

Всероссийский научно-исследовательский институт «Центр»
АО «НПО Спецматериалов»

ISSN 2306-1456

ВОПРОСЫ ОБОРОННОЙ ТЕХНИКИ

Серия 16

**Технические средства
противодействия терроризму**

Издается с 1937 г.

Выпуск 5–6 (203–204)



Москва • 2025

Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. — М.: ВНИИ «Центр». — СПб.: АО «НПО Спецматериалов». — СПб.: Первый НПХ. 2025. Вып. 5–6 (203–204).

Представлен широкий круг вопросов, освещающих технические средства предотвращения и противодействия терроризму; их отработку и испытания; материалы и технологии.

Адрес редакции: 195277, Санкт-Петербург, Б. Сампсониевский пр., 28А, литера Б.
Тел. (812) 542-98-50; факс: (812) 542-75-58, E-mail: vot@npo-sm.ru

В соответствии с Решением президиума ВАК Минобрнауки России научно-технический журнал «Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму» включен в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

Сайт vak.ed.gov.ru раздел — «Нормативно-справочная информация»,
подраздел — «Перечень рецензируемых научных изданий»

Председатель редакционного совета С.И. Довгучиц
Chairman of editorial board S.I. Dovguchits

Главный редактор А.Г. Шалковский
Chief editor A.G. Shalkovsky

Редакционный совет:

*д.в.н., профессор В.И. Бабенков, д.т.н. А.В. Ноздрачев,
д.т.н., профессор В.А. Петров, д.т.н., профессор А.А. Рахманов,
д.т.н., профессор М.В. Сильников (зам. председателя редсовета), д.м.н., профессор В.Б. Симоненко,
д.т.н., профессор Е.Ф. Харченко*

Editorial board:

*D.Sc. V.I. Babenkov, D.Sc. A.V. Nozdrachev, D.Sc. V.A. Petrov,
Ph.D. A.A. Rakhmanov, D.Sc. M.V. Silnikov, D.Sc. V.B. Simonenko, D.Sc. E.F. Kharchenko*

Редакционная коллегия:

*к.т.н. А.С. Алешин, д.т.н., профессор В.Г. Анисимов, д.в.н., д.т.н., профессор В.С. Артамонов,
д.т.н. В.И. Бабичев, д.ю.н., профессор В.Ю. Владимиров, д.т.н., профессор Д.П. Гасюк,
д.ф.-м.н., профессор Н.А. Иванов, к.т.н., профессор А.А. Карачев, д.т.н., профессор В.А. Кежаев,
д.т.н., профессор О.Г. Лапука, д.т.н. А.И. Михайлин, к.т.н., доцент А.Н. Рогалев,
к.т.н., доцент А.М. Сазыкин (отв. секретарь), д.т.н., профессор О.А. Финько,
к.с.н. Е.Б. Харченко, д.т.н. М.В. Чернышов, д.в.н., к.т.н., профессор С.В. Чварков*

Editorial assembly:

*Ph.D. A.S. Aleshin, D.Sc. V.G. Anisimov, D.Sc. V.S. Artamonov, D.Sc. V.I. Babichev, D.Sc. B.Yu. Vladimirov,
D.Sc. D.P. Gasyuk, D.Sc. N.A. Ivanov, Ph.D. A.A. Karachev, D.Sc. V.A. Kezhaev, Ph.D. O.G. Lapuka,
D.Sc. A.I. Mikhaylin, Ph.D. A.N. Rogalev, Ph.D. A.M. Sazykin, D.Sc. O.A. Fin'ko, Ph.D. E.B. Kharchenko,
D.Sc. M.V. Chernyshov, Ph.D. S.V. Chvarkov*

**Подписной индекс 41271 в объединенном каталоге «Пресса России»
Журнал включен в систему Российского индекса научного цитирования
и размещен на сайте Научной Электронной Библиотеки**

Учредители и издатели: ФГУП «ВНИИ «Центр»
Адрес: 123242, г. Москва, ул. Садовая-Кудринская, дом 11, стр. 1
АО «НПО Спецматериалов»
Адрес: 195277, Санкт-Петербург, Большой Сампсониевский пр., 28А, литера Б

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77 - 81076 от 02.06.2021,
Федеральная служба по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций
(Роскомнадзор)

© ВНИИ «Центр», 2025
© АО «НПО Спецматериалов», 2025

УДК 519.711.3

doi: 10.53816/23061456_2025_5–6_3

**КИБЕРНЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ
ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДОЛЖНОСТНЫМИ ЛИЦАМИ ОРГАНОВ
УПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ МНОВОВАРИАНТНОСТИ БОЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ**

**CYBERNETIC ASPECTS OF INFORMATION SUPPORT FOR DECISION-
MAKING BY GOVERNMENT OFFICIALS IN CONDITIONS OF MULTIPLE
COMBAT OPERATIONS**

Д-р техн. наук В.А. Кежаев

D.Sc. V.A. Kezaev

Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского

Рассматриваются кибернетические аспекты информационной поддержки принятия решений в ходе высокодинамичных боевых действий. Приведено вербальное описание и математическая модель нелинейной задачи на основе минимаксного критерия. Обосновано применение комбинаторного метода к решению сформулированной задачи в интересах информационной поддержки решений, принимаемых в условиях многовариантности боевых действий. Предложен вариант реализации метода динамического программирования в составе специального математического и программного обеспечения автоматизированных рабочих мест должностных лиц органов управления. Выбор метода динамического программирования обосновывается несколькими причинами. Во-первых, данный метод относится к переборным (точным) методам математического программирования. Во-вторых, он обладает преимуществами: перебор происходит не полный, а сокращенный и направленный. Благодаря этим особенностям метод динамического программирования достаточно удобен для решения многовариантных задач управления.

Ключевые слова: математическая модель, комбинаторная задача, информационная поддержка, минимаксный критерий, динамическое программирование, автоматизированное рабочее место.

The cybernetic aspects of information support for decision-making during highly dynamic combat operations are considered. A verbal description and a mathematical model of a nonlinear problem based on a minimax criterion are given. The application of the combinatorial method to the solution of the formulated problem is justified in the interests of information support for decisions made in conditions of multivariate warfare. A variant of the implementation of the dynamic programming method as part of special mathematical and software for automated workplaces of government officials is proposed. The choice of the dynamic programming method is justified for several reasons. Firstly, this method refers to the direct search methods (exact) of mathematical programming. Secondly, it has advantages: the search is not complete, but shortened and directed. Due to these features, the dynamic programming method is quite convenient for solving multidimensional control problems.

Ключевые слова: mathematical model, combinatorial problem, information support, minimax criterion, dynamic programming, automated workplace.

Основу управления в системах военного назначения составляет решение, принимаемое командиром. Чтобы решения были обоснованными, соответствующие начальники, руководители служб представляют ему свои предложения и рекомендации. Очевидно, что при выработке предложений с кибернетической точки зрения, они также принимают решения по результатам всестороннего анализа многовариантности ситуации на поле боя [1–4].

В настоящее время обоснование решений, как правило, осуществляется на основе знаний, личного опыта и интуиции лиц, которые участвуют в этом процессе. В некоторых случаях они используют результаты решения простейших расчетных и информационных задач [5, 6]. Однако модели комбинаторных задач ввиду многовариантности решений, необходимости анализа больших объемов информации и существенных затрат времени, к сожалению, обычно не используются. Кроме того, в составе специального математического и программного обеспечения автоматизированных систем управления [7, 8]: во-первых, не всегда имеются оптимизационные модели задач такой сложности; во-вторых, отсутствуют реализации эффективных методов их решения во всем диапазоне боевых условий.

Поэтому вырабатываемые решения, как правило, далеки от совершенства, требуют дополнительного обоснования и уточнения. Однако на доработку решений необходимо затрачивать большие усилия, изыскивать ресурсы и время. В результате по оперативности реакции на быстрые изменения боевой обстановки принимаемые решения не соответствуют современным требованиям к управлению. Такие решения затрудняют реализацию одного из основных принципов современных боевых действий — управление в режиме времени, близком к реальному [9]. Следовательно, необходимость поиска путей преодоления возникших проблем в данной области приобретает особую актуальность.

Методический подход к организации информационной поддержки принятия решений

Проблема обоснования решений имеет универсальный, всеобъемлющий характер. Она возникает практически в любой сфере целена-

правленной деятельности органов управления и составляет ее принципиальную сущность. Особенно актуальна проблема принятия решений применительно к сложным процессам, характерным для условий боевой обстановки. Процессы создания и использования сложных систем управления связаны с необходимостью принимать большое количество решений, касающихся как системы в целом, так и отдельных ее подсистем и элементов [5, 9].

В предметной области управления войсками и оружием эти решения могут иметь теоретический, методический, информационный, технический, организационный и тому подобный характер. Поэтому частные решения, вырабатываемые должностными лицами органов управления, должны приниматься с позиций системного подхода, то есть с учетом всех существенных связей и взаимосвязей данной подсистемы или элемента с другими элементами системы, и должны быть также обоснованными.

В современных условиях принятие решения, не вполне соответствующего общим интересам системы или недостаточно обоснованного, ведет, как правило, к тяжелым последствиям, в частности к срыву выполнения боевой задачи, к большим потерям вооружения и военной техники [3, 5]. Без преувеличения можно сказать, что проблема принятия решений является центральной проблемой управления объектами и процессами любой сложности и особенно в ходе динамичных боевых действий.

Для решения возникших проблем предлагается использовать возможности автоматизированных рабочих мест (АРМ) должностных лиц органов управления. Опыт показывает, что применяются эти средства не всегда по назначению или не эффективно. Поэтому специальное математическое и программное обеспечение имеющихся АРМ предлагается доработать и использовать его для решения всего спектра боевых задач во всем диапазоне условий их применения. Естественно, для каждого уровня и звена управления следует учитывать специфику конкретных задач управления и особенности функций управления. В этом случае возможно достижение основной цели — обеспечить соответствующим должностным лицам органов управления принятие обоснованных решений в пределах своей компетенции.

В качестве примера рассмотрим сущность обоснования решений, основывающихся на использовании достаточно широкого класса моделей минимаксных задач исследования операций. Для иллюстрации особенностей и порядка решения задачи используем эпизод боевых действий с участием условного формирования.

На одном из этапов боевых действий формирование в составе X средств поражения должно участвовать в мероприятиях, связанных с выполнением K специальных задач.

Известны варианты $\vartheta(x_k)$ выполнения специальных задач с номерами $k, k = \overline{1, K}$.

Требуется найти такой план выполнения всех мероприятий, предусмотренных соответствующими документами, реализация которого позволит минимизировать общее время T выполнения всех задач при следующих условиях:

- выполнение всех задач средствами поражения должно начинаться одновременно;
- обмен средствами поражения в ходе выполнения задач не допускается.

Исходные данные целесообразно представить в виде таблицы, табл. 1.

Примечание.

Каждый вариант характеризуется количеством средств поражения x_k , необходимых для выполнения соответствующей задачи, и временем ее выполнения $t(x_k)$.

Количество вариантов выполнения каждой специальной задачи, как правило, разное.

Чем больше средств поражения выделяется для реализации варианта выполнения специальной задачи, тем меньше времени требуется для его реализации.

На основе вербальной постановки задачи разрабатываем ее математическую модель. Общее время выполнения всех задач развертывания T_Σ будет определяться временем выполнения той задачи, которая завершится позже всех.

Поэтому целевую функцию для этого случая представим в виде выражения

$$T_\Sigma = \max_k \{t(x_k)\}.$$

Под планом выполнения всех мероприятий, предусмотренных соответствующими документами, будем понимать такие значения переменных $x_k, k = \overline{1, K}$, совокупность которых позволит определить наименьшее время T выполнения всех задач при условии, что будут задействованы не более T средств поражения.

Следовательно, в процессе решения необходимо выбрать для каждой задачи такие значения $x_k, k = \overline{1, K}$, при которых величина T будет минимальной (1), то есть

$$T = \min_{x_k} \max_k \{t(x_k)\} \quad (1)$$

при выполнении условия

$$\sum_{k=1}^K x_k \leq X. \quad (2)$$

Так как задача является нелинейной многовариантной, то для ее решения целесообразно воспользоваться одним из комбинаторных методов.

Следует отметить, что сформулированная задача не является тривиальной. Действительно, если по каждой задаче (табл. 1) выбрать вариант с минимальным временем, то получаем недопустимое решение, поскольку будет нарушено условие (2). Напомним, что для реализации варианта с минимальным временем требуется наибольшее количество средств поражения.

Поэтому, в общем случае, для решения задачи в условиях многовариантности боевых действий следует использовать один из методов решения комбинаторных задач, например метод ветвей и границ, метод последовательного анализа

Таблица 1

Исходные данные задачи выполнения плана мероприятий

Номера задач, k											
1			2			...			K		
$\vartheta(x_1)$	x_1	$t(x_1)$	$\vartheta(x_2)$	x_2	$t(x_2)$	...	...	...	$\vartheta(x_K)$	x_K	$t(x_K)$
1			1						1		

вариантов, метод динамического программирования и т.д. [5, 6, 10].

Воспользуемся методом динамического программирования [5], который может быть достаточно просто реализован и адаптирован для включения в состав специального математического и программного обеспечения АРМ. Безусловно, принимая во внимание «проклятие размерности», которым сопровождается применение данного метода, необходимо учитывать возрастание требований к объему оперативной памяти. Тем не менее воспользуемся следующими преимуществами данного метода:

– метод динамического программирования по определению является точным;

– перебор вариантов на каждом шаге решения не полный, а, во-первых, сокращенный и, во-вторых, направленный;

– вычислительные возможности АРМ будут использоваться наиболее эффективно, поскольку вместо сложной многомерной исходной задачи решается множество простых (с вычислительной точки зрения) одномерных задач.

