{k+1}$  и угла места цели  $\epsilon_{k+1}$  согласно

$$x_{k+1} = r_{k+1} \cos(\beta_{k+1}) \cos(\epsilon_{k+1}); y_{k+1} = r_{k+1} \sin(\epsilon_{k+1}); z_{k+1} = r_{k+1} \sin(\beta_{k+1}) \cos(\epsilon_{k+1}). \quad (2)$$

Координаты  $(x_{f(k+1)}, z_{f(k+1)})$  и  $(x_{k+1}, y_{k+1}, z_{k+1})$  с учетом (1), (2) связаны между собой выражениями:

$$\begin{aligned} x_{f(k+1)} &= x_{k+1} / \cos(\epsilon_{k+1}) = x_{k+1} r_{k+1} / r_{\Gamma(k+1)} = x_{k+1} \sqrt{x_{k+1}^2 + y_{k+1}^2 + z_{k+1}^2} / \sqrt{x_{k+1}^2 + z_{k+1}^2}; \\ z_{f(k+1)} &= z_{k+1} / \cos(\epsilon_{k+1}) = z_{k+1} r_{k+1} / r_{\Gamma(k+1)} = z_{k+1} \sqrt{x_{k+1}^2 + y_{k+1}^2 + z_{k+1}^2} / \sqrt{x_{k+1}^2 + z_{k+1}^2}. \end{aligned} \quad (3)$$

где  $r_{\Gamma(k+1)}$  – горизонтальная дальность до цели.

Для малых углов места  $\cos(\varepsilon_{k+1}) \approx 1$ , что позволяет выражения (3) привести к виду

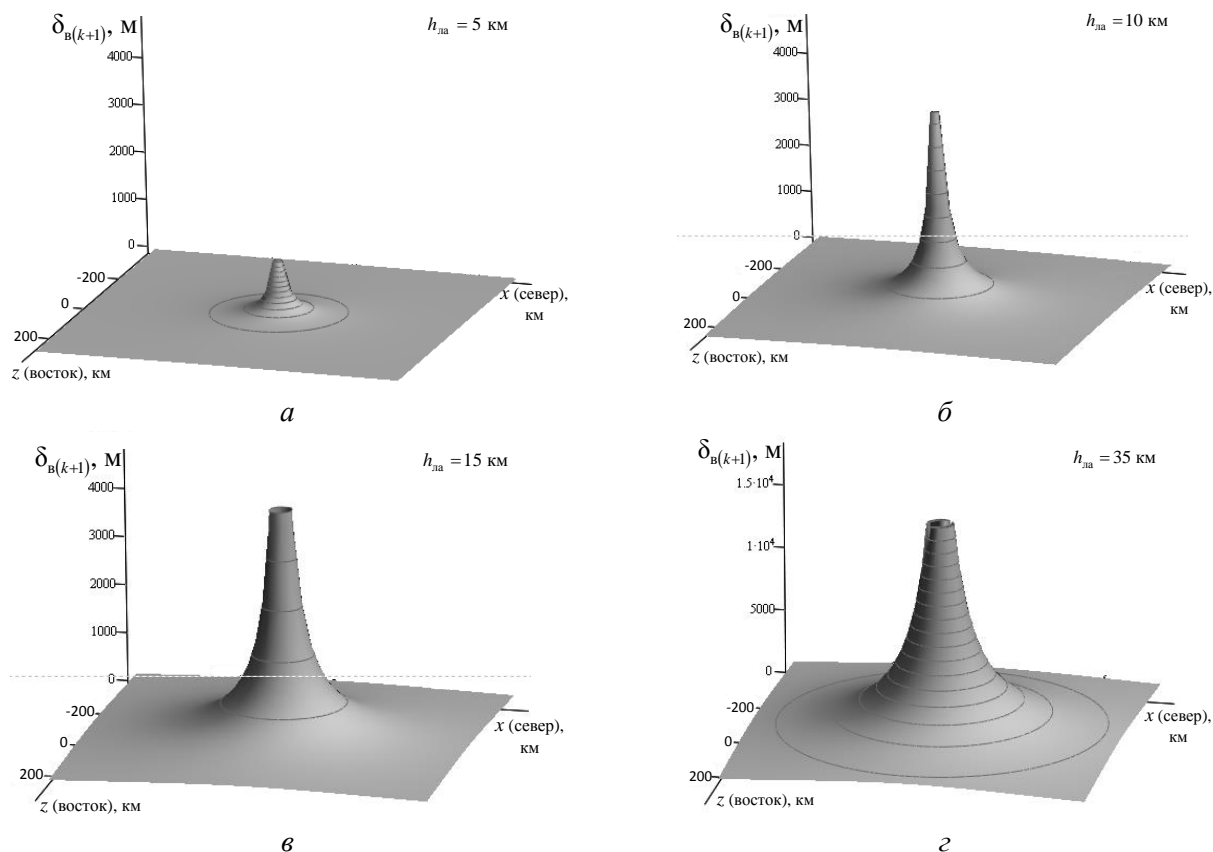
$$x_{f(k+1)} \approx x_{k+1}; z_{f(k+1)} \approx z_{k+1}. \quad (4)$$

## 2. Влияние высоты полета цели на значение суммарной ошибки измерения ее местоположения в двухкоординатной РЛС

Правильность допущений (4) можно оценить по ошибке определения местоположения цели в плоскости наблюдения относительно прямоугольной системы координат при известной высоте полета  $h_{\text{ла}}$ :

$$\delta_{\text{в}(k+1)} = \sqrt{(x_{f(k+1)} - x_{k+1})^2 + (z_{f(k+1)} - z_{k+1})^2}, \text{ при } y_{k+1} = h_{\text{ла}}. \quad (5)$$

На рисунке 2 представлены ошибки определения местоположения цели в плоскости наблюдения для фиксированных значений высоты  $h_{\text{ла}}$ . Из рисунка 2 видно, что по мере увеличения высоты полета цели  $h_{\text{ла}}$  ошибка определения местоположения растет. Ошибка определения местоположения (5) зависит от угла места цели  $\varepsilon_{k+1}$  и не зависит от азимута, что обуславливает симметричность ошибки наблюдения относительно точки стояния РЛС. При фиксированной высоте полета наблюдается общая закономерность – по мере уменьшения дальности до цели ошибка (5) растет, что обусловлено ростом угла места  $\varepsilon_{k+1}$  цели.



а – при  $h_{\text{ла}} = 5$  км; б – при  $h_{\text{ла}} = 10$  км; в – при  $h_{\text{ла}} = 15$  км; г – при  $h_{\text{ла}} = 35$  км

Рисунок 2. – Ошибка определения местоположения цели в плоскости наблюдения при фиксированном значении высоты

Так как векторы  $\begin{bmatrix} x_{f(k+1)} \\ z_{f(k+1)} \end{bmatrix}^T$  и  $\begin{bmatrix} x_{k+1} \\ z_{k+1} \end{bmatrix}^T$  лежат в одной плоскости, то ошибку определения местоположения (5) можно рассчитать в параметрическом виде:

$$\delta_{в(k+1)} = r_{k+1} - r_{г(k+1)} = \left| \sqrt{x_{k+1}^2 + y_{k+1}^2 + z_{k+1}^2} - \sqrt{x_{k+1}^2 + z_{k+1}^2} \right|, \text{ при } y_{k+1} = h_{ла}. \quad (6)$$

В качестве критерия допустимости условия (4) (малости  $\delta_{в(k+1)}$ ) целесообразно использовать ошибку определения местоположения в прямоугольной системе координат по разовой оценке с дальности  $r_{k+1}$ :

$$\delta_{PO} = r_{k+1} \sin(\sigma_{\beta}) = \sqrt{x_{f(k+1)}^2 + z_{f(k+1)}^2} \sin(\sigma_{\beta}), \quad (7)$$

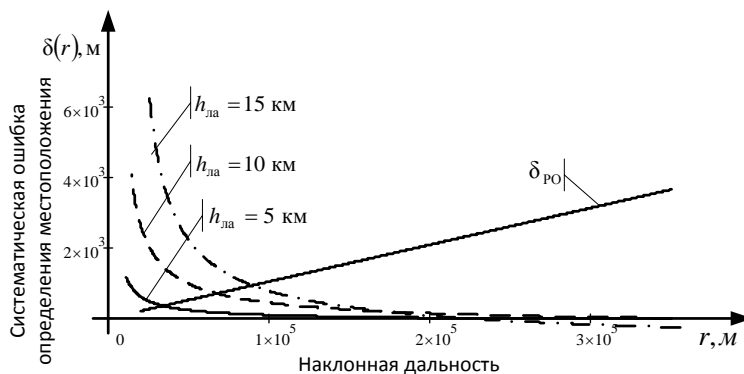
где  $\sigma_{\beta}$  – СКО разовой ошибки измерения азимута.

Величина  $\delta_{PO}$  определяет условия наблюдения, при которых можно пренебречь значением систематической ошибки определения местоположения (5). Таким образом, если для дальности  $r_{k+1}$  выполняется условие

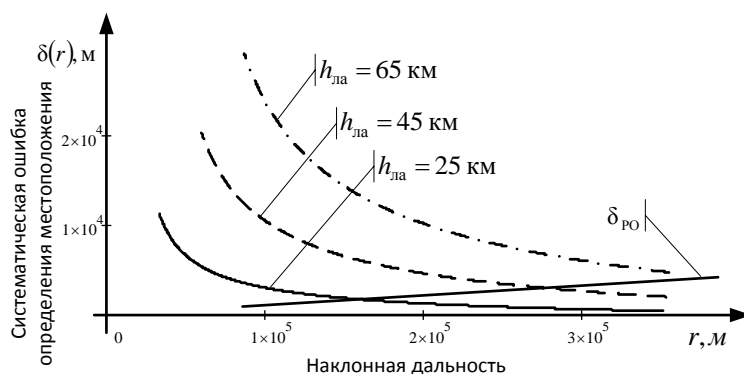
$$\delta_{PO} \geq \delta_{в(k+1)}, \quad (8)$$

то ошибка определения местоположения в плоскости наблюдения считается допустимой и допустимо равенство (4).

На рисунке 3 изображены зависимости систематической ошибки определения местоположения цели в плоскости наблюдения от дальности до нее при заданной высоте для аэродинамических и баллистических целей. Из рисунка 3, а видно, что практически для всех высот полета аэродинамических целей выполняется равенство (4). Для баллистических целей, наоборот, практически для всех дальностей условие (4) не выполняется, как показано на рисунке 3, б.



а

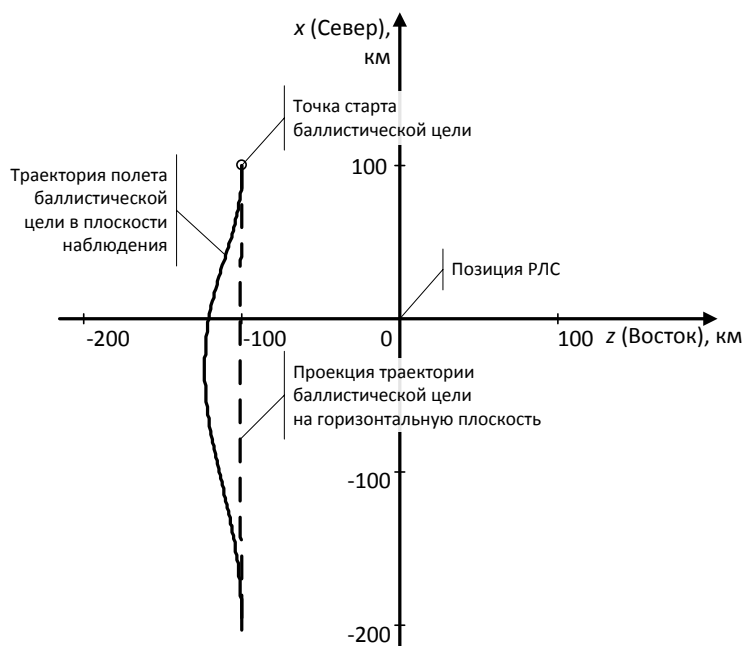
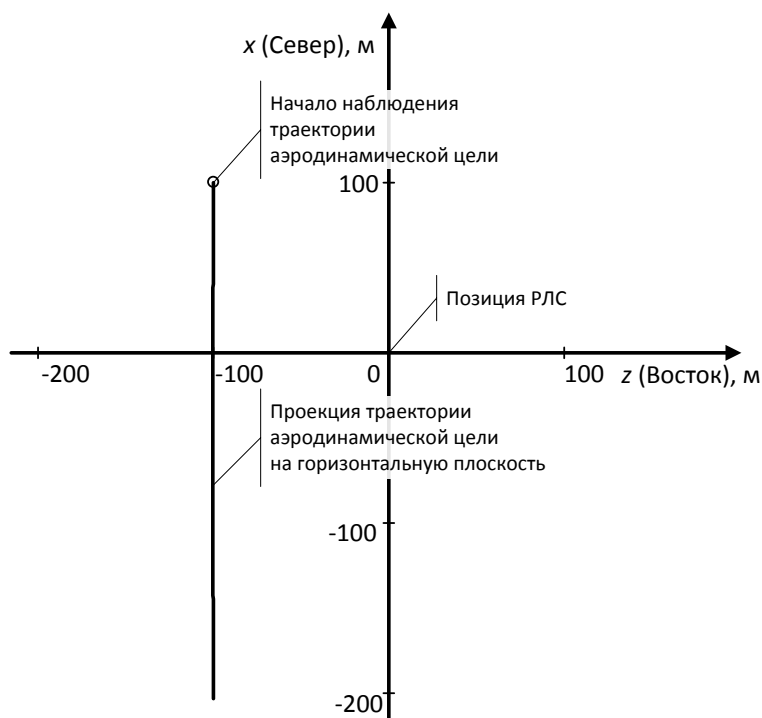


б

а – для аэродинамических целей; б – для баллистических целей

Рисунок 3. – Зависимость систематической ошибки определения местоположения цели от дальности до нее при заданной высоте

На рисунке 4, *a* представлен пример невыполнения условия (4). Наблюдается баллистическая цель с высотой конца активного участка полета, равной 18 км, начальной скоростью 1680 м/с и углом бросания 45 градусов. Максимальная высота полета составила 70 км. Из рисунка 4, *a* видно, что траектория полета в плоскости наблюдения баллистической цели существенно искажается и отличается от проекции ее на горизонтальную плоскость прямоугольной системы координат. Причем необходимо отметить, что степень полинома, описывающего регулярную часть модели движения баллистической цели в плоскости наблюдения, составляет 2, 3, 4 порядка в зависимости от условий наблюдения.

*a**б*

*a* – для баллистической цели; *б* – для истребителя

Рисунок 4. – Примеры траекторий полета и их проекций в плоскости наблюдения

Для аэродинамических целей условия (4) выполняются практически по всей зоне обзора РЛС, что проиллюстрировано на примере моделирования полета истребителя, высота полета которого постоянна и равна 10 000 м при скорости 500 м/с (см. рисунок 4, б). Из рисунка 4, б видно, что траектория полета истребителя в плоскости наблюдения и проекция траектории на горизонтальную плоскость прямоугольной системы координат совпадают по всей траектории.

### Заключение

Таким образом, в настоящей статье проведена оценка влияния высоты цели на точность измерения ее местоположения в двухкоординатной РЛС обзора. Выявлено, что при больших высотах целей наблюдается существенная ошибка в определении местоположения, что характерно в первую очередь для тактических баллистических ракет и воздушных объектов, находящихся в ближней зоне. Определены условия наблюдения, при которых необходимо восстановление высоты наблюдаемого воздушного объекта в целях обеспечения требуемой точности измерения его местоположения по данным двухкоординатной РЛС обзора. В качестве направления для дальнейшего исследования целесообразно рассмотреть способы восстановления высоты в целях устранения возникающих негативных явлений на качество траекторной обработки радиолокационной информации.