Учитывая особенность данного метода, необходимо на основе анализа целевой функции (1) и ограничения (2) записать функциональное уравнение

$$f_k(X_k) = \min_{x_k} \left\{ \max \left[f_{k-1}(X_k - x_k); t(x_k) \right] \right\};$$

$$\sum_{k=1}^K x_k \leq X_k;$$

$$0 \leq X_k \leq X, \quad k = 1, 2, \dots, K.$$

Принимаем во внимание также то, что решение функционального уравнения можно осуществлять аналитически, графически или табличным способом. Поэтому для удобства реализации метода целесообразно переписать функциональное уравнение в следующем виде:

$$f_k(X_k) = \min_{x_k} \left\{ \max \left[f_{k-1}(X_{k-1}); t(x_k) \right] \right\};$$

$$X_{k-1} + x_k \leq X_k;$$

$$0 \leq X_k \leq X, \quad k = 1, 2, \dots, K.$$

После таких преобразований можно приступить к непосредственному решению функционального уравнения (к решению зада-

чи методом динамического программирования) по шагам.

При этом следует учитывать, что решение сформулированной задачи методом динамического программирования предполагает реализацию двух процедур:

– процедуру «прямого хода», выполнение которой позволит найти T — минимальное время выполнения всех задач;

– процедуру «обратного хода», выполнение которой позволит найти собственно решение исходной задачи, то есть определить конкретные значения x_k — количество средств поражения, необходимых для решения каждой k -й задачи. По величине x_k определяем вариант выполнения $\vartheta(x_k)$ k -й задачи и оптимальное время ее выполнения $t(x_k)$.

Ценность применения данного подхода заключается в том, что кроме оптимального результата лицо, принимающее решение, получает возможность выбирать рациональный вариант из числа полученных на последнем шаге решения. Исходя из конкретных условий боевой обстановки, командир, опираясь на свои знания и анализируя оптимальную последовательность $\{f_k(x_k), X_k\}$, может выбрать и иное решение на выполнение задач (рациональное решение). Например, используя личный опыт, командир может выбрать план, отличающийся по критерию T от оптимального варианта. В этом случае он может сэкономить и создать определенный резерв средств поражения для решения внезапно возникающих и неплановых задач.

Несмотря на многообразие задач, возникающих в области управления, технология обоснования решений, условия применения этой технологии для обоснования решений имеют принципиальную общность. Так, ситуацию, в которой происходит обоснование решений, характеризует совокупность объективных и субъективных факторов, часть которых приведена в табл. 2.

Указанные факторы накладывают существенные ограничения на возможности достижения поставленной цели и выполнение боевой задачи. Более того, в условиях боевой обстановки ситуация очень быстро меняется. Положение усугубляется тем, что в боевых условиях существенно возрастает объем и характер информации,

Факторы, затрудняющие процесс обоснования решений в ходе боевых действий

№ п.п.	Факторы	Характеристика факторов	Примечания
1.	Трудность решения	Сложность поиска наилучшего решения и неоднозначность результатов решения, в зависимости от выбранного критерия	Объективный фактор
2.	Размерность задачи	Большая размерность прикладных задач предметной области управления	Объективный фактор
3.	Сложность боевой ситуации	Трудность описания ситуации, в которой требуется принятие решения	Объективный фактор
4.	Необходимость специальных знаний	Необходимость специальных знаний для формализации задачи с целью последующего использования вычислительных средств	Субъективный фактор
5.	Наличие соответствующих умений и навыков	Потребность в умениях и навыках, позволяющих выбрать наиболее приемлемый метод решения задачи в условиях многовариантности исходной информации	Субъективный фактор
6.	Распределение функций управления	Необходимость в слаженной работе должностных лиц органов управления — рациональное распределение функций управления между оперативным и инженерно-техническим составом в процессе обоснования решений	Субъективный фактор

которая является, как правило, разнородной и разнородной [11, 12]. В условиях большой неопределенности психофизиологические возможности человека не позволяют командиру оперативно реагировать на такие изменения и принимать адекватные решения.

Очевидно, что отсутствие ограничений упрощает задачу принятия решения, однако такие ситуации встречаются на практике крайне редко. Поэтому необходимо использовать методы количественных оценок для обоснования и нахождения оптимальных решений, характерных для соответствующего должностного лица органа управления.

Заключение

Таким образом, кибернетические аспекты информационной поддержки принятия решений должностными лицами органов управления необходимо использовать в практике управления войсками и оружием. Знание научно-методических основ поддержки принятия решений должностными лицами органов управления в боевых условиях на основе моделей многовариантных задач позволяет командиру творчески решать сложные зада-

чи во всем диапазоне условий их реализации. Поэтому необходимо:

- полнее и эффективнее использовать разнородную и разнородную информацию, которая с большим трудом добывается в ходе боевых действий [12];

- грамотно сочетать творческие аналитические способности человека и огромные вычислительные возможности современных автоматизированных систем управления при обосновании решений, принимаемых во всем диапазоне условий ведения боевых действий.

При этом следует помнить, что окончательное решение принимает командир с учетом тех особенностей, которые невозможно предусмотреть в процессе формализации исходной задачи. Поэтому вопросы информационной поддержки принятия решений должны быть постоянно в центре внимания должностных лиц органов управления всех уровней и звеньев.

Список источников

1. Военная доктрина Российской Федерации // Российская газета. Федеральный выпуск № 6570 (298). – 2014. – 30 декабря.

2. Герасимов В.В. Организация обороны Российской Федерации в условиях применения противником «традиционных» и «гибридных» методов ведения войны // Вестник Академии военных наук. 2016. № 2. С. 19–24.

3. Кежаев В.А., Кулешов Ю.В., Суровикин С.В. Актуальные проблемы развития теории управления группировками войск (сил) в интересах повышения эффективности огневого поражения противника с целью локализации международного вооруженного конфликта // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2018. № 1 (100). С. 24–32.

4. Выпасняк В.И. О реализации сетцентрических принципов управления силами и средствами вооруженной борьбы в операциях (боевых действиях) // Военная мысль. 2009. № 12. С. 23–30.

5. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология: учеб. пособие. 5-е изд. М.: КНОРУС, 2013. 192 с.

6. Калинин В.Н. Теоретические основы системных исследований: учебник. СПб.: Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского, 2016. 291 с.

7. Войцеховский С.В., Калинин С.В. Архитектура и программное обеспечение современных компьютерных систем и сетей войск ВКО: учеб.-методическое пособие. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2013. 352 с.

8. Кузнецов Н., Расчислов А. Некоторые аспекты совершенствования системы управления общевойскового формирования нового облика // Военная мысль. 2010. № 6. С. 11–15.

9. Москвин Б.В. Теория принятия решений при управлении военно-техническими системами: учеб. пособие. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2016. 154 с.

10. Алексеев О.Г., Кежаев В.А., Субботин А.И. Об одной специальной задаче целочисленного программирования // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. 1986. № 4. С. 16–20.

11. Мануйлов Ю.С., Новиков Е.А. Концептуальные основы управления в условиях неопределенности. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2008. 121 с.

12. Левкин И.М. Комплексная обработка информации: монография. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2011. 271 с.

References

1. Military doctrine of the Russian Federation // Rossiyskaya gazeta. 30.12.2014. No 6570 (298).

2. Gerasimov V.V. The organization of defense of the Russian Federation in the conditions of the enemy's use of «traditional» and «hybrid» methods of warfare // Bulletin of the Academy of Military Sciences. 2016. No 2. Pp. 19–24.

3. Kezhaev V.A., Kuleshov Yu.V., Surovkin S.V. Actual problems of the development of the theory of control of groups of troops (forces) in the interests of increasing the effectiveness of enemy fire damage in order to localize an international armed conflict // Izvestia of the Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences. 2018. No 1 (100). Pp. 24–32.

4. Vypasnjak V.I. On the implementation of network-centric principles of control of forces and means of armed struggle in operations (combat operations) // Military Thought. 2009. No 12. Pp. 23–30.

5. Wentzel E.S. Operations research: tasks, principles, methodology: textbook. 5th ed. M.: KNORUS, 2013. 192 p.

6. Kalinin V.N. Theoretical foundations of system research: textbook. St. Petersburg: VKA named by A.F. Mozhaisky, 2016. 291 p.

7. Voitsekhovskiy S.V., Kalinichenko S.V. Architecture and software of modern computer systems and networks of East Kazakhstan Region troops: an educational and methodological manual. St. Petersburg: VKA named by A.F. Mozhaisky, 2013. 352 p.

8. Kuznetsov N., Raschislov A. Some aspects of improving the management system of the combined arms formation of a new look // Military thought. 2010. No 6. Pp. 11–15.

9. Moskvina B.V. The theory of decision-making in the management of military-technical systems: a textbook. St. Petersburg: VKA named by A.F. Mozhaisky, 2016. 154 p.

10. Alekseev O.G., Kezhaev V.A., Subbotin A.I. On a special problem of integer programming // Izvestia of the USSR Academy of Sciences. Technical cybernetics. 1986. No. 4. Pp. 16–20.

11. Manuilov Yu.S., Novikov E.A. Conceptual foundations of management in conditions of uncertainty. St. Petersburg: VKA named by A.F. Mozhaisky, 2008. 121 p.

12. Levkin I.M. Complex information processing: monograph. St. Petersburg: VKA named by A.F. Mozhaisky, 2011. 271 p.

УДК 621.396.67

doi: 10.53816/23061456_2025_5–6_9

**МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА
РАДИОЛИНИИ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ БАЗОВОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ
С СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ НАГРУЗКАМИ**

**A TECHNIQUE FOR INCREASING THE ENERGY POTENTIAL OF A RADIO
LINK BY USING A BASE EMITTER WITH CONCENTRATED LOADS**

А.А. Шмидт

A.A. Shmidt

Военная академия связи им. С.М. Буденного

В настоящей работе представлен усовершенствованный методический аппарат синтеза антенных систем с сосредоточенными нагрузками, основанный на применении адаптивных генетических алгоритмов. Для оценки характеристик излучателей, получаемых в процессе выполнения генетического алгоритма, используется метод моментов, где сосредоточенные нагрузки учтены дельта-функцией Дирака. Предложена методика кодирования антенн с нагрузками, механизмы адаптивной настройки параметров генетического алгоритма и специализированные операторы для работы с антенными системами. Теоретически обоснована возможность расширения рабочей полосы частот антенных систем при сохранении требуемых характеристик излучения за счет использования предложенного методического аппарата. Результатом применения данного методического аппарата может быть оптимизация как отдельных излучателей, так и излучателей в составе фазированной антенной решетки (ФАР) и активная ФАР (АФАР).

Ключевые слова: сеть радиосвязи, генетический алгоритм, широкополосность антенн, метод моментов, адаптивные генетические операторы.

This paper presents an improved methodological apparatus for the synthesis of antenna systems with concentrated loads, based on the use of adaptive genetic algorithms. To evaluate the characteristics of the radiators obtained during the execution of the genetic algorithm, the method of moments is used, where concentrated loads are taken into account by the Dirac delta function. A method for encoding antennas with loads, mechanisms for adaptive parameter tuning of the genetic algorithm, and specialized operators for working with antenna systems are proposed. Theoretically, the possibility of expanding the operating frequency band of antenna systems while maintaining the required radiation characteristics is substantiated through the use of the proposed methodological framework. The result of the application of this methodological apparatus can be both optimization of individual radiators and radiators as part of headlamps and arrays.

Keywords: radio communication network, genetic algorithm, antenna broadband, method of moments, adaptive genetic operators.

В современных сетях радиосвязи существует потребность в широкополосных антеннах с улучшенными относительно выпускаемых серийно изделий характеристиками. Особый интерес представляют антенны с сосредоточенными нагрузками, позволяющие достичь широкополосности при сохранении компактных размеров и без существенного повышения сложности их производства. Однако проектирование таких антенн представляет собой достаточно сложную многопараметрическую задачу оптимизации, требующую эффективных методов поиска оптимальных решений [1].

Традиционные методы оптимизации, основанные на градиентных алгоритмах или прямом поиске, зачастую оказываются неэффективными при решении подобных задач из-за их многоэкстремальности и сложной топологии пространства поиска. В связи с этим все большее распространение получают эволюционные методы оптимизации, в частности генетические алгоритмы (ГА), способные осуществлять глобальный поиск в сложных многомерных пространствах [1–3].

Однако применение классических генетических алгоритмов к задачам оптимизации антенн сопряжено с рядом существенных проблем. Во-первых, существующие методы кодирования антенных структур не в полной мере учитывают специфику задачи, что снижает эффективность эволюционного поиска. Во-вторых, использование фиксированных параметров алгоритма не позволяет адекватно реагировать на изменение ландшафта целевой функции в процессе оптимизации. В-третьих, стандартные операторы генетического алгоритма не учитывают особенности проектирования антенных систем.

Целью настоящей работы является повышение эффективности процесса оптимизации антенных систем путем разработки и применения усовершенствованного методического аппарата на основе адаптивных генетических алгоритмов. Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- разработка эффективного и однозначно воспринимаемого ЭВМ представления излучателей с сосредоточенными нагрузками для применения генетических алгоритмов;
- создание адаптивных операторов генетического алгоритма с учетом специфики оптимизации антенн;

– уточнение способов проверки особей на соответствие значениям целевой функции.

Генетические алгоритмы представляют собой эффективный метод оптимизации, основанный на принципах эволюции и естественного отбора.

В контексте проектирования антенн задача оптимизации состоит в определении оптимальных типов, значений и расположения нагрузок, а также параметров согласующей цепи для достижения требуемых характеристик в заданном диапазоне частот (рис. 1).

Классические генетические алгоритмы могут сталкиваться с проблемами преждевременной сходимости или медленной конвергенции при решении сложных задач оптимизации антенн [2]. Для преодоления этих ограничений разработан адаптивный ГА, увеличивающий вероятность скрещивания и мутации для особей с низкой приспособленностью, способствуя исследованию пространства поиска, и уменьшает их для особей с высокой приспособленностью, сохраняя хорошие решения.

С целью создания наглядного отображения всех параметров излучателя с сосредоточенными нагрузками, а также для обеспечения взаимно-однозначного соответствия между физическими параметрами антенны и их генетическим представлением, уточнена методика кодирования особей в виде битовой последовательности.

Процесс кодирования реализуется тремя уровнями. На самом нижнем уровне находятся гены — элементарные единицы наследственной информации, кодирующие отдельные характеристики нагрузок. Под описание каждого параметра (тип нагрузки, тип контура и номиналы компонентов) выделяется трехбитовое поле.

Следующий уровень формирует хромосомы, описывающие отдельные узлы антенной структуры. Каждая хромосома представляет собой упорядоченную последовательность генов, полностью характеризующую параметры нагрузки в конкретном узле. Например, для параллельного RLC-контура хромосома будет содержать информацию о типе контура, значениях сопротивления, индуктивности и емкости.

На высшем уровне формируется особь — полное описание антенной структуры, включающее информацию о количестве узлов и последовательность хромосом, описывающих каждый узел. Бинарное представление особи начинается

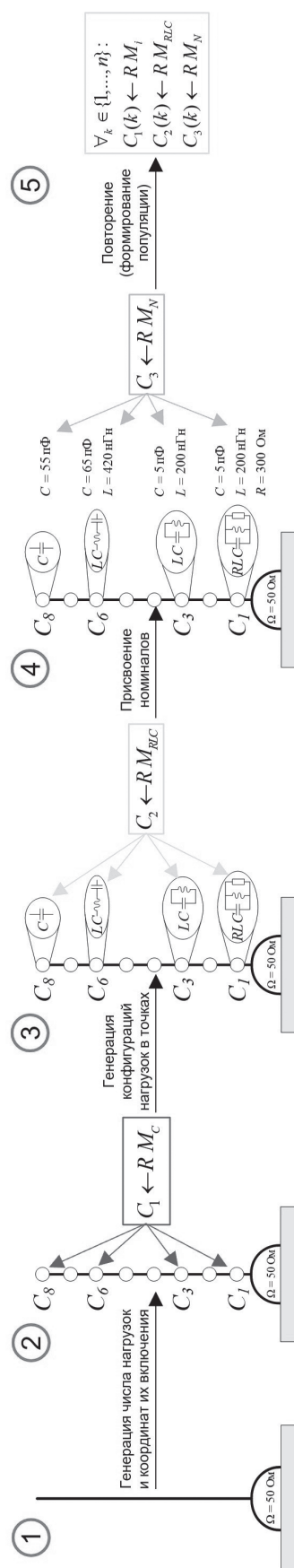


Рис. 1. Формирование особи и механизм формирования популяции

с указания числа узлов, за которым следуют закодированные параметры всех нагрузок. При этом суммарная длина битовой строки, описывающей одну особь, определяется количеством и типом используемых нагрузок (рис. 2).

Такая иерархическая организация генетического кода обеспечивает эффективную работу операторов скрещивания и мутации, позволяя им корректно обрабатывать структурированную информацию об антенной системе в процессе оптимизации.

Механизм формирования начальной популяции для генетического алгоритма изображен на блок-схеме (рис. 3).

В рамках данной работы существенное значение имеет корректное формирование целевой функции и реализация механизмов селекции, обеспечивающих эффективное исследование пространства возможных решений.

При решении задачи оптимизации широкополосного базового излучателя необходимо учитывать комплексный характер требований к его характеристикам [3]. Задача оптимизации учитывает несколько критериев, таких как ко-

эффициент стоячей волны (КСВ) излучателя, его коэффициент усиления G и ширину полосы пропускания BW :

$$\begin{cases} Q_1(x) = \frac{1}{\text{КСВ}_{\text{расч}}} \rightarrow \max Q_1(x), \text{КСВ} \in (1; +\infty); \\ Q_2(x) = G_{\text{ШПБИ}} \rightarrow \max Q_2(x); \\ Q_3(x) = BW_{\text{ШПБИ}} \rightarrow \max Q_3(x). \end{cases}$$

Для определения приоритетного критерия в каждом конкретном случае предлагается использовать интегральный критерий качества, формируемый на основе взвешенной суммы частных показателей:

$$f(x_i) = w_1 Q_1(x) + w_2 Q_2(x) + w_3 Q_3(x).$$

Для оценки характеристик излучателей, получаемых в процессе генетической оптимизации, используется модифицированный метод моментов, основанный на решении интегрального уравнения электрического поля [4, 5]. Принципиальной особенностью предложенного подхода является введение дополнительного члена,

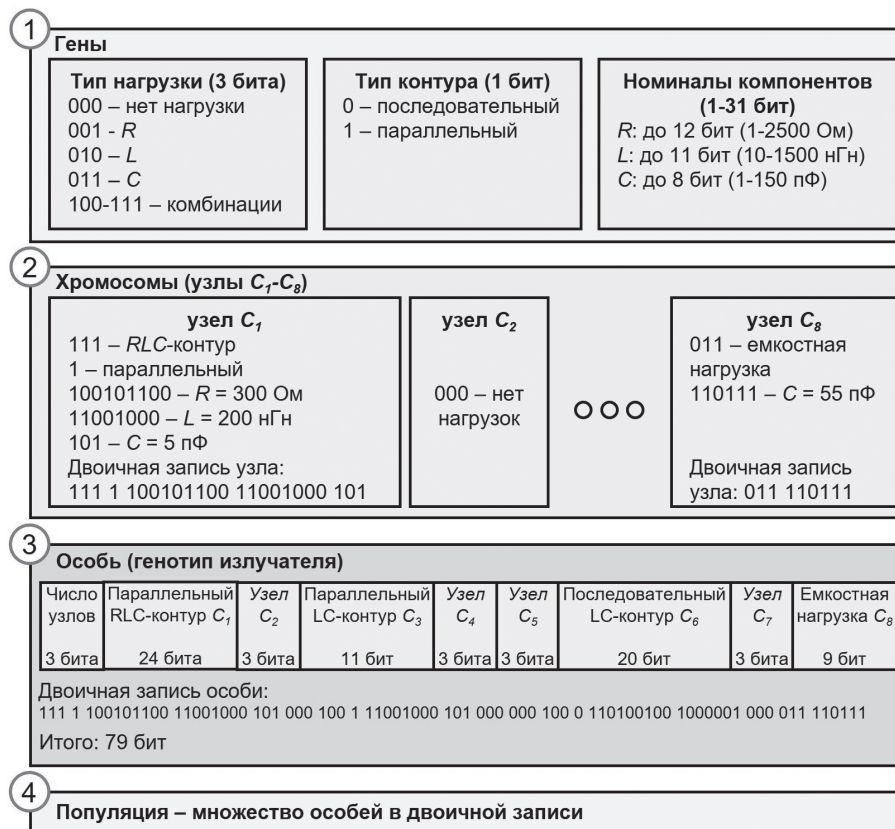


Рис. 2. Генетическое кодирование особи, изображенной на рис. 1



Рис. 3. Механизм формирования начальной популяции для генетического алгоритма

строого описывающего влияние сосредоточенных нагрузок:

$$\vec{E}_i(\vec{r}) = \vec{A}(\vec{r}) + \nabla\Phi(\vec{r}) + \sum_{i=1}^M Z_i \delta(\vec{r} - \vec{r}_i) I(\vec{r}) \hat{l},$$

где $\vec{A} = -j\omega\mu_0 \int \frac{e^{-jk|\vec{r}-\vec{r}'|}}{4\pi|\vec{r}-\vec{r}'|} I(\vec{r}') \hat{l} dl'$ — векторный магнитный потенциал;

$$\Phi = \frac{1}{j\omega\epsilon_0} \nabla \cdot \int \frac{e^{-jk|\vec{r}-\vec{r}'|}}{4\pi|\vec{r}-\vec{r}'|} I(\vec{r}') \hat{l} dl' \quad \text{— скаляр-}$$

ный электрический потенциал;

$\sum_{i=1}^M Z_i \delta(\vec{r} - \vec{r}_i) I(\vec{r}) \hat{l}$ — влияние сосредоточенных нагрузок.

Использование дельта-функции Дирака для описания вклада сосредоточенных нагрузок в интегральное уравнение не только обеспечивает математическую строгость решения, но и приводит к более точным результатам при численном моделировании, особенно в случаях с множественными нагрузками различных типов (R , L , C и

их комбинации) [6]. В отличие от кусочно-постоянных аппроксимаций или методов эквивалентных схем, использование дельта-функции позволяет избежать искусственного «размазывания» нагрузок по длине антенны и связанных с этим погрешностей в расчете входного импеданса и распределения тока. Более того, такой подход естественным образом интегрируется в метод моментов, что упрощает численную реализацию и повышает вычислительную эффективность алгоритма при сохранении высокой точности результатов.

При решении интегрального уравнения методом моментов, ток в структуре антенны представляется в виде разложения по базисным функциям:

$$I(\vec{r}) = \sum_{n=1}^N I_n f_n(\vec{r}).$$

Для получения системы линейных уравнений применяется процедура тестирования ме-

тодом Галеркина, при которой в качестве тестовых функций используются те же функции, что и в разложении тока:

$$f_m = f_n;$$

$$\int f_m(\vec{r}) \cdot \vec{E}_i(\vec{r}) = \sum_{n=1}^N I_n \left(\int f_m(\vec{r}) \cdot [A_n - \nabla \Phi] dl \right).$$

Применение такого подхода позволяет свести интегральное уравнение к системе линейных алгебраических уравнений, записанной в матричной форме:

$$[Z_{mn}] [I_n] = [V_m].$$

При этом матрица импедансов включает две составляющих: электромагнитную составляющую и составляющую, обусловленную наличием сосредоточенных нагрузок в полотне излучателя:

$$[Z_{mn}] = [Z_{mn}^{\text{ЭМ}}] + [Z_{mn}^{\text{нагр}}].$$

После решения системы линейных алгебраических уравнений и определения распределения тока вдоль полотна излучателя становится возможным вычисление основных характеристик антенны, необходимых для оценки качества полученного решения.

Входной импеданс антенны в точке питания определяется отношением напряжения к току:

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = R_{in} + jX_{in},$$

где R_{in} и X_{in} — активная и реактивная составляющие входного импеданса соответственно.

Коэффициент отражения на входе излучателя определяется по формуле:

$$\Gamma = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0},$$

где Z_0 — характеристическое сопротивление питающей линии (обычно 50 или 75 Ом).

Коэффициент стоячей волны излучателя вычисляется как:

$$\text{КСВ} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}.$$

Коэффициент усиления излучателя вычисляется следующим образом:

$$G(\theta, \varphi) = \frac{4\pi U(\theta, \varphi)}{P_{in}},$$

где $U(\theta, \varphi)$ — интенсивность излучения в заданном направлении, а P_{in} — мощность, подводимая к излучателю.

Критерий широкополосности излучателя оценивается как:

$$BW = \frac{2(f_2 - f_1)}{f_2 + f_1},$$

где f_1 — нижняя граничная частота рабочего диапазона;

f_2 — верхняя граничная частота рабочего диапазона при выполнении условий:

$$\begin{cases} \text{КСВ}(f) \leq \text{КСВ}_{\text{доп}}, f \in [f_1, f_2]; \\ G(f) \geq G_{\text{мин}}, f \in [f_1, f_2]. \end{cases}$$

Эффективность генетического алгоритма во многом определяется корректной реализацией генетических операторов и их адаптацией к специфике решаемой задачи. В контексте оптимизации антенных систем особую важность приобретает сохранение физического смысла производимых изменений при одновременном обеспечении достаточного разнообразия генетического материала [6].

Процесс оптимизации реализуется как итеративная процедура, включающая 7 этапов.

1 этап заключается в оценке приспособленности популяции. Для каждой особи вычисляется значение целевой функции $f(x_i)$.

На 2 этапе осуществляется проверка критериев останова генетического алгоритма. Такими критериями могут быть: достижение максимального числа поколений, достижение требуемого значения целевой функции, отсутствие улучшений особей в течение определенного числа поколений.

При невыполнении критерия останова реализуется 3 этап — инициализируется счетчик пар родителей и начинается процесс формирования нового поколения. Вероятность выбора особи для скрещивания определяется ее приспособленностью:

$$P(x_i) = \frac{f(x_i)}{\sum_{i=1}^N f(x_j)},$$

где $f(x_j)$ — функция приспособленности j -й особи.

На 4 этапе происходит применение к получившимся парам генетических операторов скрещивания и мутации.

Вероятность скрещивания и мутации в классических генетических алгоритмах задается заранее и неизменна на протяжении как минимум одной его итерации. Однако в данной работе предлагается применить динамическое управление вероятностью скрещивания и мутации в зависимости от степени приспособленности особей. Реализовать такой подход можно следующим образом. Для особей с высокой приспособленностью (элитная группа) вероятность скрещивания вычисляется по формуле:

$$P_c = k_1 \frac{f_{\max} - f'}{f_{\max} - f_{\text{cp}}},$$

где $f_{\max}$ — максимальное значение целевой функции в текущей популяции;

f' — большее из значений целевой функции родительской пары;

f_{cp} — среднее значение целевой функции по популяции;

k_1 — коэффициент настройки, который выбирается исследователем.

Физический смысл такой адаптации заключается в том, что чем ближе родительские особи к оптимальному решению, тем меньше вероятность их скрещивания. Это позволяет сохранить хорошие решения от разрушения при скрещивании.

Для особей со средней и низкой приспособленностью применяется фиксированная вероятность скрещивания:

$$P_c = k_2,$$

где k_2 — коэффициент настройки, обычно принимается равным 0,5. Это обеспечивает активное исследование пространства поиска для менее успешных решений.

Схожим образом в работе реализован механизм адаптивной корректности вероятности мутации. Для особей с высоким уровнем приспособленности мутация не требуется. Для особей со средним уровнем приспособленности:

мутация не требуется. Для особей со средним уровнем приспособленности:

$$P_m = k_3 \frac{f_{\max} - f}{f_{\max} - f_{\text{cp}}},$$

где f — значение целевой функции для мутирующей особи;

k_3 — коэффициент настройки (обычно выбираются значения в пределах 0,02–0,1).