### Список использованных источников

1. Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория: справочник / под ред. Я. Д. Ширмана. – М. : Радиотехника, – 2007. – 510 с.
2. Bar-Shalom, Y. Estimation with Applications To Tracking and Navigation / Y. Bar-Shalom, X.-Rong Li, T. Kirubarajan. – New York, A Wiley-Interscience Publication, 2001. – 558 p.
3. Коновалов, А. А. Основы траекторной обработки радиолокационной информации. Ч. 1 / А. А. Коновалов. – СПб. : ЛЭТИ, 2013. – 164 с.
4. Хмарский, П. А. Влияние выбора моделей входного воздействия на точность измерений вектора состояния для фильтров Калмана / П. А. Хмарский, А. С. Солонар // Докл. БГУИР. – 2012. – № 7 (69). – С. 47–53.
5. Хмарский, П. А. Особенности работы алгоритма ансцентного фильтра Калмана при наблюдении объектов в полярных координатах / П. А. Хмарский, А. С. Солонар // Докл. БГУИР. – 2013. – № 2 (72). – С. 79–85.
6. Солонар, А. С. Оценка влияния условий наблюдения на точность измерения дискретных фильтров Калмана при наблюдении объектов в полярных координатах методом Монте-Карло / А. С. Солонар, П. А. Хмарский // Докл. БГУИР. – 2014. – № 7 (85). – С. 71–77.
7. Three Dimensional Tracking of an Aircraft Using 2D Radars / M. Mahendra [and other] // IEEE Transaction on A&ES. – 2018. – Vol. 54. – № 2. – P. 585–600.
8. Девятисильный, А. С. Идентификация воздушных объектов двухкоординатными измерителями / А. С. Девятисильный, В. М. Дорожко. В. М. Гриняк. Измерительная техника. – 2004. – № 11. – С. 19–21.

\*Сведения об авторах:

Солонар Андрей Сергеевич,  
Хмарский Петр Александрович,  
Михалковский Артем Александрович,  
УО «Военная академия Республики Беларусь»;  
Парахневич Алексей Викторович,  
ЗАО «БелХардГрупп».

Статья поступила в редакцию 02.05.2018 г.

## **ОЦЕНКА ВЫСОТЫ БАЛЛИСТИЧЕСКОЙ ЦЕЛИ ПО ДАННЫМ ДВУХКООРДИНАТНОЙ РЛС ОБЗОРА НЕЛИНЕЙНЫМ МЕТОДОМ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ**

А. С. Солонар, кандидат технических наук, доцент;  
П. А. Хмарский, кандидат технических наук;  
А. А. Михалковский; А. В. Парахневич\*

*Представлен разработанный способ оценки высоты баллистической цели по данным двухкоординатной РЛС обзора. Предлагаемый способ применим на детерминированных участках траектории баллистической цели и основан на нелинейном методе наименьших квадратов, использование которого позволило существенно снизить влияние систематической ошибки, возникающей по причине отсутствия учета высоты.*

*A developed method for measuring the height of a tactical ballistic missile based on data from a two-coordinate radar survey is presented. The proposed method is based on the determination of the trajectory of a tactical ballistic missile and the nonlinear least squares method, the application of which has made it possible to substantially reduce the effect of a systematic error that arises from the lack of height counting.*

### **Введение**

Одной из важнейших задач траекторной обработки является фильтрация и экстраполяция координат и параметров движения сопровождаемых объектов [1, 2]. При решении таких задач применительно к двухкоординатным РЛС обзора необходимо учитывать влияние систематических ошибок, возникающих вследствие отсутствия учета значений высоты цели. Как показано в [3], для некоторых условий наблюдения это может привести к существенному увеличению систематической ошибки измерения местоположения цели. Известен способ определения высоты цели при наблюдении двухкоординатной РЛС обзора, позволяющий косвенно устранить данную проблему [4]. Однако применение данного способа существенно ограничено: он может использоваться только для аэродинамических объектов, движущихся прямолинейно с постоянной скоростью. Помимо этого существует ряд работ, рассматривающих способ определения высоты объекта по измерениям его наклонной дальности и азимута несколькими двухкоординатными РЛС путем решения геометрической задачи [4, 5, 6, 7]. При решении задачи таким способом существенное влияние на качество оценки высоты оказывает геометрический фактор, а использование нескольких РЛС не всегда возможно и целесообразно. Стоит отметить, что решение задачи восстановления высоты при наблюдении баллистических объектов двухкоординатной РЛС обзора в известной литературе не рассмотрено. Несмотря на это, в тактико-технических характеристиках многих современных РЛС обзора дежурного режима («Небо-СВУ», «Восток-Д», П-18Т/TRS-2D, П-18БМА и др.) заявлено о возможности обнаружения и измерения координат баллистических целей. В случае сопровождения баллистических целей систематические ошибки, вызванные отсутствием информации о высоте, приведут к большим ошибкам измерения местоположения по причине соизмеримости высот их полета и наклонной дальности до РЛС [1]. Вместе с тем для баллистических целей характерен ряд особенностей, которые создают предпосылки для эффективного восстановления значения ее высоты:

высокие скорости полета, существенно превышающие скорости движения других объектов радиолокационного наблюдения, что позволяет на первых шагах с высокой степенью достоверности отнести наблюдаемый объект к классу «баллистическая цель» [9];

значительную часть траектории полета составляет баллистическая фаза – неуправляемый, свободный полет по инерции без существенных искажений траектории [8].

Таким образом, целью настоящей статьи является разработка способа оценки высоты баллистической цели по данным двухкоординатной РЛС обзора с учетом перечисленных выше особенностей.

### Постановка задачи

Двухкоординатной РЛС обзора наблюдается баллистическая цель, в вектор наблюдения которой  $\hat{\theta}_{xz(k+1)}$  входят разовые оценки прямоугольных координат  $\hat{x}_{f(k+1)}, \hat{z}_{f(k+1)}$  в плоскости наблюдения на текущем  $(k+1)$ -м обзоре. Оценки координат баллистической цели в прямоугольной системе координат  $\hat{\theta}_{k+1} = \|\hat{x}_{k+1} \quad \hat{z}_{k+1}\|^T$  не известны по причине отсутствия оценки угла места (или высоты). Интервал обновления считается фиксированным и равным  $\Delta t$ . Принято, что задача отождествления сопровождаемой траектории баллистической цели с разовыми оценками решена, цель наблюдается и обнаруживается на каждом обзоре. Наблюдаемой цели установлен признак «баллистическая цель». *Задача:* разработать способ оценки координат  $\hat{x}_{k+1}, \hat{z}_{k+1}$  баллистической цели по данным измерениям двухкоординатной РЛС обзора  $\hat{x}_{f(k+1)}, \hat{z}_{f(k+1)}$  по критерию минимума суммы квадратов невязок  $\hat{\theta}_{k+1} - \hat{\theta}_{xz(k+1)}$ .

### Особенности применения нелинейного метода наименьших квадратов в задаче определения высоты баллистической цели по данным двухкоординатной РЛС обзора

Решение задачи оценки (восстановления) высоты баллистической цели по данным двухкоординатной РЛС обзора относится к классу задач дискретной косвенной фильтрации. Известны два основных способа решения указанной задачи: рекуррентные алгоритмы калмановского типа и модификации метода наименьших квадратов (методы по конечной выборке). Рекуррентные алгоритмы калмановского типа характеризуются меньшей вычислительной сложностью, но чувствительны к начальным значениям параметров и требуют априорных сведений о характеристиках задающего воздействия. Метод наименьших квадратов позволяет обойти указанные недостатки алгоритмов калмановского типа, однако для них характерна большая вычислительная сложность. Таким образом, при наблюдении баллистических целей, для которых существенны систематические ошибки и отсутствуют априорные сведения, оценку высоты полета целей целесообразно проводить при помощи одной из модификаций метода наименьших квадратов (МНК) [11]. Оценка высоты в случае применения МНК производится для каждой траектории баллистической цели отдельно, по совокупности разовых оценок их прямоугольных координат в плоскости наблюдения с первого по  $(k+1)$ -й обзор:

$$\hat{\theta}_{k+1} = \|\hat{\theta}_{xz(1)} \quad \hat{\theta}_{xz(2)} \quad \dots \quad \hat{\theta}_{xz(k+1)}\|^T = \left\{ \hat{\theta}_{xz(i)} \right\}_{i=1}^{k+1}, \quad (1)$$

где  $\hat{\theta}_{xz(i)} = \|\hat{x}_{f(i)} \quad \hat{z}_{f(i)}\|^T$  – вектор наблюдения разовых оценок прямоугольных координат в плоскости наблюдения на  $i$ -м обзоре.

В результате работы МНК на  $(k+1)$ -м обзоре должна быть получена оценка вектора состояния баллистической цели  $\hat{\mathbf{a}}_{(k+1)}^{\text{МНК}}$ . В состав  $\hat{\mathbf{a}}_{(k+1)}^{\text{МНК}}$  должны быть включены оценки параметров алгебраических полиномов, при помощи которых можно достоверно описать движение баллистической цели в прямоугольной системе координат.

Проекция траектории полета баллистической цели на горизонтальную плоскость прямоугольной системы координат близка к прямой линии, как показано на рисунке 1. Проекция вектора скорости полета баллистической цели на горизонтальную плоскость практически не меняется на протяжении всего полета, за исключением активного участка.



Поэтому законы изменения координат баллистической цели в горизонтальной плоскости  $x(t_i)$  и  $z(t_i)$  можно описать полиномами первого порядка.

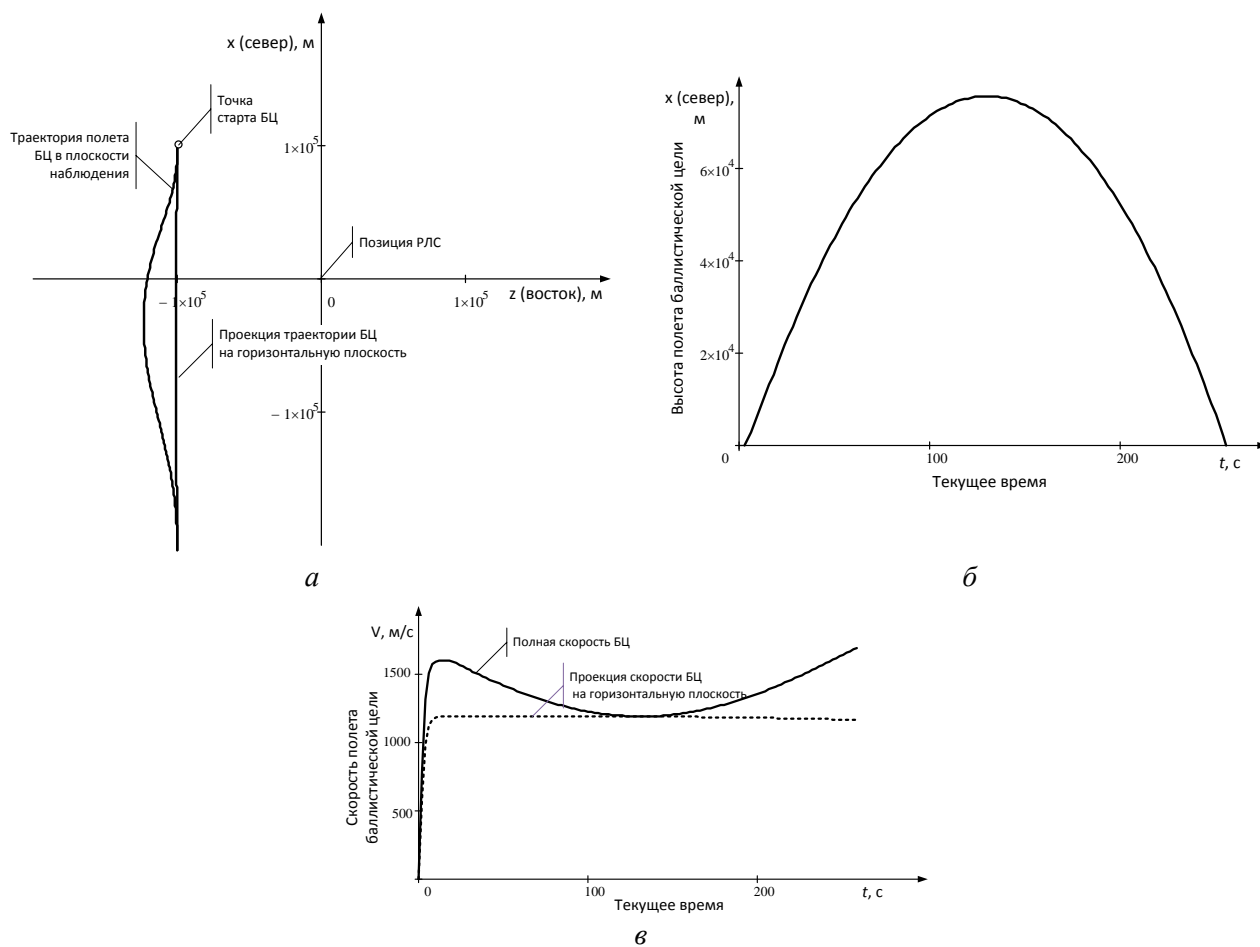


Рисунок 1. – Траектория полета (а), закон изменения высоты (б) и скорости (в) баллистической цели и параметры ее движения

Закон изменения траектории баллистической цели в вертикальной плоскости  $y(t_i)$  хорошо описывается полиномом второго порядка. По результатам математического моделирования выяснилось, что увеличение порядка полинома  $y(t_i)$  не позволяет получить существенного выигрыша в точности оценки  $\hat{\mathbf{a}}_{(k+1)}^{\text{НМНК}}$ , но может привести к появлению аномальных оценок. Приведенные закономерности позволяют описать движение баллистической цели в горизонтальной плоскости в виде полиномов первого и второго порядка:

$$x(t_i) = x_0 + V_x t_i; \quad y(t_i) = y_0 + V_y t_i + a_y t_i^2 / 2; \quad z(t_i) = z_0 + V_z t_i, \quad (2)$$

где  $x_0, y_0, z_0$  – начальные координаты наблюдения БЦ в прямоугольной системе координат;

$V_x, V_y, V_z$  – скорости изменения прямоугольных координат  $x, y, z$  соответственно;

$a_y$  – составляющая ускорения в вертикальной плоскости.