Для особей с низкой приспособленностью применяется повышенная вероятность мутации:

$$P_c = k_4,$$

где k_4 — коэффициент настройки (обычно выбирается равным 0,2).

5 этап представляет собой реализацию механизма контроля за разнообразием популяции, который в данной работе реализуется как:

$$D(t) = -\sum_{i=1}^M p_i(t) \log_2 p_i(t), \quad (1)$$

где $p_i(t)$ — относительная частота встречаемости i -го генотипа в популяции на момент времени t .

На основе (1) производится динамическая коррекция размера популяции:

$$N(t+1) = N(t) \cdot \left[1 + \beta \frac{D_0 - D(t)}{D_0} \right],$$

где $N(t)$ — размер популяции в момент времени t ;
 D_0 — целевое значение разнообразия популяции;

β — коэффициент адаптации.

Такой комплексный подход к адаптивной настройке параметров генетического алгоритма обеспечивает баланс между использованием найденных хороших решений и исследованием новых областей пространства поиска, что особенно важно при решении задачи оптимизации с множеством локальных экстремумов целевой функции.

Механизм предотвращения преждевременной сходимости реализуется на 6 этапе оптимизации.

Преждевременная сходимость является одной из ключевых проблем генетических алгоритмов при решении многоэкстремальных за-

дач. Для решения этой проблемы в работе реализован комплекс мер, ее минимизирующих.

В процессе эволюции популяция автоматически разбивается на кластеры на основе генетического расстояния между особями. Для каждой пары особей вычисляется мера их различия:

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^L w_k (x_{ik} - x_{jk})^2}, \quad (2)$$

где L — длина генетического кода;

w_k — весовые коэффициенты, учитывающие значимость различных участков кода;

x_{ik}, x_{jk} — значение k -го гена в особях i и j соответственно.

На основе этих расстояний формируются кластеры с помощью метода k -средних, причем число кластеров k адаптивно меняется в зависимости от состояния популяции:

$$k(t) = k_0 \cdot \left(1 - \frac{t}{T_{\max}}\right) + k_{\min}, \quad (3)$$

где k_0 — начальное число кластеров;

$T_{\max}$ — максимальное число поколений;

$k_{\min}$ — минимально допустимое число кластеров.

Формирование нового поколения происходит на 7 этапе, и этот этап во многом определяет эффективность генетического алгоритма в целом, поскольку именно здесь реализуется баланс между сохранением найденных перспективных решений и поддержанием необходимого уровня разнообразия популяции в последующих поколениях.

В основу механизма формирования нового поколения легла стратегия элитарного отбора. Суть ее заключается в безусловном сохранении определенной доли наиболее приспособленных особей текущей популяции. Математически это может быть представлено следующим образом:

$$E = \{x_i : f(x_i) \geq f_{\text{пор}}\},$$

где E — множество элитных особей;

$f(x_i)$ — значение целевой функции для i -й особи;

$f_{\text{пор}}$ — пороговое значение, определяемое как:

$$f_{\text{пор}} = f_{\max} - \alpha(f_{\max} - f_{\text{ср}}),$$

где α — коэффициент элитарности, принимаемый за 0,1.

Теоретические исследования и практический опыт [7] показывают, что сохранение именно 10 % лучших особей обеспечивает оптимальный баланс между скоростью сходимости алгоритма и сохранением генетического разнообразия популяции. Меньшее значение может привести к потере ценного генетического материала, в то время как большее значение способно вызвать преждевременную сходимость алгоритма к локальному экстремуму.

Далее происходит включение в популяцию особей, полученных в результате применения операторов скрещивания и мутации. Данный процесс реализуется на основе принципа пропорционального замещения [8, 9].

Завершающим этапом формирования нового поколения является реализация механизма поддержания генетического разнообразия популяции. Данный механизм предполагает включение в новую популяцию небольшого числа особей с относительно низкими значениями целевой функции, но обладающих уникальными генетическими характеристиками.

Отбор таких особей производится на основе критерия уникальности, описанного формулами (2), (3).

Такой подход обеспечивает сохранение в популяции потенциально перспективных комбинаций генов, которые могут оказаться полезными на последующих этапах оптимизации.

В рамках проведенного исследования был разработан и теоретически обоснован усовершенствованный методический аппарат синтеза широкополосных антенных систем с сосредоточенными нагрузками на основе адаптивных генетических алгоритмов. Теоретическая значимость работы заключается в развитии теории эволюционных вычислений применительно к задачам электродинамики. Практическая ценность состоит в совершенствовании основы для программно реализуемого автоматизированного проектирования широкополосных антенных систем.

Полученные результаты могут найти применение при разработке современных антенных систем различного назначения, в первую очередь — широкополосных антенн для систем связи.

Список источников

1. Емельянов В.В., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Теория и практика эволюционного моделирования. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 431 с.
2. Газизов Т.Т. Алгоритмическое и программное обеспечение для моделирования проводных антенн с сосредоточенными нагрузками: диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2008. 144 с.
3. Бородулин Р.Ю. Численные методы электродинамики: монография. СПб.: Военная академия связи им. С.М. Буденного, 2016. 180 с.
4. Бородулин Р.Ю. Конструкционный синтез электрически малых антенн: монография. СПб.: Военная академия связи им. С.М. Буденного, 2020. 179 с.
5. Вычислительные методы в электродинамике; под ред. Р. Митры. М.: Мир, 1977. 485 с.
6. Altman Z., Mittra R., Boag A. New designs of ultra wide-band communication antennas using a genetic algorithm // IEEE Antennas and Propagation Magazine. 1997. Vol. 45. Oct. Pp. 1494–1501.
7. Mattioni L., Marrocco G. Blade: A Broad-band Loaded Antenna Designer // IEEE Antennas and Propagation Magazine. 2006. Vol. 48. Oct. Pp. 120–129.
8. Mittra R., Chakravarty S., Yeo J. Application of micro-genetic algorithm (MGA) to a class of electromagnetic analysis and synthesis problems // IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. 2002. Vol. 1. Pp. 306–309.
9. Вирсански Э. Генетические алгоритмы на Python. М.: ДМК Пресс, 2020. 286 с.

Resources

1. Yemelyanov V.V., Kureichik V.V., Kureichik V.M. Theory and practice of evolutionary modeling. M.: FIZMATLIT, 2003. 431 p.
2. Gazizov T.T. Algorithmic and software for modeling wired antennas with concentrated loads: dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences. Tomsk: Tomsk State University of Control Systems and Radio Electronics, 2008. 144 p.
3. Borodulin R.Y. Numerical methods of electrodynamics: monograph. Saint Petersburg: S.M. Budyonny Military Academy of Communications, 2016. 180 p.
4. Borodulin R.Y. Structural synthesis of electrically small antennas: monograph. Saint Petersburg: S.M. Budyonny Military Academy of Communications, 2020. 179 p.
5. Computational methods in electrodynamics; edited by R. Mitra. Moscow: Mir Publ., 1977. 485 p.
6. Altman Z., Mittra R., Boag A. New designs of ultra wide-band communication antennas using a genetic algorithm // IEEE Antennas and Propagation Magazine. 1997. Vol. 45. Oct. Pp. 1494–1501.
7. Mattioni L., Marrocco G. Blade: A Broad-band Loaded Antenna Designer // IEEE Antennas and Propagation Magazine. 2006. Vol. 48. Oct. Pp. 120–129.
8. Mittra R., Chakravarty S., Yeo J. Application of micro-genetic algorithm (MGA) to a class of electromagnetic analysis and synthesis problems // IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. 2002. Vol. 1. Pp. 306–309.
9. Virsansky E. Genetic algorithms in Python. M.: DMK Press, 2020. 286 p.

УДК 623.5.531

doi: 10.53816/23061456_2025_5–6_18

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ ДЛЯ ПОРАЖЕНИЯ ДВИЖУЩЕГОСЯ ОБЪЕКТА

MODELING THE OPTIMAL TRAJECTORY FOR HITTING A MOVING OBJECT

Д-р техн. наук С.Д. Беляева, канд. техн. наук В.Ю. Калинин

D.Sc. S.D. Belyaeva, Ph.D. V.Y. Kalinin

Михайловская военная артиллерийская академия

Рассмотрена задача поражения цели объектом поражения. При этом определено, что необходимым условием решения является необходимость поражения цели объектом поражения по нормали к ее траектории плоского или пространственного движения, что, по определению, обеспечит наибольший эффект воздействия. Из принципа оптимального управления сформированы условия оптимальности. Представлена математическая модель, позволяющая найти параметры искомой траектории встречи объекта поражения с целью, построенная на принципах решения вариационной задачи прогнозирования наиболее оптимальной длины пути, представленного в виде соответствующего функционала, с учетом условий трансверсальности. Проведено компьютерное моделирование и с помощью разработанной программы определены все параметры оптимизированной траектории для двумерной и трехмерной постановки задачи.

Ключевые слова: оптимальная траектория, вариационное исчисление, функционал, условия трансверсальности, моделирование оптимальной траектории.

The task of hitting a target with an object of destruction is considered. At the same time, it is determined that a necessary condition for the solution is the need to hit the target with an object of damage normal to its trajectory of flat or spatial movement, which, by definition, will provide the greatest impact effect. Optimality conditions are formed from the principle of optimal control. A mathematical model is presented that makes it possible to find the parameters of the desired trajectory of the collision of the target object, based on the principles of solving the variational problem of predicting the most optimal path length, represented as an appropriate functional, taking into account the conditions of transversality. Computer modeling was performed and all parameters of the optimized trajectory for two-dimensional and three-dimensional problem formulation were determined using the developed program.

Keywords: optimal trajectory, calculus of variations, functional, transversality conditions, optimal trajectory modeling.

Вводная часть

Эффективность поражения различных объектов военного назначения противника напря-

мую зависит от технических характеристик поражающих объектов, а также существенным образом определяется принципами их функционирования при наведении на цель, основу которых

составляют математические методы, в том числе вариационного исчисления и оптимального управления. При этом с практической точки зрения представляется возможным формализовать несколько типовых задач, связанных с определением оптимального пути для поражения движущегося объекта перпендикулярно его боковой или верхней поверхности: поражение наземной цели, поражение беспилотного летательного аппарата (далее — БПЛА) противника с земли, поражение цели подвижным наземным или воздушным средством поражения. Указанные задачи могут иметь плоскую или пространственную постановку.

Основная часть

1. Рассмотрим формальную постановку следующей задачи. Пусть точка «а» (цель) движется с постоянной скоростью V_a по заранее заданной кривой (траектории) $r_a(t)$; точка «b» (средство поражения) движется с постоянной скоростью V_{b_1} по другой заданной траектории $r_b(t)$. Необходимо найти оптимальную траекторию, которая предполагает момент встречи средства поражения с целью ортогонально ее направлению движения в условиях того, что в некоторый момент времени t_0 , при котором расстояние между точками станет минимальным, точка «b» изменит свою первоначальную заданную траекторию и начнет движение к точке «а» с постоянной скоростью $V_{b_2} > V_{b_1}$ по оптимальной траектории, которая должна минимизировать затраченный путь.

Исходная точка переключения для точки «b» — это положение $B_0 = r_b(t_0)$.

Формулировка задачи предполагает, что конечная точка встречи A_f находится на траектории точки «а», то есть $A_f = r_a(t_f)$ для некоторого конечного момента t_f .

Условием оптимальности (из принципа оптимального управления и вариационного исчисления) является то, что оптимальный (кратчайший) путь от B_0 до A_f — это прямая, а в точке A_f эта прямая должна быть перпендикулярна касательной к траектории «а».

Итак, цель задачи — найти момент встречи t_f (и, соответственно, конечное положение A_f на траектории «а»), для которого выполняется условие:

$$r_a(t_f) - B_0 \cdot \overline{t_a(t_f)} = 0,$$

где $\overline{t_a(t_f)}$ — единичный вектор, касательный к траектории «а» в точке A_f .

2. Математическая модель и постановка задачи.

Пусть траектория точки «а» задана функцией:

$$r_a(t) = [x_a(t); y_a(t)],$$

например,

$$x_a(t) = V_a \cdot 0,9t; \quad y_a(t) = \sin(t) + 0,2 \sin(3t),$$

где V_a — скорость точки «а».

Пусть траектория точки «b» задана функцией:

$$r_b(t) = [x_b(t); y_b(t)],$$

например,

$$\begin{aligned} x_b(t) &= V_{b_1} \cdot t; \\ y_b(t) &= \sin(t) + \text{offset} + 0,2 \cos(3t) + 2,5, \end{aligned}$$

где V_{b_1} — скорость точки «b» до изменения направления движения;

offset — смещение по оси y .

Моментом t_0 изменения направления движения средства поражения в сторону цели, согласно условию, выбран момент минимального расстояния между траекториями (его можно определить программно, найдя минимум $d(t) = |r_a(t) - r_b(t)|$).

3. Функционал оптимальности для точки «b» после переключения.

После момента t_0 точка «b» переходит на оптимальную траекторию, которая определяется как прямая из начальной точки переключения $B_0 = r_b(t_0)$ в некоторую точку.

$A_f = r_a(t_f)$ на траектории «а». При постоянной скорости (например, если управление минимизирует длину пути) оптимальный (минимальный) путь — это именно прямая линия.

Для оптимизации пути часто рассматривается функционал длины пути [2, 4]:

$$J = \int_{t_0}^{t_f} L(x, y, x', y') dt,$$

где $L = \sqrt{(x'^2 + y'^2)}$.

Задача минимизации длины траектории при постоянной скорости сводится к поиску кратчайшей линии, вместе с тем, сам процесс минимизации на самом деле приводит к необходимости решения уравнений Эйлера — Лагранжа, которые являются основой вариационного исчисления и используются для определения условий экстремума функционалов. Решением эйлеровского уравнения для данного функционала является прямая линия [1, 2].