С учетом (2) в оцениваемый вектор состояния  $\hat{\mathbf{a}}_{(k+1)}^{\text{НМНК}}$  должны входить элементы:

$$\hat{\mathbf{a}}_{(k+1)}^{\text{НМНК}} = \left\| x_0 \quad V_x \quad y_0 \quad V_y \quad a_y \quad z_0 \quad V_z \right\|^T. \quad (3)$$

Векторная функция рассогласования  $\mathbf{f}_{k+1}$  МНК определяет отклонение разовых оценок в плоскости наблюдения от пересчитанной оценки вектора состояния  $\hat{\mathbf{a}}_{(k+1)}^{\text{НМНК}}$  МНК из прямоугольной системы координат на моменты времени  $t_i$  ( $i = \overline{1, k+1}$ ):

$$\mathbf{f}_{k+1} = \|f_1(t_1) \ f_2(t_1) \ f_1(t_2) \ f_2(t_2) \ \dots \ f_1(t_{k+1}) \ f_2(t_{k+1})\|^T, \quad (4)$$

где  $f_1(t_i)$  – функция отклонения  $\hat{x}_{f(i)}$  от пересчитанной оценки  $\hat{\mathbf{a}}_{(k+1)}^{\text{НМНК}}$  из прямоугольной системы координат на момент времени  $t_i$ :

$$\begin{aligned} f_1(t_i) &= x_{f(i)} - (x_0 + V_x t_i) \frac{1}{\cos(\varepsilon_i)} = \\ &= x_{f(i)} - (x_0 + V_x t_i) \frac{\sqrt{(x_0 + V_x t_i)^2 + (y_0 + V_y t_i + a_y t_i^2 / 2)^2 + (z_0 + V_z t_i)^2}}{\sqrt{(x_0 + V_x t_i)^2 + (z_0 + V_z t_i)^2}}, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $f_2(t_i)$  – функция отклонения  $\hat{z}_{f(i)}$  от пересчитанной оценки  $\hat{\mathbf{a}}_{(k+1)}^{\text{НМНК}}$  из прямоугольной системы координат на момент времени  $t_i$ :

$$\begin{aligned} f_2(t_i) &= z_{f(i)} - (z_0 + V_z t_i) \frac{1}{\cos(\varepsilon_i)} = \\ &= z_{f(i)} - (z_0 + V_z t_i) \frac{\sqrt{(x_0 + V_x t_i)^2 + (y_0 + V_y t_i + a_y t_i^2 / 2)^2 + (z_0 + V_z t_i)^2}}{\sqrt{(x_0 + V_x t_i)^2 + (z_0 + V_z t_i)^2}}. \end{aligned} \quad (6)$$

В качестве целевой функции МНК, которую необходимо минимизировать, используется сумма квадратов отклонений:

$$F(\hat{\mathbf{a}}_{k+1}^{\text{НМНК}}) = \sum_{i=1}^{k+1} (f_1(t_i)^2 + f_2(t_i)^2) = \mathbf{f}^T \mathbf{f}. \quad (7)$$

Для получения оценки высоты требуется решить систему нелинейных уравнений вида (4), что обуславливает применение для данной задачи нелинейного метода наименьших квадратов (НМНК). Применение НМНК возможно лишь для тех случаев, когда число неизвестных меньше или равно числу уравнений в (4). Следовательно, для двухкоординатной РЛС оценка высоты возможна только с 4-го контакта с целью. Для реализации НМНК удобно использовать алгоритм Гаусса – Ньютона, который является модификацией метода Ньютона для нахождения минимума целевой функции [0]. Главное достоинство метода Гаусса – Ньютона – не требует вычисления частных производных второго порядка от  $F(\hat{\mathbf{a}}_{(k+1)}^{\text{НМНК}})$ . Алгоритм Гаусса – Ньютона обеспечивает итеративную минимизацию заданного квадратичного критерия, для его реализации необходимо вычислить матрицу Якоби вида:

$$\mathbf{J}_{k+1} = \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1(t_1)}{\partial x_0} & \frac{\partial f_1(t_1)}{\partial V_x} & \frac{\partial f_1(t_1)}{\partial y_0} & \frac{\partial f_1(t_1)}{\partial V_y} & \frac{\partial f_1(t_1)}{\partial a_y} & \frac{\partial f_1(t_1)}{\partial z_0} & \frac{\partial f_1(t_1)}{\partial V_z} \\ \frac{\partial f_2(t_1)}{\partial x_0} & \frac{\partial f_2(t_1)}{\partial V_x} & \frac{\partial f_2(t_1)}{\partial y_0} & \frac{\partial f_2(t_1)}{\partial V_y} & \frac{\partial f_2(t_1)}{\partial a_y} & \frac{\partial f_2(t_1)}{\partial z_0} & \frac{\partial f_2(t_1)}{\partial V_z} \\ \frac{\partial f_1(t_2)}{\partial x_0} & \frac{\partial f_1(t_2)}{\partial V_x} & \frac{\partial f_1(t_2)}{\partial y_0} & \frac{\partial f_1(t_2)}{\partial V_y} & \frac{\partial f_1(t_2)}{\partial a_y} & \frac{\partial f_1(t_2)}{\partial z_0} & \frac{\partial f_1(t_2)}{\partial V_z} \\ \frac{\partial f_2(t_2)}{\partial x_0} & \frac{\partial f_2(t_2)}{\partial V_x} & \frac{\partial f_2(t_2)}{\partial y_0} & \frac{\partial f_2(t_2)}{\partial V_y} & \frac{\partial f_2(t_2)}{\partial a_y} & \frac{\partial f_2(t_2)}{\partial z_0} & \frac{\partial f_2(t_2)}{\partial V_z} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial f_1(t_{k+1})}{\partial x_0} & \frac{\partial f_1(t_{k+1})}{\partial V_x} & \frac{\partial f_1(t_{k+1})}{\partial y_0} & \frac{\partial f_1(t_{k+1})}{\partial V_y} & \frac{\partial f_1(t_{k+1})}{\partial a_y} & \frac{\partial f_1(t_{k+1})}{\partial z_0} & \frac{\partial f_1(t_{k+1})}{\partial V_z} \\ \frac{\partial f_2(t_{k+1})}{\partial x_0} & \frac{\partial f_2(t_{k+1})}{\partial V_x} & \frac{\partial f_2(t_{k+1})}{\partial y_0} & \frac{\partial f_2(t_{k+1})}{\partial V_y} & \frac{\partial f_2(t_{k+1})}{\partial a_y} & \frac{\partial f_2(t_{k+1})}{\partial z_0} & \frac{\partial f_2(t_{k+1})}{\partial V_z} \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Для работы НМНК при решении требуемой задачи с использованием алгоритма Гаусса – Ньютона необходимо:

1. Проинициализировать исходные данные –  $\hat{\mathbf{a}}_0^{\text{НМНК}}$ ,  $\hat{e}_f$  – требуемая точность НМНК (обычно устанавливается равной  $\hat{e}_f = 10^{-5}$ ).
2. Сформировать совокупность разовых оценок  $\hat{\Theta}_k$  размерностью  $k = 4$ .
3. Вычислить  $\mathbf{f}_{k+1}$  согласно (4) – (6),  $F(\hat{\mathbf{a}}_{(k+1)}^{\text{НМНК}})$  согласно (7),  $\mathbf{J}_{k+1}$  согласно (8).
4. Вычислить смещение оценки вектора состояния согласно

$$\Delta \mathbf{a}_{k+1} = (\mathbf{J}_{k+1}^T \mathbf{J}_{k+1})^{-1} \mathbf{J}_{k+1}^T \mathbf{f}_{k+1}. \quad (9)$$

5. Уточнить оценку вектора состояния:

$$\hat{\mathbf{a}}_{(k+1)}^{\text{НМНК}} = \hat{\mathbf{a}}_{(k+1)}^{\text{НМНК}} + 0,01 \cdot \Delta \mathbf{a}_{k+1}. \quad (10)$$

6. Повторять пункты 3–5 до тех пор, пока величина уменьшения  $\Delta e_j$  целевой функции  $F(\hat{\mathbf{a}}_{(k+1)}^{\text{НМНК}})$  от  $(j-1)$ -й итерации к  $j$ -й итерации НМНК не станет меньше требуемой точности НМНК  $\hat{e}_f$ :

$$\Delta e_j = F(\hat{\mathbf{a}}_{(k+1)}^{\text{НМНК}})_{j-1} - F(\hat{\mathbf{a}}_{(k+1)}^{\text{НМНК}})_j \leq \hat{e}_f, \quad (11)$$

где  $F(\hat{\mathbf{a}}_{(k+1)}^{\text{НМНК}})_j$  – значение целевой функции  $F(\hat{\mathbf{a}}_{(k+1)}^{\text{НМНК}})$  на  $j$ -й итерации НМНК.

В целях проверки работоспособности разработанного алгоритма было проведено математическое моделирование.

### Результаты математического моделирования

Оценка эффективности предлагаемого алгоритма проводилась при помощи комплекса математического моделирования, позволяющего сформировать входное воздействие в виде суммы задающего и возмущающего воздействия [6]. Задающее воздействие представлено детерминированной полиномиальной моделью траектории баллистической цели и моделью случайного ускорения в виде некоррелированного гауссовского шума с нулевым математическим ожиданием и СКО случайного дискретного маневра, равным  $0,001 \text{ м/с}^2$ . Возмущающее воздействие соответствовало ошибкам первичных измерений в двухкоординатном радиолокаторе секторного обзора с периодом обзора 2 секунды.

На рисунке 2, *a* представлена траектория полета БЦ, разовые оценки ее прямоугольных координат за 80 обзоров и результат фильтрации при помощи НМНК по разовым оценкам 80 обзоров. Из рисунка 2 следует, что при помощи НМНК возможно достаточно точно восстановить траекторию полета БЦ и закон изменения ее высоты полета.

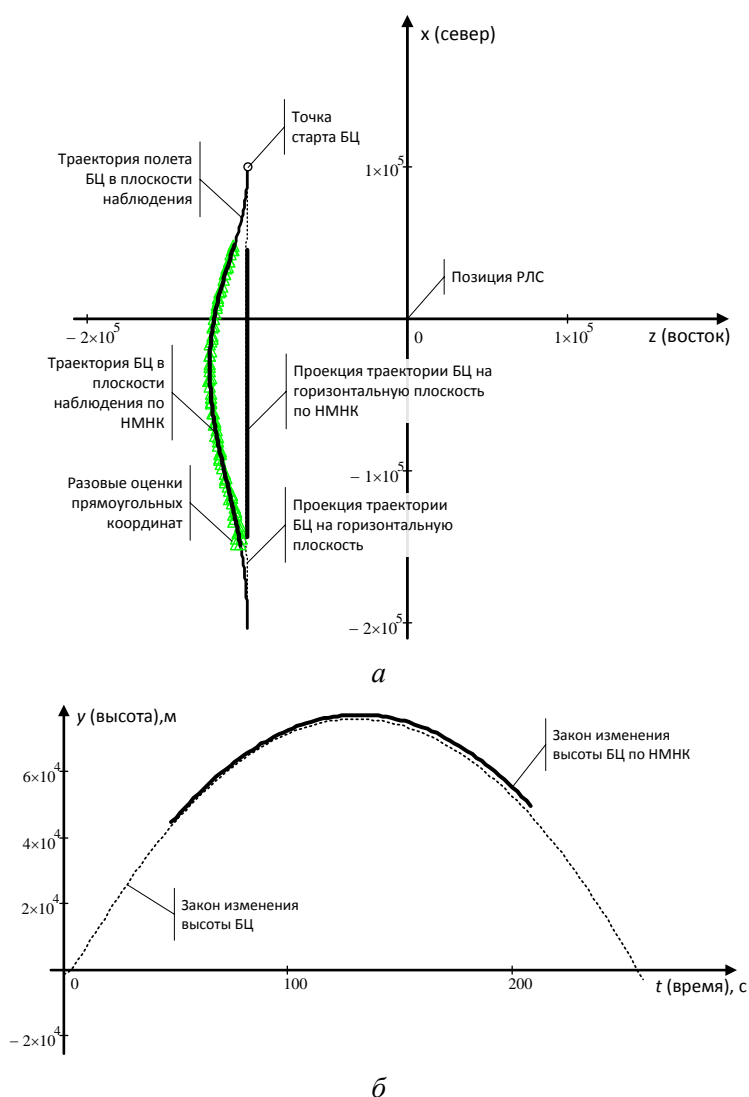


Рисунок 2. – Результаты фильтрации координат баллистической цели при помощи НМНК (*a*) и восстановленный закон изменения ее высоты БЦ (*б*) за 80 обзоров

На рисунке 3 представлена зависимость значения целевой функции от шага итерации НМНК. Целевая функция быстро убывает, и к 380-му шагу итерации НМНК была найдена оценка вектора состояния  $\hat{\mathbf{a}}_{(k+1)}^{\text{НМНК}}$ , удовлетворяющая требуемую точность  $\hat{e}_f$ .

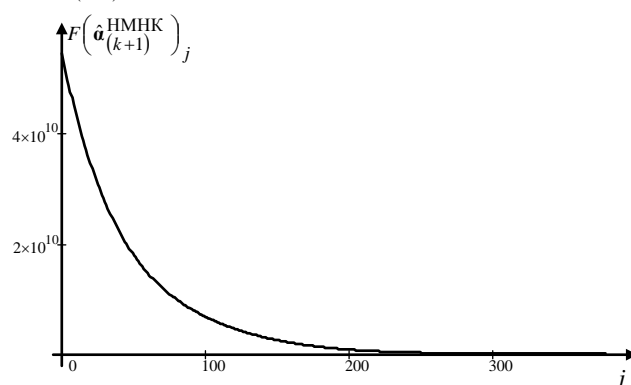


Рисунок 3. – Зависимость значения целевой функции от шага итерации НМНК

На рисунке 4, *а* представлена траектория полета БЦ, оцениваемая в процессе наблюдения по  $\hat{\Theta}_{k+1}$ , размер которого увеличивается от 4 оценок и до конца наблюдения (80 оценок). Для небольшого числа разовых оценок в векторе  $\hat{\Theta}_{k+1}$  (до 14) наблюдаются значительные переходные процессы, которые устанавливаются к длине вектора  $\hat{\Theta}_{k+1}$ , равной 20–35 оценок.

Переходные процессы проявляются в оценке высоты полета БЦ, как показано на рисунке 4, *б*. Таким образом, при помощи НМНК возможно качественно и количественно восстановить закон изменения высоты полета БЦ, при этом на результат влияет число наблюдений (обзоров), учитываемых при НМНК.

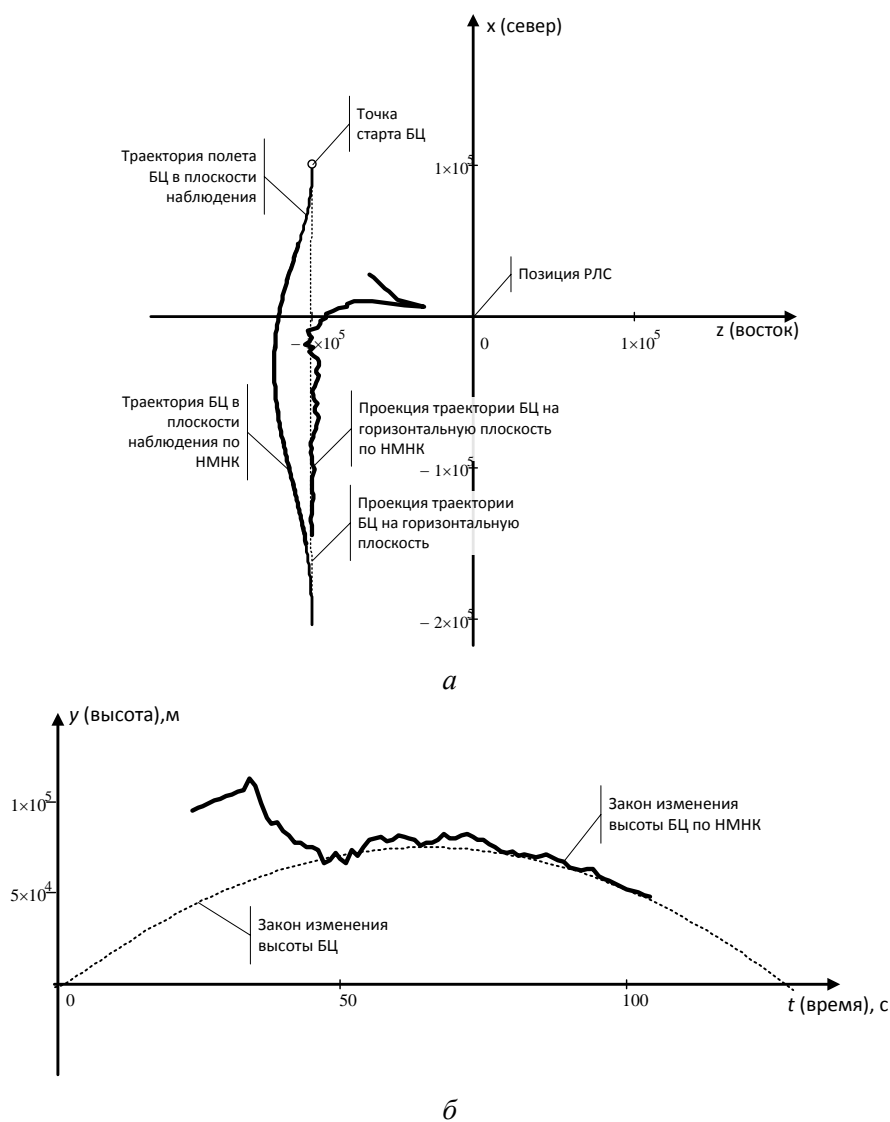


Рисунок 4. – Результаты фильтрации координат баллистической цели при помощи НМНК (*а*) и восстановленный закон изменения ее высоты БЦ (*б*) с 4-го обзора до конца наблюдения (80 обзоров)

### Заключение

Таким образом, в настоящей статье предложена реализация алгоритма работы НМНК, позволяющего количественно оценить высоту полета баллистической цели. На величину ошибки фильтрации НМНК и длительность переходных процессов оказывают сильное влияние ошибки наблюдения в прямоугольной системе координат. В случае уменьшения ошибок наблюдения точность оценки высоты возрастет. Также на точность оценивания высоты влияет число шагов, учитываемых в НМНК. Чем больше их учитывается,

тем точнее оценивается высота. Из этого следует, что имеет смысл использовать НМНК как в процессе наблюдения баллистической цели, так и при посттраекторной обработке.