4. Условие трансверсальности (концевое условие оптимальности).

При наличии свободного конечного момента t_f применяется условие трансверсальности. Для данной задачи (свободное t_f) условие имеет вид:

$$r_a(t_f) - B_0 \cdot \overline{t_a(t_f)} = 0,$$

то есть в оптимальной точке встречи вектор, соединяющий начальное значение B_0 и A_f , должен быть перпендикулярен касательной в точке A_f к траектории цели. Это условие используется для определения времени t_f , в котором точка A_f находится на траектории

«a» и удовлетворяет тому, что прямая линия $B_0 \rightarrow A_f$ перпендикулярна касательной к траектории «a».

5. Численное решение.

Для того чтобы найти момент встречи t_f (и, соответственно, конечное положение A_f на траектории «a»), необходимо численно решить уравнение:

$$F(t_f) = r_a(t_f) - B_0 \cdot \overline{t_a(t_f)} = 0.$$

Выражения для $r_a(t_f)$ и касательной $t_a(t_f)$ в условиях рассматриваемой задачи вычисляются как:

$$r_a(t_f) = V_a \cdot t_f;$$

$$\sin(t_f) + 0,2 \cdot \sin(3t_f);$$

$$\tau_a(t_f) \approx \frac{r_a(t_f + \Delta t) - r_a(t_f)}{|r_a(t_f + \Delta t) - r_a(t_f)|}.$$

Для решения уравнения $F(t_f) = 0$ численным методом средствами программы Матлаб, можно использовать оператор «fsolve».

Для демонстрации решения поставленной задачи была разработана компьютерная программа. Результаты расчета показаны на рис. 1.

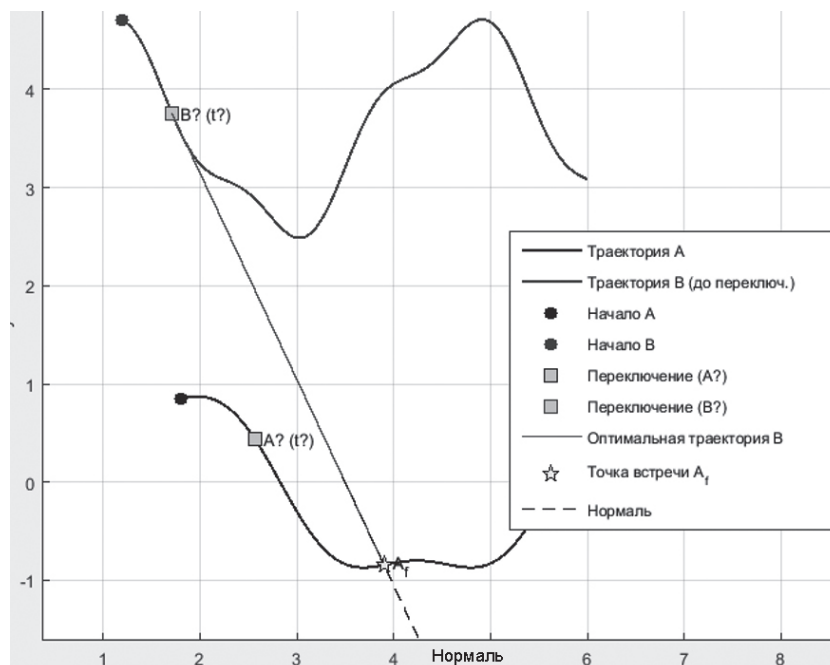


Рис. 1. Оптимизация траектории объекта поражения на основе использования уравнения Эйлера — Лагранжа и условий трансверсальности

Представленный рисунок иллюстрирует работу двумерной модели построения оптимальной траектории для поражения цели.

Алгоритм программы построен на обработке следующих шагов.

1. Инициализация параметров и построение траекторий: задаются все используемые параметры (скорости, смещения, временной интервал), строятся траектории для точек «a» и «b» до момента времени t_0 минимального сближения траекторий.

2. Нахождение момента переключения t_0 : вычисляется расстояние между точками на траекториях «a» и «b» по всему интервалу времени; минимальное расстояние соответствует моменту времени t_0 минимального сближения траекторий и перенаправления движения средства поражения в сторону цели.

3. Расчет начальных положений A_0 и B_0 : вычисляются положения на траекториях в момент t_0 .

4. Определение условия трансверсальности и поиск t_f : задается анонимная функция F_func , которая для каждого входного t_val вычисляет

$$F(t_val) = (\overline{r_a(t_val)} - \overline{B_0}) \cdot \overline{t_a(t_val)},$$

где t_val — входной аргумент, его роль заключается в представлении значения параметра времени, для которого вычисляются координаты (или производная) траектории;

$\overline{r_a(t_val)}$ — вектор, который определяет положение точки A_0 в момент времени t_val ;

$\overline{B_0}$ — вектор, который определяет положение точки в момент переключения;

$\overline{t_a(t_val)}$ — вектор касательный к траектории «a».

Для решения уравнения $F(t_f) = 0$ применяется оператор «fsolve» с выбранным начальным приближением (например, $t_0 + 2$).

5. Вычисление конечного положения A_f : после нахождения t_f вычисляется $A_f = r_a(t_f)$.

6. Построение оптимальной траектории для точки «b»: как оптимальный путь выбирается прямая линия, соединяющая B_0 и A_f ; для визуализации эта прямая аппроксимируется параметризованной функцией от 0 до 1.

7. Построение графиков.

Применение указанного подхода позволяет реализовать стратегию «погони за целью», когда объект поражения строит свою оптимальную траекторию движения без прогнозирования траектории цели, исходя из ее текущего положения в пространстве на данный момент времени (рис. 2).

Разработанная компьютерная программа, в основу которой положен представленный выше математический аппарат, была несколько видоизменена для решения пространственной задачи поражения подвижным ударным БПЛА подвижной воздушной цели. Переход от двумерной реализации к трехмерной — включает расширение вектора координат от 2 до 3, что отражается как на определении траекторий, так и на вычислениях (расстояния, производных, норм, углов). Дополнительно визуализация становится трехмерной, что требует использования специальных графических функций, при этом основная логика

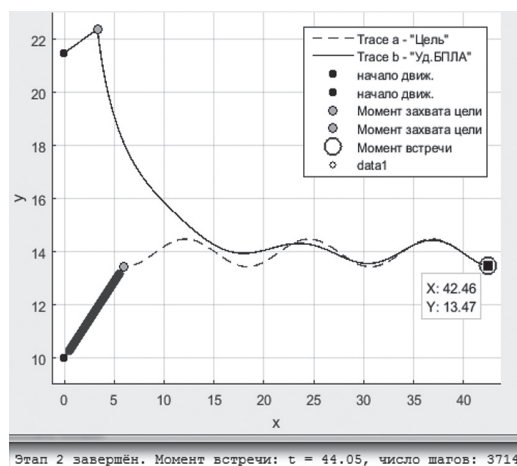


Рис. 2. Результаты моделирования траекторий преследования цели

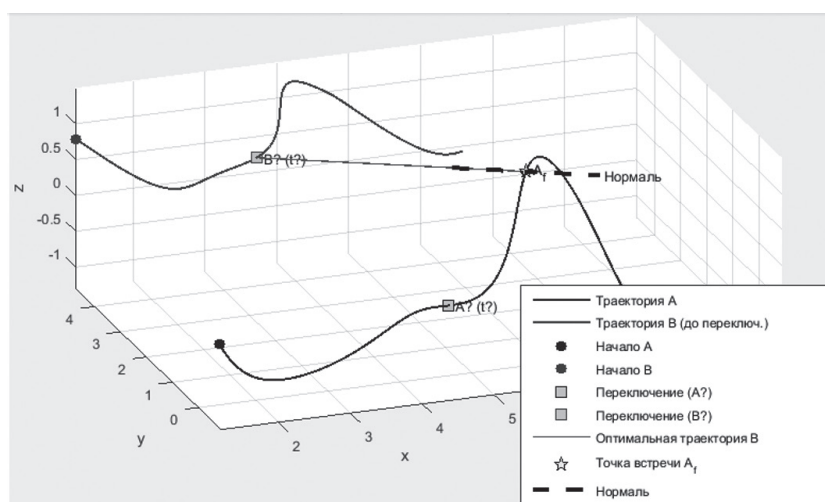


Рис. 3. Результаты оптимизации траектории с использованием уравнения Эйлера — Лагранжа и условий трансверсальности (пространственная модель)

(нахождение момента переключения, условие трансверсальности и оптимизация траектории) сохраняется — лишь расширяется количество измерений, за счет чего вычисления выполняются в более общем случае (трехмерном пространстве).

Результаты 3D-моделирования решения задачи представлены на рис. 3.

Заключение

Таким образом, в результате решения одной из типовых задач, связанных с определением оптимального пути для поражения движущегося объекта перпендикулярно его боковой или верхней поверхности, наглядно продемонстрирован принцип нахождения оптимальной точки и траектории встречи объекта поражения с целью. Подобный подход широко применяется в задачах оптимального управления, где конечное время или конечное состояние задачи является свободной переменной, и для их определения используются условия трансверсальности. Реализация данной постановки задачи и последующее численное решение посредством применения принципов вариационного исчисления позволяет повысить эффективность поражения различных объектов военного назначения противника.

Рассмотренные подходы рационально использовать в математическом обеспечении функционирования различных автономных средств поражения (в том числе ударных БПЛА).

Список источников

1. Гельфанд И.М., Фомин С.В. Вариационное исчисление. М.: Гос.изд. физ-мат лит, 1961. 227 с.
2. Беляева С.Д., Калинин В.Ю. Модели теплового состояния элементов артиллерийской системы и прогнозирование оптимального режима ее функционирования по критерию безопасности // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2023. № 7–8 (181–182). С. 107–113.
3. Огородникова О.М. Вычислительные методы в компьютерном инжиниринге: учеб. пособие. Екатеринбург: УрФУ, 2013. 130 с.

References

1. Gelfand I.M., Fomin S.V. Calculus of variations. Moscow: State Publishing House of Physical and Mathematical Literature, 1961. 227 p.
2. Belyaeva S.D., Kalinin V.Yu. Models of the thermal state of the elements of the artillery system and forecasting the optimal mode of its operation according to the safety criterion // Issues of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2023. No 7–8 (181–182). Pp. 107–113.
3. Ogorodnikova O.M. Computational methods in computer engineering: a textbook. Yekaterinburg: UrFU, 2013. 130 p.

УДК 621.396

doi: 10.53816/23061456_2025_5–6_23

МОДЕЛЬ ПРИЕМА ШИРОКОПОЛОСНЫХ РЕТРАНСЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ НЕПРЕДНАМЕРЕННЫХ ПОМЕХ С УГЛОВОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

MODELING THE RECEPTION OF WIDEBAND RELAYED SIGNALS IN SATELLITE COMMUNICATION SYSTEMS SUBJECT TO UNINTENTIONAL ANGLE-MODULATED INTERFERENCE

Канд. техн. наук Д.А. Комлык, А.Г. Маслик, канд. техн. наук. С.А. Святкин

Ph.D. D.A. Komlyk, A.G. Maslik, Ph.D. S.A. Svyatkin

Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского

В статье приведены результаты моделирования процесса воздействия на приемные устройства дискретных ретранслированных сигналов систем спутниковой связи непреднамеренных помех с угловой модуляцией с учетом несовпадения помехи и сигнала по несущей частоте. Модель учитывает канальное кодирование, модуляцию, скорость кодирования, аддитивный скремблер, гаммирование, непрерывные помехи с угловой модуляцией и шумовые помехи. Определены значения вероятности ошибки на бит в зависимости от отношения сигнал/помеха при использовании сверточного кодера. Исследовано влияние прицельной и неприцельной по частоте непреднамеренной помехи с угловой модуляцией на приемное устройство сигнала с модуляцией BPSK, QPSK, 8PSK, 16QAM. Проведено сравнение воздействия непреднамеренной помехи с угловой модуляцией и шумовой помехи на широкополосную спутниковую систему связи.

Ключевые слова: непреднамеренная помеха, помеха с угловой модуляцией, вероятность ошибки на бит, фазовая модуляция.

The article presents the results of modeling the impact of unintentional angle-modulated interference on receiving devices of discrete relayed signals from satellite communication systems, considering the frequency offset between the interference and the signal. The model incorporates channel coding, modulation, coding rate, an additive scrambler, gamma encoding, continuous angle-modulated interference, and noise interference. Bit error rate values were determined as a function of the signal-to-interference ratio when employing a convolutional encoder. The impact of targeted and untargeted unintentional angle-modulated interference on receiving devices with BPSK, QPSK, 8PSK, and 16QAM modulated signals was investigated. A comparison was made between the effects of unintentional angle-modulated interference and noise interference on a wideband satellite communication system.

Keywords: unintended interference, angle-modulated interference, bit error probability, phase modulation.

Одними из самых распространенных видов модуляции сигналов систем спутниковой связи являются сигналы с дискретной фазовой модуляцией, которые являются частным случаем сигналов с угловой модуляцией. В связи с широким распространением систем спутниковой связи, увеличивается загруженность радиочастотного спектра, а одним из факторов, усугубляющих проблему электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств, является воздействие на приемные устройства дискретных сигналов непреднамеренных помех с угловой модуляцией, создаваемых аналогичными радиоэлектронными средствами [1]. В связи с чем исследования помехоустойчивости радиолинии с фазовой модуляцией с учетом воздействия помех с угловой модуляцией являются актуальными.

Известны выражения для получения вероятности ошибки на бит при воздействии на радиоэлектронные средства связи помех с угловой модуляцией и белого гауссовского шума [2]. Однако данные выражения справедливы только для сигналов, использующих сигналы с BPSK и QPSK модуляцией, а также для случая совпадения полосы частот сигнала и непреднамеренной помехи. Кроме того, данные аналитические выражения не учитывают использование помехоустойчивого кодирования. Для решения задачи исследования воздействия на приемные устройства дискретных сигналов систем спутниковой связи смещенной по несущей частоте помехи с угловой модуляцией необходимо использование имитационной модели.