#### Список использованных источников

1. Bar-Shalom, Y. Estimation with Applications To Tracking and Navigation / Y. Bar-Shalom, X.-Rong Li, T. Kirubarajan. – New York : A Wiley-Interscience Publication, 2001. – 558 p.
2. Коновалов, А. А. Основы траекторной обработки радиолокационной информации. Ч. 1 / А. А. Коновалов. – СПб. : ЛЭТИ, 2013. – 164 с.
3. Солонар, А. С. Влияние высоты цели на точность измерения ее местоположения в двухкоординатной РЛС обзора / А. С. Солонар, П. А. Хмарский, А. А. Михалковский // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2018. – № 59. – С. 40–45.
4. Способ определения высоты цели двухкоординатной РЛС : пат. № RU2624467 / К. К. Васильев, В. А. Маклаев, Э. Д. Павлыгин, А. С. Гуторов. – Оpubл. 10.10.2016.
5. Способ измерения пространственных координат цели в многопозиционной системе двухкоординатных РЛС : пат. RU 2581706 / К. К. Васильев, В. А. Маклаев, Э. Д. Павлыгин, А. С. Гуторов. – Оpubл. 31.12.2014.
6. Berle, F. J. Multy radar tracking and multy sensor tracking in air defense systems / F. J. Berle // Electronic Technologies. – 1984. – V.28. – № 4.
7. Dreidimensional arbeitendes Radarsystem: pat. DE 4123898 A1 / P. Hudel. – Publ. date 18.07.1991.
8. Солонар, А. С. Особенности применения некоторых методов дискретной фильтрации для задач сопровождения баллистических объектов, совершающих спиральный маневр / А. С. Солонар, П. А. Хмарский // Докл. БГУИР. – 2015. – № 1 (87). – С. 71–77.
9. Blackman, S. Design and analysis of modern tracking systems / S.Blackman, R.Popoli. – Boston, London : Artech House, 1999. – 1230 p.
10. Солонар, А. С. Оценка влияния условий наблюдения на точность измерения дискретных фильтров Калмана при наблюдении объектов в полярных координатах методом Монте-Карло / А. С. Солонар, П. А. Хмарский // Докл. БГУИР. – 2014. – № 7 (85). – С. 71–77.
11. Madsen K., Methods for Non-Linear Least Squares Problems. 2nd Edition / K. Madsen, H. B. Nielsen, O. Tingleff. – Informatics and Mathematical Modelling Technical University of Denmark, 2004. – 58 p.

---

\*Сведения об авторах:

Солонар Андрей Сергеевич,  
 Хмарский Петр Александрович,  
 Михалковский Артём Александрович,  
 УО «Военная академия Республики Беларусь»;  
 Парахневич Алексей Викторович,  
 ЗАО «БелХард Групп».  
 Статья поступила в редакцию 02.05.2018 г.

## РАЗРАБОТКА, МОДЕРНИЗАЦИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

УДК 629.7

### МЕТОДИКА РАСПОЗНАВАНИЯ НАРУШЕНИЙ НОРМАЛЬНОЙ РАБОТЫ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПО ЕГО ПАРАМЕТРАМ И ПАРАМЕТРАМ НЕСУЩЕГО ВИНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА

А. А. Санько, кандидат технических наук, доцент;

А. А. Шейников, кандидат технических наук;

С. Н. Романёнок\*

*В статье представлены результаты статистического анализа изменения параметров авиационного двигателя и несущего винта вертолета типа Ми-8Т при установке одной лопатки направляющего аппарата на нерасчетный угол вследствие поломки. Разработаны регрессионные модели взаимного влияния параметров авиационного двигателя, а также влияния параметров авиационного двигателя на параметры несущего винта. Предложена методика распознавания нарушений нормальной работы авиационного двигателя с использованием регрессионного анализа.*

*The results of statistical analysis of Mi-8T gas-turbine engine and main rotor parameters changes when one guide vane breakdown, are presents. Adequate regression models of the mutual influence gas-turbine engine and main rotor parameters are obtained. A technique for recognizing gas-turbine engine malfunction, which using regression analysis, is proposed.*

#### Введение

Повышение безопасности эксплуатации авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) вертолетов в условиях нарушений их нормальной работы (потеря газодинамической устойчивости, пожар и т. д.) остается актуальной задачей. Важная роль при ее решении отводится системам противопомпажной защиты (СПЗ) и системам сигнализации о пожаре (ССП). Определяемое этими системами нарушение нормальной работы ГТД может быть вызвано не только внешними, но и внутренними возмущениями, например эрозионным износом компрессора (что наиболее характерно для вертолетных ГТД), отказами двигательной автоматики, поломками элементов газовоздушного тракта и т. д. [1].

На эксплуатируемых вертолетах типа Ми-8Т и их модификациях СПЗ не устанавливается, что не позволяет определить наличие помпажа или вращающегося срыва в компрессоре ГТД, а отказы используемой ССП часто приводят к ее ложным срабатываниям (таблица 1) [2].

Таблица 1. – Отказы ССП, вызвавшие авиационные инциденты

Отказы ССП	Годы									Общее количество
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Ми-8	1	3	2	3	1	4	2	1	1	18
Ми-24	2	2	2	2	1	2	3	2	1	17
<i>Итого</i>	3	5	4	5	2	6	5	3	2	35

Приведенные в таблице 1 результаты анализа безотказности ССП можно объяснить:

отсутствием датчиков помпажа и вибрации ГТД;

старением элементной базы;

использованием для принятия решения только одного диагностического параметра (величины напряжения термоэлектрических датчиков пожара ССП), что в некоторых случаях является недостаточным и требует подтверждения за счет дополнительной косвенной информации [2].

Таким образом, на вертолетах типа Ми-8Т отсутствует эффективная система автоматического распознавания нарушений нормальной работы ГТД. Результаты проведенных теоретических исследований подтверждаются практикой. Так, анализ реальных записей бортовых устройств регистрации (БУР) полета вертолета Ми-8Т (г. п. Мачулищи, 25.03.2014 г.) показал, что выпадение штифта лопатки (рисунок 1, 2) направляющего аппарата правого ГТД привело к развороту лопатки на нерасчетные углы и к резкому росту температуры ГТД до критических значений (рисунок 3), при этом ССП пожар не зафиксировала. Помпаж ГТД также не был зафиксирован, так как датчики помпажа на данном типе ГТД (ТВ2-117) не устанавливаются, параметры вибрации ГТД не контролируются, аппаратура вибродиагностики (например, ИВ-500Е) не устанавливается. Летчик принял решение на выключение правого ГТД на основе своего профессионального опыта путем анализа (в течение 6–8 сек) данных о параметрах ГТД и несущего винта (НВ).

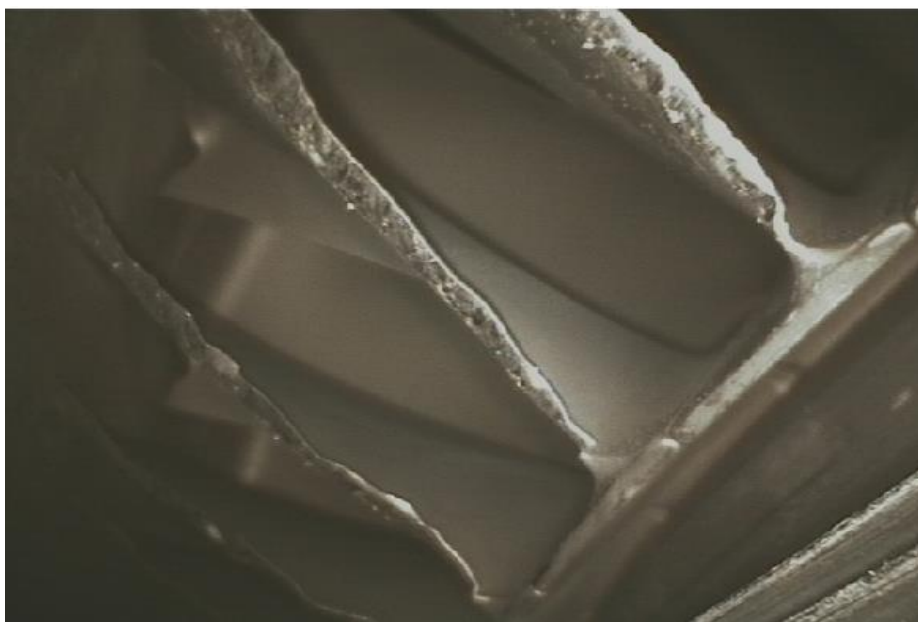
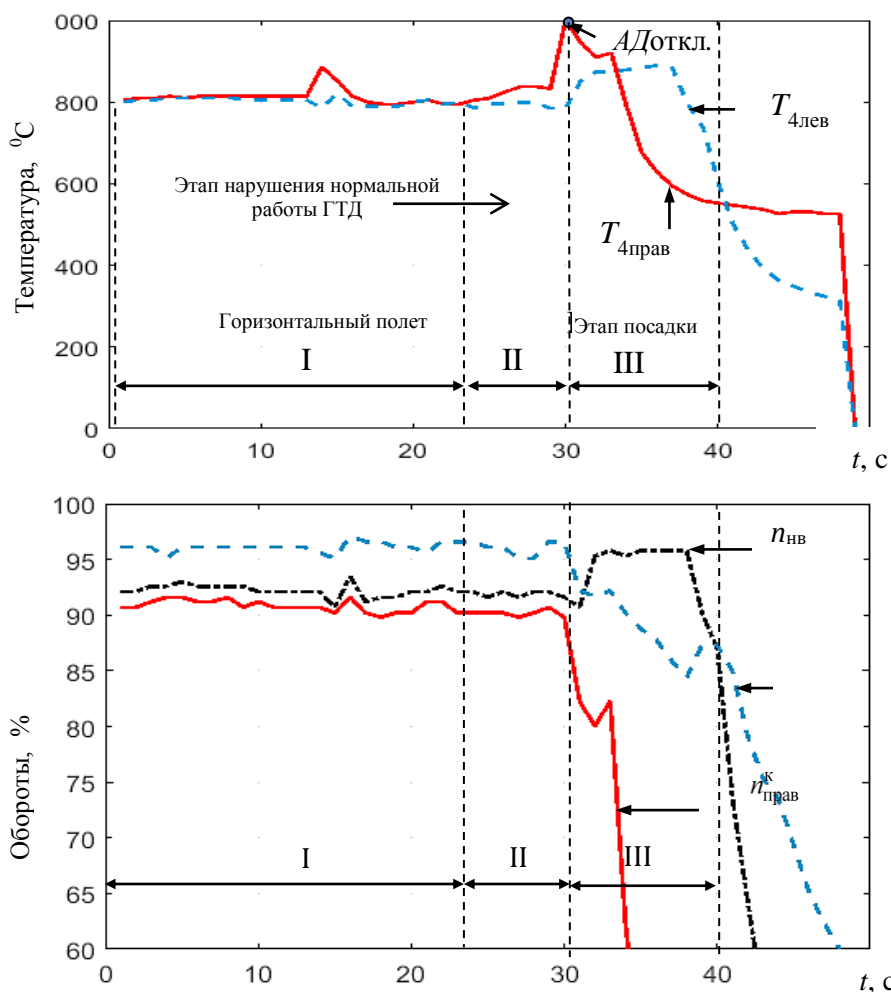


Рисунок 1. – Слом лопаток 7-й ступени компрессора ГТД вследствие выпадения штифта



Рисунок 2. – Крепление штифта лопатки направляющего аппарата ГТД





$n_{\text{нв}}$  – обороты несущего винта;  $n_{\text{лев}}^{\text{к}}$ ,  $n_{\text{прав}}^{\text{к}}$  – обороты турбокомпрессора правого и левого ГТД;  
 $T_{4\text{лев}}$ ,  $T_{4\text{прав}}$  – температура газов за турбокомпрессором правого и левого ГТД

Рисунок 3. – Временная диаграмма параметров ГТД и НВ вертолета

Перспективным направлением развития методик распознавания нарушений нормальной работы ГТД, является разработка алгоритмов, построенных на анализе его параметров, регистрируемых БУР [1, 3, 4].

### Основная часть

Известно, что время запаздывания вмешательства летчика с классностью не ниже 1-го в управление вертолета при «пассивных» отказах авиационной техники (отказах не вызывающих непосредственно изменение сил и моментов, действующих на вертолет) при оптимальных условиях не превышает 5 с. При профессионализме пилота ниже 1-го класса время его реакции растет по экспоненте, что в совокупности с действием других факторов может привести к серьезным авиационным инцидентам [5].

Проведенные исследования показали, что между параметрами ГТД, НВ и управляющими воздействиями существует корреляционная связь. Так, коэффициент корреляции  $r_{n^{\text{к}}}^{T_4}$  между  $n^{\text{к}}$  и  $T_4$  достаточно высок: режим «Взлет»:  $r_{n^{\text{к}}}^{T_4} = 0,987$ ; «Горизонтальный полет»:  $r_{n^{\text{к}}}^{T_4} = 0,981$ ; «Посадка»:  $r_{n^{\text{к}}}^{T_4} = 0,987$  (по шкале Чеддока [6] при  $r = 0,7-0,9$  корреляционная связь считается сильной). Значение коэффициента корреляции рассчитывалось путем статистической обработки параметров полета вертолета типа Ми-8 при количестве полетов  $N = 100$ . Так как параметры ГТД, НВ и управляющие воздействия имеют между собой корреляционную связь, то ее можно описать аналитически – путем

использования математических моделей либо путем составления эмпирических формул. Результаты анализа полученных аналитических зависимостей позволяют выявить отличительные особенности корреляционных связей между параметрами ГТД и НВ в случае нарушений нормальной работы ГТД и разработать новые методики автоматического распознавания этих нарушений.

Проведенные исследования показали, что нарушение нормальной работы ГТД характеризуется повышением уровня вибрации, уменьшением частот вращения роторов ГТД, ростом температуры газов на выходе турбины (см. рисунок 2) [4]. Следовательно, исходя из особенностей конструкции вертолетного ГТД – ТВ2-117 и результатов проведенных исследований, в качестве информативных признаков целесообразно использовать:  $n^k$ ,  $n_{НВ}$ ,  $T_4$ .

Уравнение динамики ГТД относительно  $T_4$  имеет вид [4]:

$$T_d \frac{dT_d}{dt} + T_4(t) = K_{TG} T_d \frac{dG(t)}{dt} + (K_{TG} + K_{nG} + K_{Tn}) G(t) + K_{n\phi} K_{Tn} n^k,$$

где  $G(t)$  – расход топлива;

$T_d$  – постоянная времени ГТД;

$K_{TG}$ ,  $K_{nG}$ ,  $K_{Tn}$ ,  $K_{n\phi}$  – коэффициент усиления ГТД как объекта регулирования по  $T_4$  от  $G$ ;  $n^k$  от  $G$ ;  $T_4$  от  $n^k$ ;  $n^k$  от  $\phi_{ош}$ .

Из уравнения следует, что  $T_4 = f(n^k, \phi_{ош})$ . С учетом того, что мощность, передаваемая на НВ, зависит от суммарной мощности, отбираемой от двух ГТД, а неисправность одного ГТД приведет к изменению  $n_{НВ}$ , то  $n_{НВ} = f(n_{лев}^k, n_{прав}^k, \phi_{ош}, T_{4лев}, T_{4прав})$ .

Исходя из вида статических характеристик коэффициентов усиления ГТД [3] и особенностей регрессионных моделей ГТД [8] для построения аналитических зависимостей  $n_{НВ} = f(n_{лев}^k, n_{прав}^k, \phi_{ош}, T_{4лев}, T_{4прав})$  и  $T_4 = f(n^k, \phi_{ош})$  были выбраны регрессионные модели вида (линейная и в виде полного квадратичного уравнения).

$$n_{НВ} = a_1 T_{4лев} + a_2 n_{лев}^k + a_3 \phi_{ош}; \quad (1)$$

$$n_{НВ} = a_1 T_{4прав} + a_2 n_{прав}^k + a_3 \phi_{ош};$$

$$n_{НВ} = a_1 T_{4лев} + a_2 n_{лев}^k + a_3 \phi_{ош} + 2a_4 T_{4лев} n_{лев}^k \phi_{ош} + a_5 (T_{4лев})^2 + a_6 (n_{лев}^k)^2 + a_7 \phi_{ош}^2; \quad (2)$$

$$n_{НВ} = a_1 T_{4прав} + a_2 n_{прав}^k + a_3 \phi_{ош} + 2a_4 T_{4прав} n_{прав}^k \phi_{ош} + a_5 (T_{4прав})^2 + a_6 (n_{прав}^k)^2 + a_7 \phi_{ош}^2.$$

Для левого ГТД:

$$T_{4лев} = a_1 n_{лев}^k + a_2 \phi_{ош}; \quad (3)$$

$$T_{4лев} = a_1 n_{лев}^k + a_2 \phi_{ош} + 2a_3 n_{лев}^k \phi_{ош} + a_4 (n_{лев}^k)^2 + a_5 \phi_{ош}^2. \quad (4)$$

Для  $T_{4прав} = f(n_{прав}^k, \phi_{ош})$  вид регрессионных моделей аналогичен.

Для количественной проверки гипотезы о значимости выбранных моделей был использован коэффициент детерминации –  $R^2$  [6].

Таблица 2. – Результаты регрессионного анализа для моделей вида (1–2)

Вид зависимости	$R^2$ на I этапе	$R^2$ на II этапе	$R^2$ на III этапе
(1)	0,46	0,58 – для исправного ГТД; 0,32 – для неисправного ГТД	0,93 – для исправного ГТД; 0 – неисправный ГТД выключен
(2)	0,51	0,66 – для исправного ГТД; 0,85 – для неисправного ГТД	0,96 – для исправного ГТД; 0 – неисправный ГТД выключен

Таблица 3. – Результаты регрессионного анализа для моделей вида (3–4)

Вид зависимости	$R^2$ на I этапе	$R^2$ на II этапе	$R^2$ на III этапе
(3)	0,23	0,43 – для исправного ГТД; 0,53 – для неисправного ГТД	0,98 – для исправного ГТД; 0 – неисправный ГТД выключен
(4)	0,21	0,51 – для исправного ГТД; 0,96 – для неисправного ГТД	0,97 – для исправного ГТД; 0 – неисправный ГТД выключен

Таблица 4. – Результаты регрессионного анализа для моделей вида (2) и (4)

Коэф- фиц.	ГТД <sub>прав</sub> (II этап)(2)	$t$ -стат.	ГТД <sub>лев</sub> (II этап)(2)	$t$ -стат.	ГТД <sub>прав</sub> (II этап)(4)	$t$ -стат.	ГТД <sub>лев</sub> (II этап)(4)	$t$ -стат.
$a_1$	-0,21	-0,24	2,01	0,19	-8776	-1,1	-4266	-0,59
$a_2$	468,53	0,93	-666,6	-0,64	-27283	-4,33	509	0,12
$a_3$	-58,36	-0,629	-70,2	-0,41	119	4,91	-1,212	-0,06
$a_4$	-4,2E-05	-0,11	0,0001	0,62	39	0,83	23,324	0,61
$a_5$	0,0001	0,70	-0,002	-0,29	394	2,48	-18,910	-0,43
$a_6$	-2,58	-0,93	3,57	0,63	-	-	-	-
$a_7$	4,55	1,24	-4,52	-0,80	-	-	-	-

Анализ полученных результатов (таблицы 2–4) показал:

1. Нелинейная регрессионная модель вида (2) для описания взаимосвязи параметров ГТД и НВ при помпаже ГТД, вызванном выпадением штифта лопатки компрессора (II этап), адекватна исследуемому процессу ( $R_{\text{крит}}^2 = 0,85$ , при  $R_{\text{крит}}^2 = 0,7$  [6]).

2. Коэффициенты регрессионной модели (2) на II этапе имеют знак, противоположный по отношению к аналогичным коэффициентам для исправного ГТД, за исключением коэффициента  $a_3$  (см. таблицу 4).

3. Проверка на значимость коэффициентов регрессионной модели (2) на II этапе по  $t$ -критерию ( $t_{\text{крит}} = 2,22$ ) показала, что с вероятностью 0,95, можно сделать вывод о случайном характере влияния всех используемых параметров  $a_1 \dots a_7$ . Таким образом, полученную регрессионную модель для дальнейших исследований использовать нецелесообразно.

4. Регрессионная модель вида (4) на II этапе адекватна исследуемому процессу ( $R^2 = 0,96$  при  $R_{\text{крит}}^2 = 0,7$ ).

5. Коэффициенты регрессионной модели (4) –  $a_2$ ,  $a_3$ ,  $a_5$  для II этапа, имеют знак, противоположный по отношению к аналогичным коэффициентам для исправного ГТД. По  $t$ -критерию данные коэффициенты являются значимыми с вероятностью 0,95 (за исключением коэффициентов –  $a_1$ ,  $a_4$ ), наиболее значимыми являются коэффициенты  $a_2$ ,  $a_3$ , при  $\Phi_{\text{ош}}$  и  $n_{\text{лев}}^{\text{к}} \Phi_{\text{ош}}$ .

На основании результатов исследований (этап «горизонтальный полет» –  $r_{\text{Н}}^{\text{ош}} < 0,6$  [7]) разработана методика распознавания нарушений нормальной работы ГТД (рисунок 4).

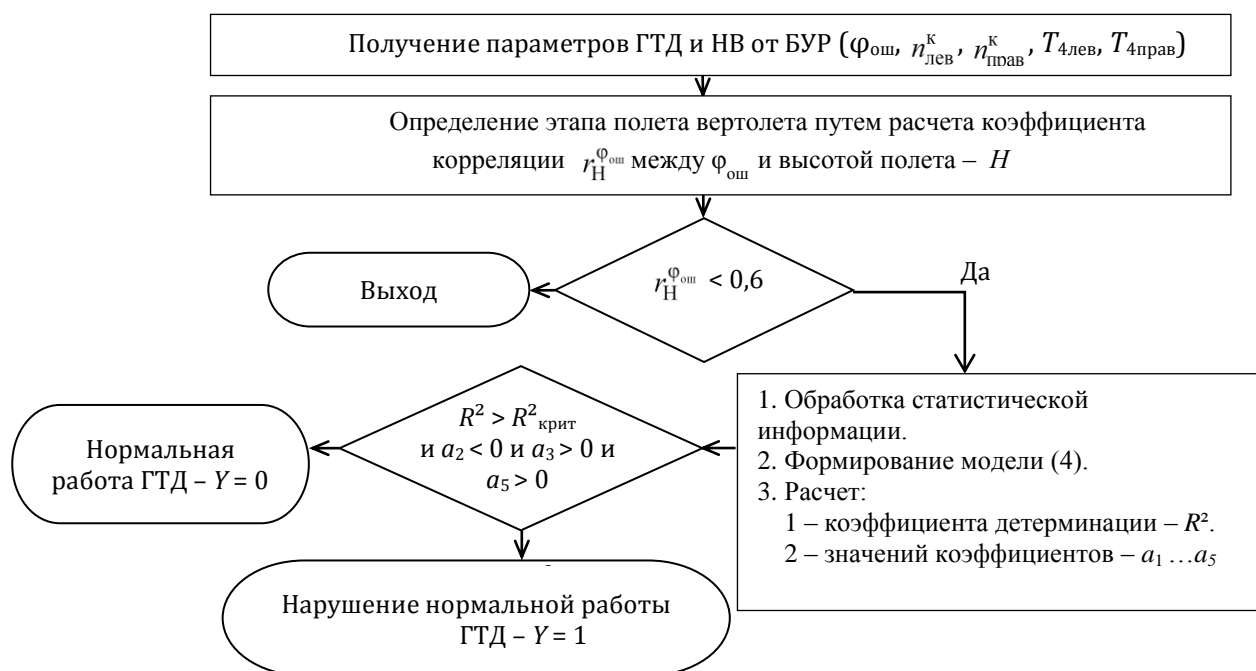


Рисунок 4. – Методика распознавания нарушений нормальной работы ГТД по его параметрам и параметрам НВ для этапа «горизонтальный полет» с использованием регрессионного анализа

Структурная схема предлагаемой комплексной системы автоматического распознавания технического состояния ГТД представлена на рисунке 5.

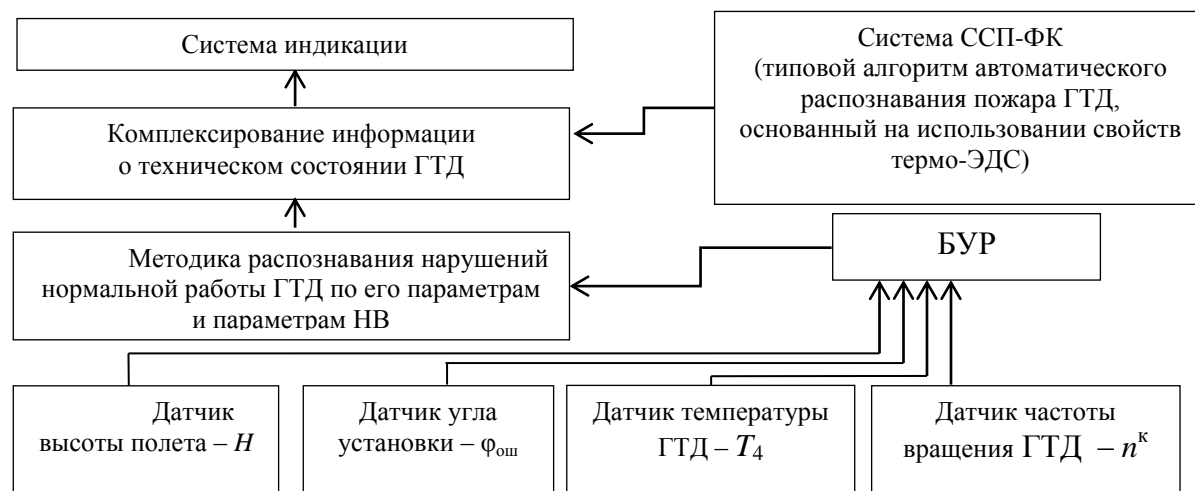


Рисунок 5. – Структурная схема комплексной системы автоматического распознавания технического состояния ГТД

Для комплексирования диагностической информации предлагается использовать соотношение вида [2]

$$M^D = k_1 X \text{ или } k_2 Y, \quad (5)$$

где  $k_1$ ,  $k_2$  – степени принадлежности признаков  $X$  (от ССП) и  $Y$  (выходной параметр (см. рисунок 4)) к  $D$ -классу технического состояния ГТД (определяются методом экспертного опроса);

$M^D$  – четкое решение о техническом состоянии ГТД ( $M^D > a$  – пожар ГТД, при  $M^D < a$  – помпаж компрессора ГТД);

$a$  – число, установленное в результате экспертного опроса.

### Вывод

Таким образом, на основе проведенных исследований разработана методика распознавания нарушений нормальной работы ГТД для этапа «горизонтальный полет», отличающаяся использованием регрессионного анализа параметров ГТД и НВ вертолета типа Ми-8Т, что позволяет обеспечить возможность автоматизации распознавания нарушений нормальной работы ГТД. Результаты исследований могут быть использованы для разработки систем автоматического контроля технического состояния ГТД типа ТВ2-117.

### Список использованных источников

1. Системы автоматического управления авиационными газотурбинными двигателями / под ред. О. С. Гуревича. – М. : ТОРУС ПРЕСС, 2010. – 264 с.
2. Шейников, А. А. Применение теории нечеткой логики в алгоритмах распознавания ложных срабатываний бортовых систем сигнализации о пожаре / А. А. Шейников, А. М. Коваленко, А. А. Санько // Академические жуковские чтения : сб. материалов V Междунар. науч.-практ. конф., Воронеж, 22–23 нояб. 2017 г. / ВУНЦ ВВС ВВА. – Воронеж, 2017. – С. 159–164.
3. Гимадиев, А. Г. Системы автоматического регулирования авиационных ГТД : учеб. пособие / А. Г. Гимадиев, Е. В. Шахматов, В. П. Шорин / Куйбыш. авиац. ин-т. – Куйбышев, 1990. – 122 с.
4. Токарев, В. П. Система диагностирования предпомпажного состояния газотурбинного двигателя / В. П. Токарев, Д. Д. Кудашов // Вестн. УГАТУ. – 2014. – Т. 18, № 1 (62). – С. 73–78.
5. Лысенко, Н. М. Безопасность полетов летательных аппаратов / Н. М. Лысенко. – Киев : КВВИУ, 1989 г. – 206 с.
6. Бараз, В. Р. Корреляционно-регрессионный анализ связи показателей коммерческой деятельности с использованием программы Excel : учеб. пособие / В. Р. Бараз. – Екатеринбург : УГТУУПИ, 2005. – 102 с.
7. Санько, А. А. Методика оценки профессиональных качеств пилота вертолета по данным бортовых устройств регистрации параметров полета / А. А. Санько, А. А. Шейников, Р. Л. Тюпин // Сб. науч. ст. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2015. – № 28. – С. 99–103.
8. Динамика авиационных ГТД / Г. В. Добрянский, Т. С. Мартянова. – М. : Машиностроение, 1989. – 240 с.

\*Сведения об авторах:

Шейников Алексей Александрович,  
УО «Военная академия Республики Беларусь».

Санько Андрей Александрович,  
Романёнок Сергей Николаевич,  
УО «Белорусская государственная академия авиации».  
Статья поступила в редакцию 28.03.2018 г.

## ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АЭРОМЕТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ НА ОСНОВЕ СОВМЕСТНОЙ ОБРАБОТКИ РЕГИСТРИРУЕМЫХ РАЗНОРОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЕТА

Д. А. Шоманков;

В. Р. Вашкевич, кандидат технических наук, доцент\*

*В статье приведены результаты анализа характеристик аэрометрических приборов как объекта диагностирования с применением средств объективного контроля. На основе комплексирования разнородных параметров полета определены диагностические параметры, обоснованы их допусковые значения. Разработана диагностическая модель в форме логических алгоритмов, определяющих условия формирования диагностических признаков при возникновении неисправностей аэрометрических приборов.*

*The article presents the results of the analysis of aerometric instruments as an object of diagnosis with the use of objective control. Based on the integration of heterogeneous flight parameters, diagnostic parameters are determined, their tolerance values are justified. A diagnostic model has been developed in the form of logical algorithms that determine the conditions for the formation of diagnostic features in the event of malfunctions in aerometric instruments.*

*Введение.* Высокая функциональная значимость аэрометрических приборов (АМП) и влияние их технического состояния (ТС) на безопасность полетов подтверждается статистическими данными, анализ которых показал возникновение от 4 до 12 % авиационных событий (АС) ежегодно из-за неисправностей АМП [1]. При этом основная неисправность АМП (86 % от общего количества неисправностей) – это недопустимые погрешности в показаниях (измерениях) высотно-скоростных параметров полета [2]. Предотвращение АС из-за неисправностей АМП возможно путем своевременного контроля их ТС при подготовках к полетам. Однако существующее диагностическое обеспечение АМП не позволяет оперативно контролировать их погрешности при подготовках к полетам. В настоящее время оценивание погрешностей АМП возможно как минимум в условиях технико-эксплуатационной части (ТЭЧ) с использованием специализированной крупногабаритной контрольно-проверочной аппаратуры (КПА). Например, при контроле АМП одного самолета Су-25 масса применяемой КПА составляет 162 кг и средняя трудоемкость не менее 26,5 чел.-ч [2]. Для сравнения, средняя трудоемкость контроля всего комплекса приборного оборудования одного самолета F-16 составляет 0,52 чел.-ч [2]. Относительно низкое значение средней трудоемкости контроля АМП самолета F-16 обусловлено высоким уровнем автоматизации диагностического обеспечения с использованием современной вычислительной техники.