Математическое описание модели приема широкополосных ретранслированных сигналов систем спутниковой связи в условиях непреднамеренных помех с угловой модуляцией

При построении имитационной модели воздействия помех с угловой модуляцией на приемное устройство дискретных сигналов систем спутниковой связи введены ряд ограничений и допущений.

1. Модель включает реализацию процесса канального кодирования (помехоустойчивое кодирование, перемежение и скремблирование) и модуляции (BPSK, QPSK, 8PSK, 16QAM) [3, 4].

2. Задана скорость кодирования R .

3. С учетом того, что скремблирование в некоторых случаях может привести к размножению ошибок, рассматривается аддитивный скремблер, не влияющий на помехоустойчивость [5].

4. С учетом того, что шифрование битовых потоков информации в некоторых случаях может привести к ухудшению помехоустойчивости, рассматривается симметричное шифрование — гаммирование, не влияющее на помехоустойчивость [6].

5. В качестве помех используются непрерывные помехи с угловой модуляцией $\xi_{\text{ум}}$ [7]

$$\xi_{\text{ум}}(t) = U_{\text{п}} \sin \left(2\pi f_{\text{п}} t + 2\pi \int_0^t \xi_{\text{п}}(t) dt + \varphi_0 \right),$$

где $U_{\text{п}}$ — амплитуда помехи;

$f_{\text{п}}$ — несущая частота помехи;

$\xi_{\text{п}}(t)$ — модулирующий шум, сформированный по нормальному закону распределения;

φ_0 — начальная фаза помехи;

и, для сравнения, шумовая помеха [8]

$$\xi_{\text{ш}}(t) = \sum_{k=1}^m U_k \cos \left(2\pi \left(f_{\text{н}} + (f_{\text{в}} - f_{\text{н}}) \frac{k}{m} \right) \frac{t}{2f_{\text{в}}} + \varphi_k \right),$$

где U_k — амплитуда, распределенная по закону Релея, $k = 1, 2, \dots, m$;

φ_k — фаза, распределенная по равномерному закону $(0-2\pi)$;

$f_{\text{н}}, f_{\text{в}}$ — нижняя и верхняя частоты спектра шумовой помехи.

Модель приема широкополосных ретранслированных сигналов систем спутниковой связи в условиях непреднамеренных помех с угловой модуляцией представлена на рис. 1 [9], где K — количество двоичных символов в информационной последовательности.

Информационная последовательность с количеством двоичных символов K_0 (рис. 2, а), проходя через блок канального кодирования, поступает на модулятор. При этом избыточность информационной последовательности с выхода блока канального кодирования K_1 (рис. 2, б) определяется скоростью кодирования R .

Далее с использованием выбранного вида модуляции (BPSK, QPSK, 8PSK, 16QAM) итоговая последовательность переносится на несущую частоту линии, и сформированный сигнал $s(t)$ излучается в направлении приемника (рис. 2, в) [10].

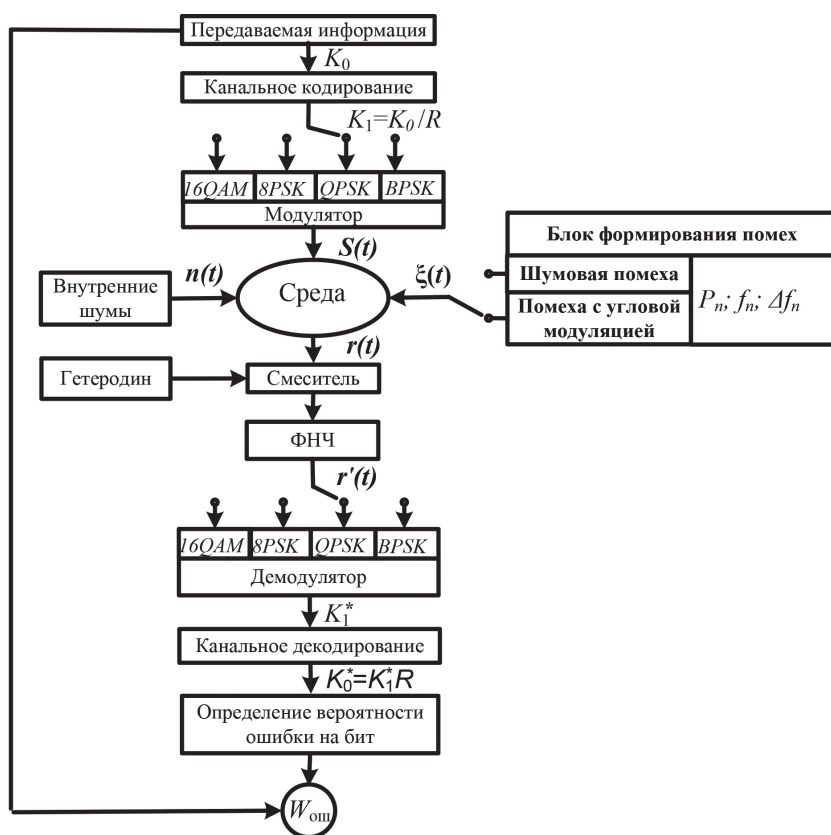


Рис. 1. Структура имитационной модели воздействия помех с угловой модуляцией на приемное устройство дискретных сигналов

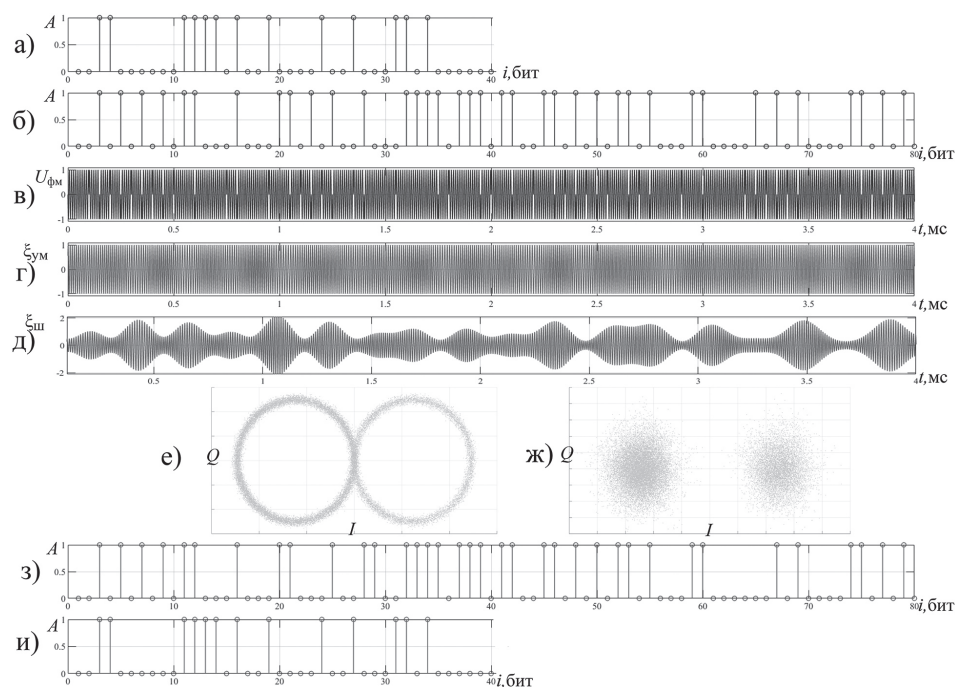


Рис. 2. Временная диаграмма: а — передаваемая информация; б — канальное кодирование; в — BPSK; г — помеха с угловой модуляцией; д — шумовая помеха; е — созвездие принятой смеси BPSK+ помеха с угловой модуляцией; ж — созвездие принятой смеси BPSK+ шумовая помеха; з — результат демодуляции; и — принятая информация

На приемник поступает смесь $r(t)$ информационного сигнала $s(t)$ и выбранной либо помехи с угловой модуляцией (рис. 2, *з*), либо шумовой помехи (рис. 2, *д*) $\xi(t)$, а также пересчитанных ко входу шумов приемника $n(t)$ [10]:

$$r(t) = s(t) + \xi(t) + n(t).$$

После смесителя смесь $r'(t)$ на промежуточной частоте поступает на фильтр нижних частот и далее на демодулятор (рис. 2, *е, жс*) [11]. В блоке канального декодирования с извлеченной смесью сигнала и помехи последовательностью K_1^* (рис. 2, *з*) производится дегерметизация и декодирование (рис. 2, *и*).

В блоке определения вероятности ошибки на бит вероятность ошибки $W_{\text{ош}}$ определяется как отношение количества ошибочно принятых дво-

ичных символов к общему числу передаваемых двоичных символов последовательности K_0 [12].

Спектрограммы сигнала и помех представлены на рис. 3, где f_n — несущая частота, ΔF — ширина спектра.

Кроме того, имитационная модель учитывает воздействие внутренних шумов приемника, которое определяется в соответствии с выражением:

$$P_{\text{ш}} = k_B T_{\Sigma} \Delta f_{\text{ш}},$$

где k_B — постоянная Больцмана;

T_{Σ} — эквивалентная температура приемной системы, учитывающая эквивалентную температуру шумов антенны, абсолютную температуру среды, коэффициент передачи волноводного тракта, эквивалентную температуру приемника;

$\Delta f_{\text{ш}}$ — эквивалентная полоса шумов.

Эквивалентная температура шумов антенны учитывает составляющие, обусловленные космическими шумами, излучением атмосферы, приемом излучения земной поверхности, приемом атмосферного излучения, отраженного от земной поверхности. В имитационной модели принято значение эквивалентной температуры, равное – 0,63 дБ.

Результаты исследования помехоустойчивости приемных устройств дискретных сигналов систем спутниковой связи к помехам с угловой модуляцией

С применением предложенной имитационной модели определено значение вероятности ошибки на бит в зависимости от отношения сигнал/помеха. При этом в качестве помехоустойчивого кодирования в имитационной модели используется сверточный кодер со скоростью кодирования 1/2.

На рис. 4 представлен график зависимости вероятности ошибки на бит от отношения сигнал-помеха с учетом внутреннего шума при воздействии на приемное устройство сигнала с модуляцией BPSK, QPSK, 8PSK, 16QAM прицельной по несущей частоте и по занимаемой полосе частот непреднамеренной помехи с угловой модуляцией.

На рис. 5 и 6 представлен график зависимости вероятности ошибки на бит от отношения

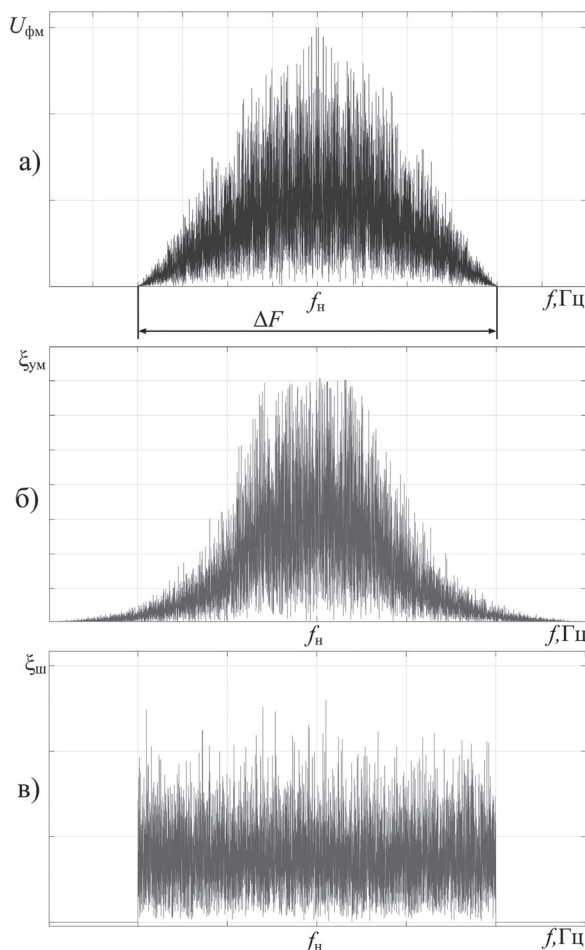


Рис. 3. Спектрограмма: а — сигнала BPSK; б — помехи с угловой модуляцией; в — шумовой помехи

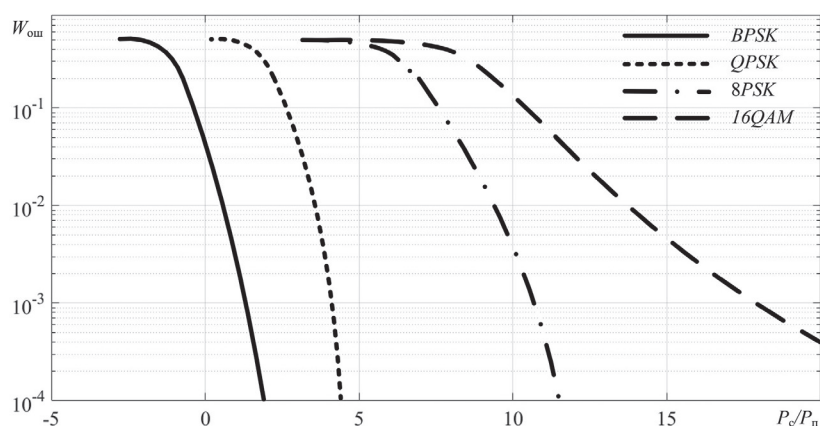


Рис. 4. Вероятность ошибки на бит от отношения сигнал/помеха при воздействии непреднамеренной помехи с угловой модуляцией

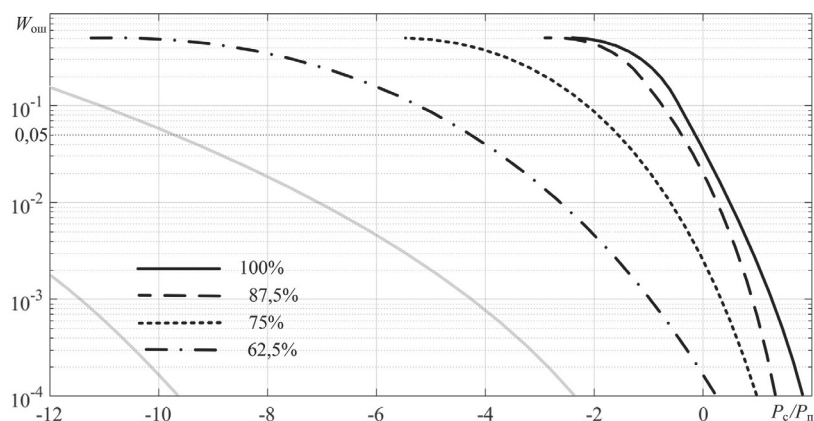


Рис. 5. Вероятность ошибки на бит от отношения сигнал/помеха при воздействии неприцельной по частоте непреднамеренной помехи с угловой модуляцией с долей перекрытия помехи и сигнала по частоте на 62,5–100 %

сигнал-помеха с учетом внутреннего шума при воздействии на приемное устройство сигнала с модуляцией BPSK непреднамеренной помехи с

угловой модуляцией с занимаемой полосой частот, равной полосе частот сигнала и смещенной по несущей частоте.