Принципиальные возможности совершенствования диагностического обеспечения АМП военной авиации РБ появились с разработкой и постановкой на вооружение автоматизированных систем обработки полетной информации (АСОПИ) на базе современных ЭВМ. Принятые на вооружение АСОПИ «Двина-М» и «Топаз-М» имеют специальное программное обеспечение (СПО), реализующее алгоритмы оперативной автоматизированной обработки (экспресс-анализа) полетной информации для решения задач объективного контроля (ОК). Однако существующие алгоритмы экспресс-анализа не обеспечивают контроль работоспособности АМП, а лишь контроль выходов за пределы эксплуатационных ограничений и (или) отказов блоков (систем, комплексов), имеющих встроенные системы контроля. Такое положение дел обуславливает актуальность разработки диагностических моделей и алгоритмов, адаптированных для реализации в современных АСОПИ, что позволит оперативно выполнять контроль ТС АМП в рамках проведения ОК при подготовках к полетам.

*Основная часть.* В соответствии с [3] диагностическая модель может быть задана в аналитической, табличной, векторной, графической или другой форме, необходимой для решения задач диагностирования (контроля) ТС. Для разработки диагностических моделей АМП с использованием средств объективного контроля (СОК) применяются следующие методы: статистические, искусственного интеллекта и логические.

Статистические методы в задачах ОК получили практическую реализацию в алгоритмах автоматизированной оценки действий летных экипажей при выполнении фигур пилотажа, взлетов и посадок, специального и боевого применения ВС [4]. Применение методов искусственного интеллекта ограничивается их использованием для решения тех задач ОК, где традиционные методы неприменимы или малоэффективны [5].

Логические методы контроля ТС получили наибольшую практическую реализацию в алгоритмах работы современных СОК. Например, алгоритмы оперативной обработки (экспресс-анализа) полетной информации современных отечественных и зарубежных АСОПИ («Двина-М», «Топаз-М», «MQAR», «FAIRCYLD» и др.) реализованы на основе логических методов [2, 4, 5]. Следовательно, диагностическая модель АМП должна представлять собой математический аппарат, построенный на совокупности логических и количественных соотношений контролируемых признаков, событий и состояний. Каждому событию и состоянию, внесенному в каталог сообщений и подлежащему распознаванию по полетным данным, ставится в соответствие своя логическая функция или необходимое количество таких функций. Логическая функция должна с заданной вероятностью отражать установленные закономерности между контролируемыми состояниями и диагностическими признаками [6]. При выполнении условий, определенных логическими функциями, должно формироваться сообщение о контролируемом событии [7].

Например, для самолета Су-25 алгоритм формирования диагностического признака отказа СВС-72-1ВС, реализованный в СПО АСОПИ «Двина-М», представляет собой логическое выражение [8]

$$P_1 \wedge P_2 \wedge O_{\text{СВС}} \wedge (V_1 > 200), \quad (1)$$

где  $P_1$ ,  $P_2$  – признаки работающих левого и правого двигателей соответственно, формируются при условии частоты вращения обоих двигателей более 30 %;

$O_{\text{СВС}}$  – признак отказа СВС, формируется по электрическому сигналу от системы встроенного контроля;

$V_1$  – скорость воздушная приборная.

Диагностическим параметром в модели (1) является признак  $O_{\text{СВС}}$ , который характеризует неработоспособность СВС при отклонении электрических параметров блока питания (БП) и (или) блока воздушных параметров (БВП) от нормы из-за отказов электрических (электромеханических) устройств или обрывах и коротких замыканий электрических цепей. Однако причиной повышения погрешностей в измерениях от СВС являются не отказы электрических (электромеханических) устройств, а микротрещины и течи чувствительных элементов и их гистерезис, повышенное трение и люфты передаточных механизмов и иные постепенно развивающиеся неисправности, которые не приводят к отклонению электрических параметров БП и (или) БВП от нормы. Следовательно, диагностическая модель (1) не выявляет превышения погрешностей СВС допустимых величин, и при экспресс-анализе данных СОК она будет ошибочно считаться исправной.

Для контроля СВС других типов ВС военной авиации РБ в алгоритмах экспресс-анализа полетной информации реализованы однотипные выражению (1) алгоритмы, а контроль ТС иных АМП (кроме СВС) с использованием СОК не выполняется из-за отсутствия необходимых диагностических моделей и алгоритмов.

В зависимости от типа ВС на него устанавливается соответствующее количество, типы и модификации бортового оборудования. При разработке диагностических моделей необходимо учитывать технические характеристики конкретных АМП, опыт летной

и технической эксплуатации, особенности размещения и связи с другим бортовым оборудованием и бортовыми устройствами регистрации (БУР). В качестве примера на рисунке 1 приведена обобщенная структурная схема измерения, регистрации и обработки высотно-скоростных параметров полета самолета Су-25.

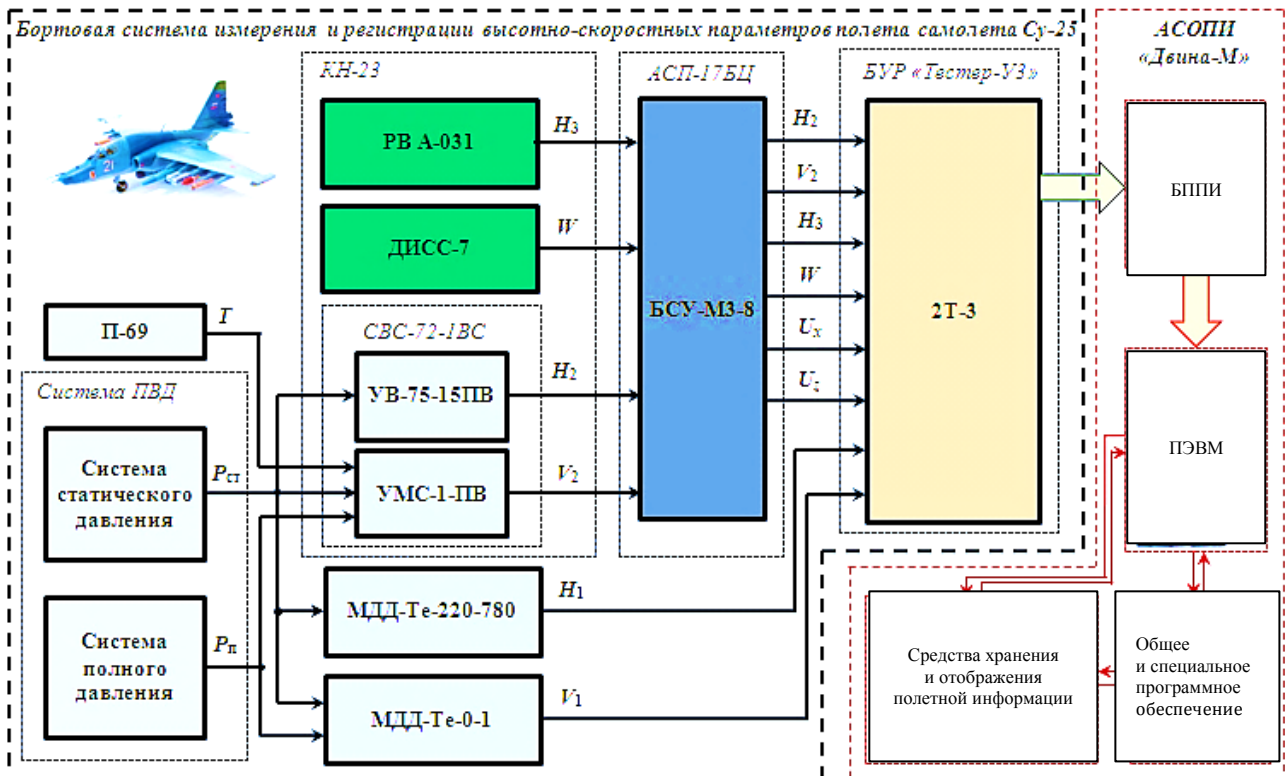


Рисунок 1. – Обобщенная структурная схема измерения, регистрации и обработки высотно-скоростных параметров полета самолета Су-25

В соответствии с [8] сформирован перечень высотно-скоростных параметров полета, регистрируемых БУР «Тестер-У3 сер. 2» на самолетах Су-25 (таблица 1).

Таблица 1. – Перечень высотно-скоростных параметров полета, регистрируемых БУР «Тестер-У3 сер. 2» на самолетах Су-25

Наименование параметра	Тип измерительного устройства (датчика)	Тип согласующего устройства (вычислителя)	Диапазон измерения
Высота абсолютная барометрическая, $H_1$	МДД-Те-220-780	–	–250...9000 м
Скорость воздушная приборная, $V_1$	МДД-Те-0-1	–	0...1100 км/ч
Высота относительная барометрическая, $H_2$	СВС-72-1ВС (УВ-75-15ПВ)	АСП-17БЦ (БСУ-М3-8)	0...9000 м
Скорость воздушная истинная, $V_2$	СВС-72-1ВС (УМС-1-ПВ)	АСП-17БЦ (БСУ-М3-8)	0...1100 км/ч
Высота геометрическая (истинная), $H_3$	РВ А-0-31	АСП-17БЦ (БСУ-М3-8)	0...1600 м
Скорость путевая, $W$	ДИСС-7	АСП-17БЦ (БСУ-М3-8)	0...1080 км/ч
Скорость ветра продольная, $U_x$	–	АСП-17БЦ (БСУ-М3-8)	0...72 км/ч



Анализ рисунка 1 и данных, приведенных в таблице 1, показал:

- одновременное измерение и регистрация высотно-скоростных параметров полета от АМП (МДД-Те-220-780, МДД-Те-0-1, СВС-72-1ВС) и радиоэлектронного оборудования (РЭО) (РВ А-0-31, ДИСС-7) создает принципиальные возможности для реализации диагностических моделей на основе их комплексирования;

- при контроле АМП целесообразно одновременно контролировать и систему приемников воздушных давлений (ПВД) на предмет правильного восприятия и передачи полного и статического давлений, так как измерение высотно-скоростных параметров происходит на основе преобразования статического и полного давления воздуха, которое воспринимается и передается к датчикам системой ПВД.

Дальнейшая задача заключается в формировании перечня контролируемых состояний АМП. Для этого, исходя из анализа структуры объекта контроля, особенностей устройства и функционирования устанавливается конечное число подлежащих определению событий и состояний. Например, для самолета Су-25 конечное число подлежащих определению состояний АМП ( $S_i$ ) представлено в таблице 2.

Таблица 2. – Контролируемые состояния АМП для самолета Су-25

$S_i$	Контролируемые состояния АМП			
	МДД-Те-220-780	СВС-72-1ВС (УВ-75-15ПВ)	МДД-Те-0-1	СВС-72-1ВС (УМС-1-ПВ)
$S_0$				
$S_1$	■			
$S_2$		■		
$S_3$			■	
$S_4$				■
$S_5$	■	■	■	■
$S_6$			■	■
$S_7$		■		■

**Состояние  $S_0$**  – исправное состояние МДД-Те-220-780, СВС-72-1ВС и МДД-Те-0-1.

**Состояние  $S_1$**  – неисправность датчика МДД-Те-220-780.

**Состояние  $S_2$**  – неисправность СВС-72-1ВС (УВ-75-15ПВ).

**Состояние  $S_3$**  – неисправность МДД-Те-0-1.

**Состояние  $S_4$**  – неисправность СВС-72-1ВС (УМС-1-ПВ).

**Состояние  $S_5$**  – закупорка или разгерметизация системы *статического* давления ПВД (одновременно неверные измерения высоты и скорости от АМП) [9].

**Состояние  $S_6$**  – закупорка или разгерметизация системы *полного* давления ПВД (одновременно неверные измерения скорости от АМП) [9].

**Состояние  $S_7$**  – отказ СВС-72-1ВС, формируется в соответствии с выражением (1).

Перечень контролируемых состояний (таблица 2) сформирован при условии, что поток возможных отказов объекта контроля обладает свойствами ординарности и без последствия, что подтверждается физическими принципами построения и работы АМП, а также опытом их эксплуатации [10].

С учетом математической модели ошибок АМП [10] на основе комплексирования разнородных высотно-скоростных параметров полета (измеряемых АМП и РЭО) разработаны алгоритмы формирования диагностических признаков контролируемых состояний (таблица 3).

Таблица 3. – Алгоритмы формирования диагностических признаков контролируемых состояний АМП для самолета Су-25

$S_i$	Контролируемые состояния АМП
$S_0$	$[z_1 \leq t_p \Delta_1] \wedge [z_2 \leq t_p \Delta_1] \wedge [z_3 \leq t_p \Delta_2] \wedge [z_4 \leq t_p \Delta_3] \wedge [z_5 \leq t_p \Delta_3] \wedge [z_6 \leq t_p \Delta_4]$
$S_1$	$[z_1 > t_p \Delta_1] \wedge [z_2 > t_p \Delta_1] \wedge [z_3 \leq t_p \Delta_2] \wedge [z_4 \leq t_p \Delta_3] \wedge [z_5 \leq t_p \Delta_3] \wedge [z_6 \leq t_p \Delta_4]$
$S_2$	$[z_1 > t_p \Delta_1] \wedge [z_2 \leq t_p \Delta_1] \wedge [z_3 > t_p \Delta_2] \wedge [z_4 \leq t_p \Delta_3] \wedge [z_5 \leq t_p \Delta_3] \wedge [z_6 \leq t_p \Delta_4]$
$S_3$	$[z_1 \leq t_p \Delta_1] \wedge [z_2 \leq t_p \Delta_1] \wedge [z_3 \leq t_p \Delta_2] \wedge [z_4 > t_p \Delta_3] \wedge [z_5 > t_p \Delta_3] \wedge [z_6 \leq t_p \Delta_4]$
$S_4$	$[z_1 \leq t_p \Delta_1] \wedge [z_2 \leq t_p \Delta_1] \wedge [z_3 \leq t_p \Delta_2] \wedge [z_4 > t_p \Delta_3] \wedge [z_5 \leq t_p \Delta_3] \wedge [z_6 > t_p \Delta_4]$
$S_5$	$[z_1 > t_p \Delta_1] \wedge [z_2 > t_p \Delta_1] \wedge [z_3 > t_p \Delta_2] \wedge [z_4 > t_p \Delta_3] \wedge [z_5 > t_p \Delta_3] \wedge [z_6 > t_p \Delta_4]$
$S_6$	$[z_1 \leq t_p \Delta_1] \wedge [z_2 \leq t_p \Delta_1] \wedge [z_3 \leq t_p \Delta_2] \wedge [z_4 > t_p \Delta_3] \wedge [z_5 > t_p \Delta_3] \wedge [z_6 > t_p \Delta_4]$
$S_7$	$\Pi_1 \wedge \Pi_2 \wedge O_{\text{СВС}} \wedge (V_1 > 200)$

В таблице 3 обозначено:

$z_1$  – невязка (разница) между параметрами  $H_1$  и  $H_2$ ;

$z_2$  – невязка между параметрами  $H_1$  и  $H_3$ ;

$z_3$  – невязка между параметрами  $H_2$  и  $H_3$ ;

$z_4$  – невязка между параметрами  $V_1$  и  $V_2$ ;

$z_5$  – невязка между параметрами  $V_1$  и  $W$ ;

$z_6$  – невязка между параметрами  $V_2$  и  $W$ ;

$\Delta_1$  – диапазон допустимых значений абсолютной погрешности МДД-Те-220-780;

$\Delta_2$  – диапазон допустимых значений абсолютной погрешности СВС (УВ-75-15ПВ);

$\Delta_3$  – диапазон допустимых значений абсолютной погрешности МДД-Те-0-1;

$\Delta_4$  – диапазон допустимых значений абсолютной погрешности СВС (УМС-1-ПВ);

$t_p$  – параметр, показывающий во сколько раз половина ширины доверительного интервала отличается от среднеквадратического отклонения (СКО) результата наблюдения при заданной доверительной вероятности [11].

Диапазон допустимых значений абсолютной погрешности  $i$ -го АМП ( $\Delta_i$ ) определяется по формуле [12]

$$\Delta_i = \frac{\delta_i D_i}{100 \%}, \quad (2)$$

где  $\delta_i$  – приведенная погрешность тракта измерения и регистрации  $i$ -го параметра;

$D_i$  – диапазон измерения  $i$ -го параметра.

Значения  $D_i$  приведены в паспортах на соответствующие типы АМП. Значения  $\delta_i$  для  $i$ -го параметра определяются по выражению [12]

$$\delta_i = \sqrt{\delta_{\text{д}}^2 + \delta_{\text{су}}^2 + \delta_{\text{п}}^2}, \quad (3)$$

где  $\delta_{\text{д}}$ ,  $\delta_{\text{су}}$ ,  $\delta_{\text{п}}$  – приведенные погрешности  $i$ -го датчика (АМП), согласующего устройства и преобразователя соответственно.

Например, для самолета Су-25 параметры, характеризующие погрешности АМП, приведены в таблице 4.

Таблица 4. – Параметры, характеризующие погрешности АМП самолета Су-25

Измеритель	Параметр					
	$\delta_d, \%$	$\delta_{cy}, \%$	$\delta_{п}, \%$	$\delta_i, \%$	$D_i, \text{мм рт. ст.}$	$\Delta_i, \text{мм рт. ст.}$
МДД-Те-220-780	2,5	1	0,21	2,7	560	$\pm 15,078$
МДД-Те-0-1	2,5	1	0,21	2,7	760	$\pm 20,46$
СВС-72-1ВС (УВ-75-15ПВ)	0,6	1	0,21	1,2	530	$\pm 6,18$
СВС-72-1ВС (УМС-1-ПВ)	0,6	1	0,21	1,2	760	$\pm 8,863$

Значения погрешностей  $\Delta_i$  определяются в единицах давления, а параметры полета регистрируются в единицах высоты и скорости. В действительности АМП измеряют не высоту и скорость полета, а статическое и динамическое давление атмосферного воздуха. Поэтому при определении невязок целесообразно зарегистрированные высотно-скоростные параметры полета переводить в единицы статического и динамического давления по таблицам стандартной атмосферы и аэродинамическим таблицам или по барометрическим и гипсометрическим формулам.

При формировании невязок  $z_2$  и  $z_3$  значения истинной высоты ( $H_3$ ) целесообразно вводить поправки на рельеф местности (при их наличии или возможности определения).

При формировании невязок  $z_5$  и  $z_6$  (имея зарегистрированные значения скорости ветра) путевую скорость ( $W$ ) необходимо переводить в воздушную скорость [13].

Параметр  $t_p$  определяется в соответствии с заданной доверительной вероятностью, например:  $t_{0,95} = 1,96$ ,  $t_{0,99} = 2,58$ ,  $t_{0,997} = 3$  [11, 14].

На рисунке 2 приведены результаты работы диагностической модели (таблица 3) по зарегистрированным в БУР «Гестер-УЗ» параметрам крайнего полета самолета Су-25 (данные БД\_СБИ 3801-032) перед постановкой его в ТЭЧ, где с использованием штатной КПА была выявлена неисправность датчика МДД-Те-220-780.

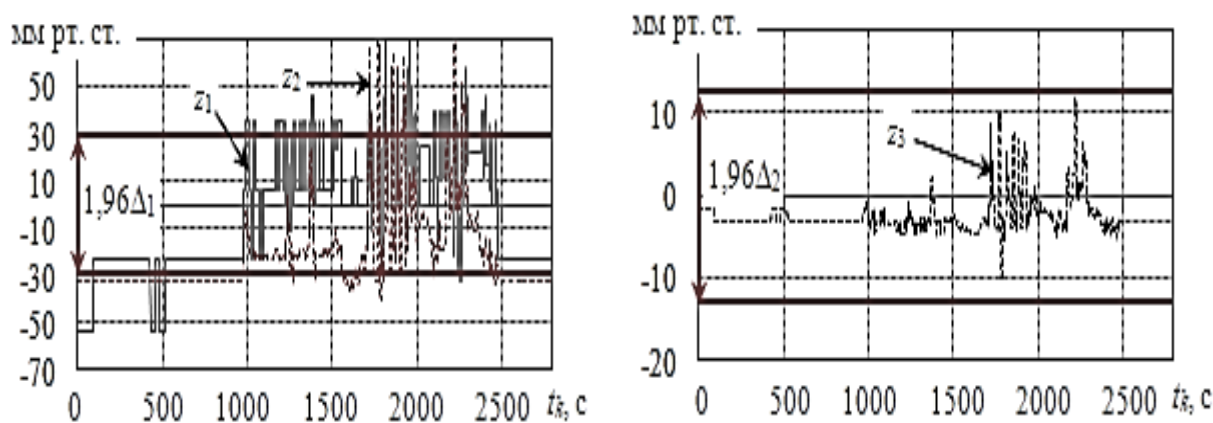


Рисунок 2. – Значения невязок ( $z_1, z_2, z_3$ ) и допустимых значений ( $1,96\Delta_1$  и  $1,96\Delta_2$ ) по времени полета ( $t_i$ ) самолета Су-25 при неисправности МДД-Те-220-780

На рисунке 2 видно, что значения невязок в канале высоты  $z_1, z_2$  превышают допустимые значения ( $1,96\Delta_1$ ), а невязка  $z_3$  находится в пределах допустимой величины ( $1,96\Delta_2$ ), что соответствует выполнению условия, характеризующего контролируемое состояние  $S_1$  (таблица 3), и совпадает с результатами контроля штатной КПА.

На рисунке 3 приведены графики изменения невязок при выполнении облета самолета (данные БД\_СБИ 3801-033), после выполнения регламентных работ, во время которых неисправный датчик МДД-Те-220-780 был заменен исправным.

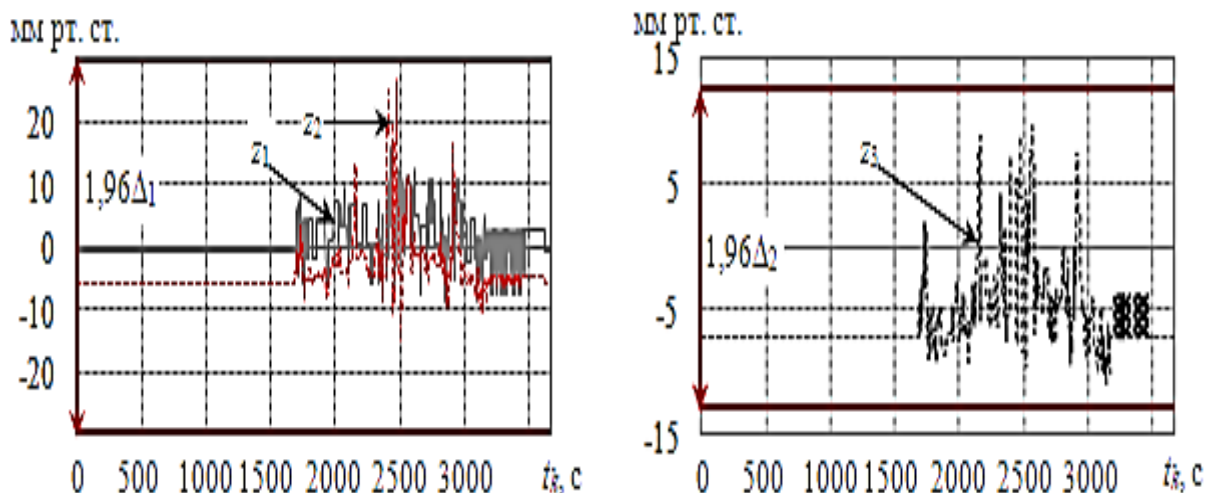


Рисунок 3. – Значения невязок ( $z_1$ ,  $z_2$ ,  $z_3$ ) и допустимых значений ( $1,96\Delta_1$  и  $1,96\Delta_2$ ) по времени полета ( $t_k$ ) самолета Су-25 при исправном состоянии МДД-Те-220-780

Приведенные на рисунке 3 графики показывают, что после устранения неисправности значения всех невязок не превышают допустимых значений (графики невязок в канале скорости не приводятся), что соответствует состоянию  $S_0$ .

Пределы допустимых значений невязок определялись при заданной доверительной вероятности 0,95, что соответствует значению параметра  $t_p = 1,96$  [11, 14]. Такая величина ширины доверительного интервала и СКО результата наблюдения при заданной доверительной вероятности 0,95 достаточно велика для отбрасывания ложных гипотез и достаточно мала для отбрасывания лишь немногих верных гипотез [12, 13].

Разработанная диагностическая модель в 2014 г. реализована в составе СПО АСОПИ «Двина-М» для самолетов Су-25 и Су-25УБ. Количество обработанных полетов в период эксплуатации с 2014 по 2017 г. составило 1296. Контроль АМП по алгоритмам формирования диагностических признаков (таблица 3) выполнялся в автоматизированном режиме после каждого полета самолетов Су-25 и Су-25УБ в рамках ОК. При выявлении неисправности контролируемых АМП по данным СОК выполнялся дублирующий контроль их ТС с использованием штатной КПА. Средняя сходимость результатов контроля АМП (МДД-Те-220-780, МДД-Те-0-1, СВС-72-1ВС) штатной КПА и с использованием диагностической модели составила 94 %. При этом вероятность ошибки 2-го рода (ошибочное отнесение неисправного АМП к исправному) составляет 0,06. Состоятельность результатов контроля АМП по данным СОК подтверждается 1296 обработанными полетами, так как в соответствии с [15] для обеспечения заданной доверительной вероятности 0,95 количество опытов должно быть не менее 1090.

*Выводы.* Результаты анализа безопасности полетов показывают потенциальную возможность предотвращения от 4 до 12 % происходящих ежегодно АС путем обеспечения оперативного контроля ТС АМП при проведении ОК. Выявлены основные недостатки диагностического обеспечения, являющиеся препятствием для выполнения оперативного контроля основных неисправностей АМП при подготовках к полетам и проведении ОК.

Выполнен анализ АМП как объекта диагностирования с применением СОК, который показал возможность использования невязок между разнородными высотно-скоростными параметрами полета в качестве диагностических параметров. Обоснованы допусковые значения диагностических параметров с учетом относительного доверительного интервала и заданной доверительной вероятности. Разработаны алгоритмы формирования

диагностических признаков, характеризующих возникновение соответствующих неисправностей АМП.

Научная новизна полученных результатов заключается в новом способе формирования диагностических признаков, характеризующих неисправности АМП, на основе контроля превышения невязок (между разнородными высотно-скоростными параметрами полета) значений максимально допустимых абсолютных погрешностей АМП с учетом относительного доверительного интервала и заданной доверительной вероятности.

Практическая значимость разработанной диагностической модели подтверждается ее реализацией в СПО АСОПИ «Двина-М» для самолетов типа Су-25 и Су-25УБ, что позволило оперативно в автоматизированном режиме контролировать ТС АМП с достоверностью 94 % при проведении ОК.

Алгоритмы формирования диагностических признаков могут быть адаптированы для любого типа ВС с учетом его характеристик и типа установленного оборудования.

#### Список использованных источников

1. Анализ состояния безопасности полетов в государственной авиации Республики Беларусь. – Минск : УВСРДГА, 2003 – 2017.
2. Разработка алгоритмов автоматизированного контроля датчиков приборной скорости и барометрической высоты самолета Су-25 по информации средств объективного контроля: (шифр «Грач») : отчет о НИР (заключ.) / УО «ВА РБ» ; рук. темы В. Р. Вашкевич. – Минск, 2013. – 72 с. – № 1819/13.
3. Техническая диагностика. Термины и определения : ГОСТ 20911-89. – Введ. 01.01.91. – М. : Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам : Стандартиформ, 2009. – 34 с.
4. Быстров, С. А. Методы объективного контроля / С. А. Быстров, И. С. Хуснетдинов. – М. : ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 2008. – 181 с.
5. Ипполитов, С. В. Методы и средства объективного контроля / С. В. Ипполитов, В. Л. Кучевский, В. Т. Юдин. – Воронеж : ВАИУ, 2011. – 239 с.
6. Основы технической диагностики : в 2 кн. Кн 1. Модели объектов, методы и алгоритмы диагноза / В. В. Карибский [и др.]; под ред. П. П. Пархоменко. – М. : Энергия, 1976. – Кн. 1. – 464 с.
7. Надежность и эффективность в технике : справ. : в 10 т. Т. 9. Техническая диагностика / И. М. Синдеев [и др.] ; под ред. В. В. Клюева, П. П. Пархоменко. – М. : Машиностроение, 1987. – 352 с.
8. АСОПИ «Двина-М». Комплект специального программного обеспечения. Каталог контролируемых событий экспресс-анализа для изделий Т-8, Т-8УБ. ИБФШ.839.32.00.00 РО. – Введ. 17.10.2013. – Минск : Командование ВВС и войск ПВО РБ, 2013. – 66 с.
9. Особенности эксплуатации систем приемников воздушных давлений и анероидно-мембранных приборов : введ. 12.04.2007. – Минск : Командование ВВС и войск ПВО РБ, 2007. – № 732 (3400). – 63 с.
10. Шоманков, Д. А. Математическая модель ошибок аэрометрических приборов на основе комплексирования разнородной информации по данным бортовых регистраторов / Д. А. Шоманков // Междунар. информ.-аналит. журн. Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. – 2017. – № 2. – С. 115–125.
11. Дерябин, Ю. Д. Основы стандартизации, метрологии и управления качеством техники и вооружения войск ПВО / Ю. Д. Дерябин, Л. И. Сацункевич, А. М. Ваховский. – М. : Воениздат, 1988. – 355 с.
12. Ерохин, Г. Н. Система автоматизированной обработки полетной информации «Луч-74» / Г. Н. Ерохин. – М. : ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 1988. – 242 с.
13. Пашковский, И. М. Летные испытания самолетов и обработка результатов испытаний / И. М. Пашковский, В. А. Леонов, Б. К. Поплавский. – М. : Машиностроение, 1985. – 416 с.

14. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения: ГОСТ 8.207-76. – Введ. 01.01.1977. – М. : Государственный комитет стандартов СССР : Стандартиформ, 2008. – 9 с.

15. Методы классической и современной теории автоматического управления. Статистическая динамика и идентификация систем автоматического управления : учеб. : в 4 т. / под ред. К. А. Пупкова, Н. Д. Егупова. – 2-е изд. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – Т. 2. – 640 с.

---

\*Сведения об авторах:

Шоманков Дмитрий Анатольевич,

Вашкевич Владимир Ромуальдович,

УО «Военная академия Республики Беларусь».

Статья поступила в редакцию 28.03.2018 г.

## ПРОБЛЕМЫ ВОЕННОЙ ПЕДАГОГИКИ, ВОИНСКОГО ОБУЧЕНИЯ И ВОСПИТАНИЯ

---

УДК 323.2

### СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ: ФЕНОМЕН «ДИВАННОЙ МОБИЛИЗАЦИИ» (НА ПРИМЕРЕ УКРАИНСКОГО КОНФЛИКТА 2014–2017 ГГ.)