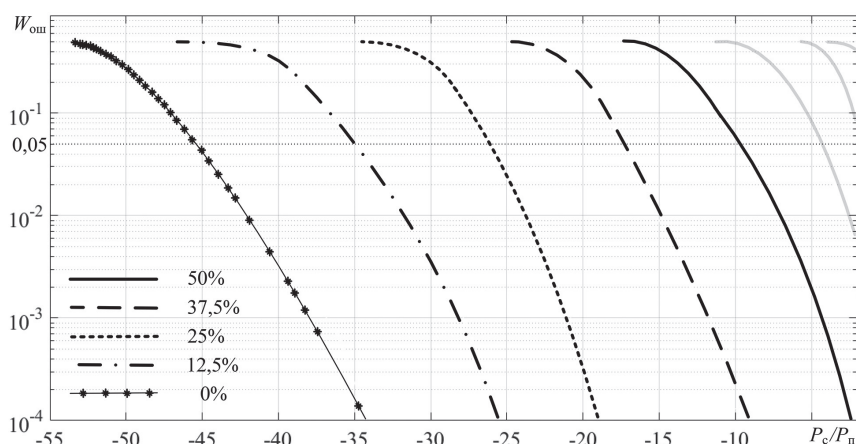


Рис. 6. Вероятность ошибки на бит от отношения сигнал/помеха при воздействии неприцельной по частоте непреднамеренной помехи с угловой модуляцией с долей перекрытия помехи и сигнала по частоте на 62,5–100 %

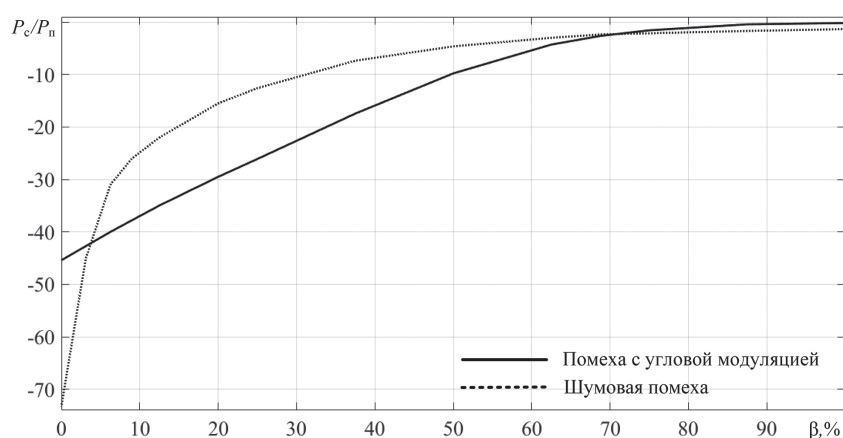


Рис. 7. Значение отношения сигнал/помеха от доли перекрытия помехи и сигнала по частоте при воздействии на сигнал с модуляцией BPSK непреднамеренной помехи с угловой модуляцией и шумовой помехи

Смещение несущей частоты непреднамеренной помехи относительно несущей частоты сигнала характеризуется долей перекрытия помехи и сигнала по частоте. При этом долей перекрытия 100 % является полное совпадение по частоте помехи и сигнала.

При фиксированном значении вероятности ошибки на бит, равном 0,05, являющемся пороговым значением отношения сигнал/помеха, при котором радиоэлектронное средство не может передавать информацию с заданным качеством, построен график зависимости отношения сигнал/помеха в зависимости от процентного соотношения совпадения по частоте сигнала и непреднамеренной помехи. На рис. 7 представлено сравнение значений отношения сигнал/помеха при воздействии на сигнал с модуляцией BPSK непреднамеренной помехи с угловой модуляцией и шумовой помехи. При этом полосы занимаемых частот помехи с угловой модуляцией и шумовой помехи равны.

Анализ графика, приведенного на рис. 7, показал, что на промежутке процента совпадения по частоте сигнала и помехи от 70,83 % до 100 %, а также на промежутке от 3,76 % до 0 % непреднамеренная помеха с угловой модуляцией оказывает более существенное деструктивное воздействие на сигнал, чем шумовая помеха. Преимущество помехи с угловой модуляцией при совпадении сигнала и помехи менее 3,76 % обусловлено тем, что шумовая помеха имеет четко выраженные границы спектра (рис. 3, в).

Таким образом, полученные результаты имитационного моделирования позволяют сде-

лать вывод, что воздействие непреднамеренных помех с угловой модуляцией может оказать значительное влияние на работоспособность канала спутниковой связи. По результатам имитационного моделирования проведено сравнение непреднамеренной помехи с угловой модуляцией и шумовой помехи и установлено, что наибольшее воздействие на широкополосную систему спутниковой связи оказывает непреднамеренная помеха с угловой модуляцией при совпадении по частоте сигнала и помехи.

Полученные результаты могут быть использованы при оценке качества функционирования радиоэлектронных средств в условиях непреднамеренных взаимных помех с угловой модуляцией в интересах анализа электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств.

Список источников

1. Куликов Г.В., Данг Суан Ханг. Помехоустойчивость приема сигналов с амплитудно-фазовой манипуляцией в присутствии фазоманипулированной помехи // Журнал радиоэлектроники. 2021. № 11. 16 с.
2. Паршуткин А.В., Бучинский Д.И., Комлык Д.А. Исследование помехоустойчивости приемников сигналов с дискретной фазовой модуляцией в условиях помех с угловой модуляцией и шумов // Труды МАИ. 2023. № 129. 28 с.
3. Маслаков П.А., Копалов Ю.Н. Путь развития систем спутниковой связи в условиях совершенствования телекоммуникационных технологий // Вопросы оборонной техники. Серия 16.

Технические средства противодействия терроризму. 2023. № 9–10 (183–184). С. 39–46.

4. Жирнов А.И., Селезнев А.В., Таиров Р.З., Горанько С.А. Принцип и особенности применения помехоустойчивого кодирования в системах передачи многоканальной радиосвязи // Научно-исследовательские публикации. 2024. № 1. С. 34–39.

5. Мешальникова А.А., Мирянова А.Д., Мирянова В.Н. Анализ методов скремблирования // Дневник науки. 2022. № 5 (65). 9 с.

6. Штанько С.В. Ограничение несанкционированного доступа в радиотехнических системах с широкополосной передачей информации // Информационно-управляющие системы. 2018. № 5 (96). С. 57–65.

7. Программный комплекс моделирования воздействия помехи с угловой модуляцией на спутниковый канал ретрансляции и передачи данных: программа для ЭВМ № 2022664803 Рос. Федерация. № 2022664303; № 2022663653; заявл. 18.07.2022; опубл. 27.07.2022.

8. Вознюк В.В., Копалов Ю.Н., Фомин А.В. Исследование помехоустойчивости приема сигналов с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM) в условиях воздействия внутренних шумов и внешних помех с угловой модуляцией // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2023. № 688. С. 22–31.

9. Склад Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр.: пер. англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. 1104 с.

10. Сиротин И.Н., Паршуткин А.В., Левин Д.В. Аппаратурный анализ сигналов: учеб. пособие. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2021. 224 с.

11. Макаренко С.И. Модели системы связи в условиях преднамеренных дестабилизирующих воздействий и ведения разведки: монография. СПб.: Наукоемкие технологии, 2020. 337 с.

12. Борисов В.И., Зинчук В.М., Лимарев А.Е. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов модуляцией несущей псевдослучайной последовательностью. М.: Радио и связь, 2003. 640 с.

sence of phase-shift keying interference // Journal of Radio Electronics. 2021. No 11. 16 p.

2. Parshutkin A.V., Buchinsky D.I., Komlyk D.A. Study of noise immunity of receivers for discrete phase-modulated signals under angle-modulated interference and noise // Proceedings of MAI, 2023. No 129. 28 p.

3. Maslakov P.A., Kopalov Yu.N. Development path of satellite communication systems in the context of telecommunication technology advancements // Issues of Defense Technology. Series 16. Technical Counter-Terrorism Means. 2023. No 9–10 (183–184). Pp. 39–46.

4. Zhirnov A.I., Seleznev A.V., Tairov R.Z., Goranko S.A. Principle and features of error-correcting coding in multichannel radio communication systems // Research Publications. 2024. No 1. Pp. 34–39.

5. Meshalnikova A.A., Miryanova A.D., Miryanova V.N. Analysis of scrambling methods // Science Diary. 2022. No 5 (65).

6. Shtanko S.V. Restricting unauthorized access in radio systems with broadband data transmission // Information and Control Systems, 2018. No 5 (96). Pp. 57–65.

7. Software package for modeling the effects of interference with angular modulation on a satellite data relay and transmission channel: computer program No. 2022664803 Russian Federation. No. 2022663653; application dated 18.07.2022; published on 27.07.2022.

8. Voznyuk V.V., Kopalov Yu.N., Fomin A.V. Noise immunity of OFDM signals under internal noise and external angle-modulated interference // Proceedings of the Mozhaysky Military-Space Academy, 2023. No 688. Pp. 22–31.

9. Sklar B. Digital communications: Theoretical foundations and practical applications (2nd ed.). Moscow: Williams Publishing, 2003. 1104 p.

10. Sirotin I.N., Parshutkin A.V., Levin D.V. Hardware signal analysis: A textbook. St. Petersburg: Mozhaysky Military-Space Academy, 2021. 224 p.

11. Makarenko S.I. Communication system models under deliberate destabilizing effects and reconnaissance: A monograph. St. Petersburg: High-Tech Publishing, 2020. 337 p.

12. Borisov V.I., Zinchuk V.M., Limarev A.E. Noise immunity of spread-spectrum radio systems with carrier modulation by pseudo-random sequences. Moscow: Radio i Svyaz, 2003. 640 p.

Resources

1. Kulikov G.V., Dang, S.Kh. Noise immunity of signals with amplitude-phase keying in the pre-

УДК 629.3.066:623.61

doi: 10.53816/23061456_2025_5–6_30

**ВЕРБАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ СЕТЕВОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТЬЮ СВЯЗИ ВЫСОКОДИНАМИЧНОЙ
СИСТЕМЫ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**VERBAL MODEL OF NETWORK TECHNOLOGICAL CONTROL SYSTEM
OF TRANSPORT COMMUNICATION NETWORK OF HIGHLY DYNAMIC
COMMUNICATION SYSTEM FOR SPECIAL PURPOSE**

А.Г. Сызранцев

A.G. Syzrancev

Московский технический университет связи и информатики

Вербальная модель системы сетевого технологического управления транспортной сетью связи высокодинамичной системы связи специального назначения представлена как подсистема высокодинамичной системы связи. Представлены и описаны входящие в ее состав пункты управления связью, основная и частные задачи системы сетевого технологического управления. Приведена декомпозиция рассматриваемой системы по принадлежности к уровню иерархии управления, по функциональному и организационному признакам. Определены факторы, влияющие на структуру системы сетевого технологического управления. Представлены и описаны внешние факторы, влияющие на структуру системы сетевого технологического управления транспортной сетью связи высокодинамичной системы связи, и выделены основные из них, оказывающие существенное влияние на построение этой системы технологического управления.

Ключевые слова: системы сетевого технологического управления, транспортная сеть связи, высокодинамичная система связи, пункт управления связью, теория управления, теория связи, общая теория систем, модель, структура.

The verbal model of the network technological management system of the transport communication network of the highly dynamic special-purpose communication system is presented as a subsystem of the highly dynamic communication system. The communication control points included in its composition, the main and partial tasks of the network technological management system are presented and described. The decomposition of the system under consideration is given according to its belonging to the level of the management hierarchy, according to functional and organizational characteristics. The factors influencing the structure of the network technological management system are determined. The external factors influencing the structure of the network technological management system of the transport communication network of a highly dynamic communication system are presented and described, and the main ones that have a significant impact on the construction of this technological management system are highlighted.

Keywords: network technology control systems, transport communication network, highly dynamic communication system, communication control point, control theory, communication theory, general systems theory, model, structure.

Введение

Основное содержание вербальной модели системы сетевого технологического управления (ССТУ) транспортной сетью связи (ТСС) высокодинамичной системы связи (ВдСС) специального назначения (СН) заключается в частично формализованном, содержательном описании предмета исследования как системы, а также целей, задач, принципов построения и характера ее функционирования, предъявляемых требований и наиболее существенных взаимосвязей с окружающей средой.