Е. В. Воронова, кандидат культурологии, доцент\*

*В статье поднимается вопрос о новых реалиях информационных войн, которые требуют привлечения усилий не только профессионалов, но также широкой общественности. В этом плане примечателен феномен так называемых «диванных войск», которые на безвозмездных и волонтерских началах активно участвуют в социальных сетях в информационно-пропагандистском сопровождении современных политических и военно-политических конфликтов. При этом они выполняют важную общественно-политическую миссию, обеспечивая «жестким» инициативам власти поддержку «снизу».*

*The report is devoted to new realities of information wars that require an active engagement of not only professionals but also the general public, in this regard, it is interesting to draw attention to the phenomenon of so-called «sofa troops» that on a grant and voluntary basis are actively involved in social media in outreach support of modern political and military-political conflicts. At the same time they perform important socio-political mission providing support «from below» to hard initiatives of the government.*

Политические и военно-политические конфликты XXI века немислимы без эффективного и многостороннего информационного сопровождения. При этом в такой борьбе задействуется как традиционное медиапространство (печатные и электронные СМИ), так и социальные сети, которые пока еще являются «недооцененными» с пропагандистской точки зрения, хотя объединяют колоссальные аудитории.

Так, если рассматривать Рунет, то здесь фаворитом является социальная сеть «В контакте», ежемесячная аудитория которой составляет почти 47 миллионов человек, на втором месте – «Одноклассники» – около 32 млн пользователей, на третьем – Facebook – 22,5 млн пользователей [4]. Однако при этом до 2014 года эти сети являлись в основном площадками для неформального общения разных социальных групп и не были активно задействованы в масштабных политических проектах. Ситуация кардинально изменилась в 2014 году после событий Майдана № 2, реинтеграции Крыма и начала боевых действий на Донбассе. С учетом того, что данные события являлись чрезвычайно острыми практически для всех постсоветских государств, а в российских социальных сетях были зарегистрированы миллионы «иностранных» пользователей (например, украинский сегмент сети «В контакте» составлял по разным оценкам от 9 до 13 млн чел.), в виртуальном пространстве сначала развернулись интенсивные дискуссии, а затем разразилась настоящая информационная война между сторонниками и противниками «киевской весны». С учетом того, что инициатива интернет-пользователей «снизу» была поддержана также «сверху», масштаб данного политического (а по большому счету, военно-политического) противостояния оказался колоссальным: были созданы сотни «профильных» групп, объединявших зачастую по несколько сотен тысяч участников, была задействована целая сеть троллей и ботов, произошла мобилизация так называемых «диванных войск» (данное обозначение носит метафорический характер). Здесь стоит отметить значительную разницу между вышеназванными категориями акторов: каковы они и в чем их информационное значение.

Таким образом, объективные изменения медиаинформационного пространства, специфические процессы, инициированные целевыми аудиториями в рамках кризисных

информационных поводов, **делают актуальной проблему рассмотрения роли социальных сетей в информационном сопровождении военно-профессиональных информационных поводов.**

Социальные сети объединяют колоссальные аудитории, потому что они являются и *платформой, и онлайн-сервисом, и веб-сайтом, предназначенными для построения, отражения и организации социальных взаимоотношений* в Интернете. Однако необходимо дифференцировать разные аудитории, на которые они работают, а следовательно, и разных акторов, с помощью которых эта работа становится результативной.

Так, бот – это специальная компьютерная программа, имитирующая действия живого человека, способная воздействовать на значительную часть аудитории или отдельные группы соцсети. Боты в основном используются для механической рассылки заранее подготовленных сообщений, демотиваторов, ссылок на интернет-ресурсы и пр., реже используются чат-боты, которые могут в ограниченном режиме отреагировать на вопросы или вызовы «живого» собеседника. Известно, что боты активно использовались и со стороны Украины, и со стороны непризнанных ДНР и ЛНР, а также России и вовлеченных в противостояние стран Запада (например, «Киберберкут» или Joint Functional Component Command for Network Warfare).

Еще одной зависимой категорией акторов информационных войн в соцсетях являются тролли.

Троллинг (от англ. *trolling* – ловля на блесну) – форма социальной провокации или издевательства в сетевом общении, использующаяся как персонифицированными участниками, заинтересованными в большей узнаваемости, публичности, эпатаже, так и анонимными пользователями без возможности их идентификации. Троллинг как форма социальной агрессии обладает характерными особенностями. Одна из них заключается в возможности существования троллинга исключительно в виртуальных сообществах, вторая – наличие у троллинга специфических механизмов быстрого высвобождения лавинообразной агрессии, которая мгновенно распространяется на большинство участников виртуального сообщества. Третьей особенностью троллинга является невозможность потенциальной жертвы конфликта вступить в физический или визуальный контакт с инициатором самой конфликтной ситуации (троллем) [3].

В последнее время троллинг все шире используется как PR-технология в коммерческой и политической сферах. Эксперты утверждают, что использование этой технологии дает пиарщикам такие преимущества, как создание ложных эффектов массовости и общественного мнения, возможность повышения доверия к источнику информации, а также увеличение охвата аудитории получателей информации. При этом троллинг относится к числу «грязных» технологий.

Тролли – в своей массе платные участники виртуальных противоборств, занимающиеся в основном провокационно-диверсионной деятельностью на интернет-площадках противника в диапазоне от нецензурной лексики в адрес оппонентов до распространения панических слухов и ложной информации.

Борьба вокруг Крыма и Донбасса 2014–2017 гг. породила новую категорию интернет-бойцов – «диванные войска». Их участников можно определить как политически мотивированных активистов информационно-пропагандистской войны, действующих в интернет-пространстве на неформальной и некоммерческой основе. Более того, это могут быть достаточно статусные, состоятельные и занятые люди, которые, однако, воспринимают себя в качестве мобилизованных на период реальных политических или военно-политических конфликтов.

В силу того, что по целому ряду причин они не могут участвовать в практической деятельности, они стремятся максимально отработать в пользу «своих» в виртуальной сфере. Кстати, грань между «диванными» и реальными войсками является довольно зыбкой. Конфликт на Донбассе дал целый ряд примеров, когда из «диванных» бойцов люди переходили либо в гуманитарные войска (занимаются материально-техническим,



продовольственным, медицинским обеспечением реальных военнослужащих на передовой), либо даже становились непосредственными участниками боевых действий.

Тем не менее большинство представителей «диванных войск» концентрирует свои усилия на информационно-пропагандистской работе в Интернете.

Направления их деятельности следующие:

- отстаивание своей политической позиции в диалоге с оппонентами или неопределившимися. Это чрезвычайно важно на первом этапе конфликта, поскольку позволяет, с одной стороны, заблокировать информационное давление со стороны противника, а с другой – привлечь на свою сторону «политическое болото» или «хатаскрайщиков»;

- сбор информации о противнике (особенно если бойцы «диванных войск» находятся в зоне реальных боевых действий или на стратегических коммуникациях, которые ведут к линии фронта), передача ее администраторам своих групп или размещение ее в Интернете в режиме on-line. Так в 2014 г. в условиях хаоса первых месяцев противостояния на Донбассе между ополчением и Вооруженными Силами Украины многие пользователи с подконтрольных Украине территорий Донецкой и Луганской областей, но сочувствующие ДНР и ЛНР, передавали ценную оперативную информацию через соцсети, что вело к незапланированным реальным потерям украинских военных. В свою очередь, украинские пользователи активно выявляли сторонников Новороссии и отправляли их данные для занесения в базу «Миротворец», что было чревато различными санкциями для фигурантов (от запрета на въезд на Украину до ареста службой безопасности Украины);

- поддержание боевого духа среди своих сторонников и колеблющихся. К такого рода деятельности относится и широкое распространение информации о реальных или мифических потерях в рядах противника, и обозначение «светлого» политического будущего, и рассказы о боевых подвигах, и данные о «подходе подкреплений», и пр.;

- демонизация противника и создание четкой оппозиции «мы – они». В условиях жесткого политического и тем более военно-политического противостояния для победы крайне важно сформировать у профильной аудитории чувство непримиримости по отношению к противнику и чувство тотальной катастрофы в случае поражения. Также нередко «враг» дезавуируется через его уничтожение, представление в утрированном, сатирическом виде. Для этого часто используются иллюстративные материалы – демотиваторы [7];

- опровержение «вражеских» сообщений, разоблачение пропаганды противника, размещение собственных «правдивых» данных;

- заброс в группы противника заведомо ложной и фейковой информации.

Чаще всего ложные новости представляют собой информацию о событиях, которые можно охарактеризовать как из ряда вон выходящие. Кроме того, фейки могут затрагивать за живое тех, кто их читает, в этих случаях у человека отключается логика, включаются эмоции и он верит даже совершенно невероятной информации.

Например, новость о том, что туалеты в украинских поездах станут платными, вызвала резонанс и официальную реакцию у членов украинского парламента, которые пообещали разобраться с проблемой и подать официальный запрос.

Чаще всего такого рода фальшивые материалы выявляются довольно легко и удаляются администраторами, но иногда они получают относительно широкое распространение. Например, пророссийский сегмент Интернета попался на удочку украинских оппонентов, купившись на фейк о «распятом мальчике из Славянска», а украинские пользователи всерьез поверили в информацию о голоде в России («едят ежей») и предоставлении гражданам РФ Интернета «по талонам».

Каковы состав и численность «диванных войск»? С учетом того, что в социальных сетях имеется возможность неоднократно регистрироваться в разных группах, большинство «бойцов» имеют представительство в целом ряде профильных сообществ, хотя регулярно участвуют в виртуальных боевых действиях, обычно в двух-трех.

Численность таких групп бывает различной – от нескольких сотен человек до сотен тысяч «штыков». Однако чаще всего «война» ведется в относительно массовых группах (от 15 до 300 тыс. пользователей), где есть возможность развернуться, поймать аудиторию и получить максимум лайков. В отличие от развлекательных групп, где преобладает чисто молодежная аудитория, политизированный сегмент более разнообразный, здесь встречаются даже подростки и люди старше 60 лет. В профессиональном плане это опять же совершенно разный контингент, но значительную часть «бойцов» составляют представители интеллигенции, малого и среднего бизнеса, бывшие силовики.

Форма подачи материалов в исполнении «диванных войск» различается.

С одной стороны, ряд пользователей размещают свои аналитические материалы или ссылки на серьезные статьи реальных и виртуальных СМИ, с другой – значительная часть бойцов «диванных войск» ориентирована на размещение коротких и емких комментариев, проставление лайков дружественным пользователям или ретрансляцию понравившихся информационных сообщений своим друзьям в соцсети.

С учетом почти безграничной свободы, царящей в данных группах, эмоциональность материалов зачастую зашкаливает, переходя обычные нормативные рамки. Что же касается модераторов групп, то они редко обращают внимание на жесткие и даже неприличные высказывания своих представителей в адрес политических оппонентов, сосредотачиваясь в основном на борьбе с троллями противника и размещением материалов, составляющих прямую военную тайну (например, на ранних этапах противостояния на Юго-Востоке Украины пророссийские пользователи нередко размещали фото и видео, отражающие перемещения и боевое расположение ВС РФ и ополчения, позже число таких «сливов» было сокращено модераторами до минимума под угрозой запрета – бана).

Одновременно в ходе противоборства «диванных войск» друг с другом возникают новые термины, чаще всего негативно окрашенные, а то и бранные, направленные на то, чтобы максимально уязвить оппонентов. Вот наиболее приличные из них: «ватники», «рогули», «укропы», «рашисты», «свидомиты» и др. В то же время отдельные представители «диванных войск» специализируются на тонком троллинге врага, стремясь иронией и юмором вывести оппонента из себя и спровоцировать его на использование ненормативной лексики.

При этом «диванные войска» выдвигают и максимально раскручивают в дружественной аудитории собственных героев, которые потом нередко приобретают всенародное признание. Именно так в большом информационном пространстве зазвучали имена «героя Славянска» Игоря Стрелкова, «Мотороллы», «Гиви», «казака Бабая» и др. Свои интернет-герои были и у оппонентов (Семен Семенченко, Надежда Савченко, Дмитрий Ярош, «киборги» донецкого аэропорта). Одновременно жесткой обструкции подвергаются политические и военные лидеры противника, которые либо демонизируются, либо высмеиваются.

Методика создания сетевого контента и его результативность напрямую зависят от оперативности работы с информацией, умения «ловить» интересы аудитории и от элементарной информационной грамотности – способности отличать продукт бота или тролля.

Цель статьи – рассмотреть специфику функционирования соцсетей в актуальном информационном поводе, систематизировать их возможные значения (на примере Крымского вопроса). Резюмируя, следует сказать, что несмотря на виртуальный характер своей деятельности, «диванные войска» играют важную роль в информационно-пропагандистском сопровождении современных политических и военно-политических конфликтов:

во-первых, они создают необходимый общественный фон поддержки для каждой из противоборствующих сторон и атмосферу боевитости в соцсетях;

во-вторых, используя прием контраста передачи информации в отличие от официальных СМИ, они позволяют придать войне или конфликту народное звучание и человеческое лицо, и в то же время продемонстрировать поддержку власти снизу;

в-третьих, «диванные войска» мобилизуют сторонников своей точки зрения, некоторые из которых переходят затем в состав гуманитарных войск или даже вступают в реальные боевые подразделения;

в-четвертых, «диванные войска» косвенно оказывают воздействие на руководство противоборствующих сторон, являясь своего рода индикатором общественных настроений.

В соответствии с реалиями XXI века базисным субъектам с высокой социальной значимостью, а армия таковым является, необходимо вести комплексную, системную работу в сетевом пространстве по грамотному информационному сопровождению своих событий, информационно-аналитической деятельности для выстраивания доминирующего диалога и социальной инженерии с целевыми аудиториями.

Таким образом, для Республики Беларусь, ее высшей военной школы, органов идеологической работы Вооруженных Сил знание информационных процессов, умение работать с информационными продуктами, защита личного состава от антигосударственного информационного воздействия – это актуальные вопросы кадровой и профессиональной подготовки.

#### Список использованных источников

1. Афанасьев, В. Социальная информация и управление обществом / В. Афанасьев. – М. : Знание, 2005. – 119 с.
2. Блэк, С. Паблик рилейшнз. Что это такое? / С. Блэк. – М. : Наука, 2007. – 256 с.
3. Вершинин, М. С. Политическая коммуникация в информационном обществе / М. С. Вершинин. – М. : Ягуар, 2006. – 256 с.
4. Зверинцев, А. Б. Коммуникационный менеджмент : рабочая книга менеджера PR / А. Б. Зверинцев. – 2-е изд., испр. – СПб. : Союз, 2007. – 288 с.
5. Каландаров, К. Х. Управление общественным сознанием. Роль коммуникативных процессов / К. Х. Каландаков. – М. : Наука, 2016. – 154 с.
6. Крутских, А., Федоров А. О международной информационной безопасности / А. Крутских, А. Федоров. – М. : Слово, 2008. – 234 с.
7. Малькова, Т. В. Массы. Элита. Лидер / Т. В. Малькова. – М. : Ягуар, 2006. – 232 с.
8. Почепцов, Г. Г. Информационные войны / Г. Г. Почепцов. – М. : ИЦ «Гарант», 2008. – 453 с.
9. Расторгуев, С. П. Информационная война / С. П. Расторгуев. – М. : Наука, 2008. – 235 с.
10. Рютингер, Р. Культура предпринимательства / Р. Рютингер. – М. : Лидер, 2006. – 672 с.
11. Тоффлер. Э. Третья волна / Э. Тоффлер. – М. : Палея, 2007. – 458 с.
12. Танскотт, Д. Электронно-цифровое общество. Плюсы и минусы сетевого интеллекта / Д. Танскотт. – М. : Прогресс, 2006. – 673 с.

---

\*Сведения об авторе:

Воронова Екатерина Владимировна,  
УО «Военная академия Республики Беларусь».  
Статья поступила в редакцию 02.05.2018 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 использованных 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, 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.