Система сетевого технологического управления транспортной сетью связи — это система, являющаяся составной частью высокодинамичной системы связи создаваемой группировки СН, включающая соответствующие пункты (узлы связи, центры коммутации, станции, ретрансляторы и т.д.), соединяющие их линии связи, образующие целостную совокупность, предназначенную для централизованного (децентрализованного, комбинированного) управления на всех этапах развертывания и функционирования ТСС в интересах использования ее возможностей и ресурса.

Понятие высокодинамичности системы законодательно не определено. При этом зачастую применяются выражения, характеризующие высокую мобильность систем, для которых движение, изменение состояния, объектовой или информационной структуры и других параметров (свойств) не является основой функционирования, выполнения основных задач по функциональному предназначению. В этом случае условно к высокой динамике таких систем можно отнести системы, которые не менее 15 процентов времени находятся в состоянии изменения своих параметров и не в состоянии в полном объеме выполнять свои основные функции. Применительно к системам оперативного управления (системам управления связью) пороговым значением по обеспечению удовлетворительно уровня управления является коэффициент исправного действия равный 0,85. Аналогичное значение определяет и шкала желательности Харрингтона [1].

Основная часть

Основной задачей ССТУ ТСС является управление техническими процессами по фор-

мированию структуры ТСС, информационных направлений и образованием первичных каналов и групповых трактов в них между узлами связи (УС) пунктов управления (ПУ) создаваемой группировки СН. Кроме того, ССТУ должна обеспечивать возможность осуществления маневра каналами при перемещении ПУ группировки СН, их выходе из строя, и передаче управления при изменении оперативных условий.

Основными частными задачами ССТУ создаваемой группировки могут быть:

- поддержание необходимого уровня готовности к применению сил и средств связи действующей системы связи группировки СН и ее элементов;
- обеспечение своевременной готовности связи на различных информационных направлениях в соответствии с потребностями системы оперативного управления группировкой;
- предоставление каналов, трактов, потоков требуемого объема и качества, в том числе по управлению штатными и приданными подразделениями группировки;
- организация управления и управление действиями подчиненных, в том числе организация и поддержание взаимодействия между ними и с определенными элементами других систем связи;
- обеспечение взаимодействия с вышестоящими и соседними транспортными сетями связи (сетями связи общего пользования).

Принципы системного подхода к исследованию сложных организационно-технических систем и процессов, протекающих в них, выражаются в следующем [2]:

- представление исследуемого объекта как целостной системы;
- выявление основных элементов и системообразующих связей между ними;
- анализ структуры и организации системы;
- построение схемы функционирования системы;
- обоснование целесообразности поведения системы.

В соответствии с общей теорией систем ССТУ ТСС создаваемой группировки представляется как система, обладающая всеми свойствами, присущими организационно-технической системе. В соответствии с классификационными признаками, изложенными в [2], ССТУ можно

классифицировать как искусственную, сложную, пространственно-распределенную, многоуровневую, организационно-техническую, динамическую, стохастическую систему с переменной структурой, функционирующую в условиях изменяющейся оперативной обстановки и обстановки по связи.

Система сетевого технологического управления создаваемой группировки является подсистемой высокодинамичной системы связи этой группировки.

Под структурой понимается совокупность упорядоченных связей между системообразующими элементами, обеспечивающих устойчивость системы.

Исходя из этого, рассмотрим структуру ССТУ ТСС создаваемой группировки СН.

Проведем декомпозицию ССТУ по следующим признакам: по принадлежности к уровню иерархии управления, по функциональному признаку и организационному признаку.

Структура ССТУ создаваемой группировки СН по принадлежности к уровню управления

представлена на рис. 1, по сугубо функциональному признаку — на рис. 2.

Система СТУ создаваемой группировки по функциональному признаку включает пункты управления связью узлов связи (опорных, вспомогательных, центров коммутации каналов, узлов доступа, пунктов управления и др.) и линий связи (магистральных (осевых и рокадных) и привязки). Система СТУ ТСС является сетью связи (частью сети связи) общей системы управления связью ВдСС создаваемой группировки СН. Она управляет функционированием ТСС для обеспечения связи со всеми частями и организациями различных министерств и ведомств, привлекаемых в состав создаваемой группировки СН. В зависимости от условий развертывания и эксплуатации, используемых сил и средств ССТУ может быть стационарной и полевой.

Состав стационарной ССТУ создаваемой группировки может включать автоматизированные рабочие места, оснащенные специальным программным обеспечением и серверами хра-

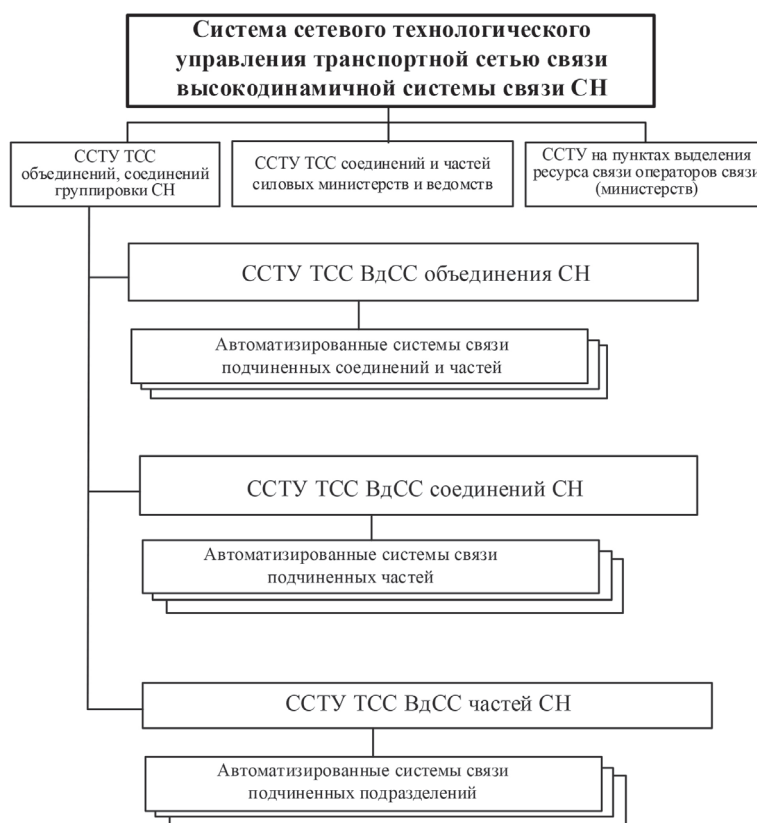


Рис. 1. Структура системы сетевого технологического управления по принадлежности к уровням иерархии системы управления создаваемой группировки



Рис. 2. Структура системы сетевого технологического управления создаваемой группировки по функциональному признаку

нения соответствующих баз данных и развертываемых на узлах связи защищенных пунктов управления, стационарных опорных, вспомогательных и гарнизонных узлах связи, автоматических коммутационных центрах, узлах связи министерств, ведомств и промышленности, на пунктах выделения ресурса Единой сети электросвязи РФ. При необходимости стационарная ССТУ наращивается полевыми средствами управления связью, которые могут образовывать полевую ССТУ.

На рис. 3 показана структура ССТУ, представленная по организационному признаку. На его основе можно сделать вывод о том, что ССТУ ТСС создаваемой группировки СН составляет основу технологического управления всей технической подсистемы (технического объекта) системы связи создаваемой группировки, а ее элементы входят в управляющую подсистему (управляющий объект), управляе-

мую подсистему (управляемый объект) в виде средств управления, размещаемых на ПУ связью ССТУ. Следовательно, построение ССТУ ТСС создаваемой группировки СН зависит от структуры управляющей подсистемы (управляющего объекта) и управляемой подсистемы (управляемого объекта). Именно это определяет ее роль, значение и место в системе связи создаваемой группировки СН.

Структура ССТУ ТСС создаваемой группировки СН в рассматриваемых условиях определяется следующими внешними факторами (причинами, условиями, обстоятельствами):

- задачами, стоящими перед ССТУ по обеспечению устойчивого, непрерывного, оперативного и скрытого управления ВдСС в интересах оперативного управления частями и организациями группировки;

- принятой структурой системы управления создаваемой группировки СН;



Рис. 3. Структура системы сетевого технологического управления создаваемой группировки по организационному признаку

– способами и средствами деструктивных воздействий на ВдСС, выражающихся в различных видах поражающего воздействия на элементы ССТУ в частности и систему связи в целом (огневого, радиоэлектронного, информационного, техногенного и др.);

– характером и интенсивностью потоков сообщений (информации) на информационных направлениях и их перераспределением из-за изменения задач по управлению группировкой СН на различных этапах действий, а также вследствие поражающего внешнего воздействия;

– физико-географическими и другими условиями района ведения специальных действий;

– наличием времени на построение ВдСС, в том числе и ССТУ ТСС.

Построение ССТУ создаваемой группировки СН зависит от ряда основных факторов [2–5]:

– условий обстановки;

– ситуационных (военно-политических, социальных, экономических, физико-географических, климатических и др.) условий, имеющих место в период подготовки и при ведении специальных действий;

– вида действий, их целей, задач и размаха;

– задач создаваемой группировки;

– оперативного состава и построения группировки в предстоящих действиях;

– принятой структуры системы управления создаваемой группировкой и потребностей в передаче (приеме) сообщений (информации) — признаков, сведений, данных и др.;

– места ССТУ в высокودинамичной системе связи группировки СН.

Рассматривая аспекты синтеза ССТУ, изложенных в [2], и используя при этом метод ана-

логии, следует отметить, что их совокупность в отношении к создаваемой группировке определяется следующим:

- принадлежностью ССТУ ТСС высокодинамичной системы связи к соответствующему виду управления и уровню его иерархии;
- наличием времени на построение ССТУ;
- поставленными (стоящими) перед ней целями и задачами;
- выполняемыми ССТУ функциями (процедурами, операциями, элементарными работами);
- структурой, составом, местоположением и состоянием привлекаемых сил и средств связи;
- уровнем профессиональной подготовки должностных лиц рассматриваемой системы сетевого технологического управления транспортной сетью связи;
- функциональным назначением конкретной ССТУ (подсистемы, направления, элемента);
- возможным деструктивным воздействием на элементы ССТУ;
- уровнем потерь (возвратных и безвозвратных) в живой силе и технике связи в предыдущих специальных действиях и прогнозируемых в ходе настоящих;
- степенью восстановления живой силы и техники связи;
- необходимостью решения поставленной задачи с минимальным расходом сил и средств связи.

Важное место в построении ССТУ создаваемой группировки принадлежит принципам построения. В полном объеме они представлены в [2, 4, 5]. При этом выделены и использованы четыре группы принципов. Это принципы общесистемной, общеспециальной, общесетевой основы и принципы общей основы АСУ связью.

Каждая из подсистем является сложной, поскольку обусловлена целостным, упорядоченным по вертикали и горизонтали множеством взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, функционирующих совместно с другими подсистемами высокодинамичной системы связи создаваемой группировки (оперативного объединения) для достижения главной цели — обеспечить процесс обмена сообщениями между пунктами, органами и объектами управления этой группировки в установленные сроки (режиме реального времени) с требуемым качеством, и тем самым обеспечить реализацию потенци-

альных возможностей соединений, частей и организаций, в том числе и связи, в предстоящих специальных действиях.

Заключение

Согласно целевой комплексной программе работ по поэтапному переводу сетей связи на цифровое телекоммуникационное оборудование, перспективным направлением развития системы связи группировки (оперативного объединения) для ведения специальных действий, в частности [6], основной задачей является создание единого информационного пространства на основе внедрения передовых информационно-телекоммуникационных технологий цифровой обработки и передачи сообщений при условии унификации и стандартизации средств связи, автоматизации сетевого технологического управления и автоматизации управления создаваемой группировкой, которое только сейчас, третий год, несмотря на дату принятия комплексной программы, начало активно реализовываться по причине того, что в довершение к вскрывшимся негативам в возможностях систем связи (соединений, частей и подразделений связи), развертываемых для нужд группировок специального назначения в ходе выполнения мероприятий по принуждению Грузии к миру, добавились и серьезные недостатки, выявленные в ходе ведения СВО.

Таково основное содержание вербальной (описательной) модели ССТУ ТСС высокодинамичной системы связи создаваемой группировки (оперативного объединения) специального назначения.

Список источников

1. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер [и др.] Изд. 2-е. М.: Наука, 1976. 280 с.
2. Ермишян А.Г. Теоретические основы построения систем военной связи в объединениях и соединениях: учеб. Часть 1. Методологические основы построения организационно-технических систем военной связи. СПб.: ВАС, 2005. 740 с.
3. Сызранцев Г.В., Ермишян А.Г., Лукин К.И., Федулов А.В. Теоретические и научно-практические основы построения систем связи специального назначения: учеб. пособие для

вузов; под ред. Г.В. Сызранцева. М.: Горячая линия–Телеком, 2023. 376 с.

4. Ермишян А.Г., Сызранцев Г.В., Дыков В.В. Теоретические и научно-практические основы построения систем связи в локальных войнах и вооруженных конфликтах: учеб. пособие; под ред. А.Г. Ермишяна. СПб.: ВАС, 2006. 220 с.

5. Сызранцев Г.В. Теоретические и научно-методические основы обеспечения построения сложных организационно-технических систем военной связи в локальных войнах и вооруженных конфликтах: монография; под ред. А.Г. Ермишяна. СПб.: ВАС, 2007. 180 с.

6. Шмелев А.А. Научно-методическое обеспечение построения высокодинамичных систем связи специального назначения: монография; под ред. Г.В. Сызранцева. М.: НИИССУ, 2012. 220 с.

7. Львов Е.В. Теоретические и научно-методические основы обеспечения построения сложных организационно-технических систем военной связи сил специальных операций: монография; под ред. Г.В. Сызранцева. М.: 16 ЦНИИИ, 2009. 208 с.

8. Целевая комплексная программа работ по поэтапному переводу первичной сети связи ВС РФ на цифровое телекоммуникационное оборудование. Утверждена МО РФ 30 декабря 2004 года.

References

1. Experimental planning in the search for optimal conditions / Yu.P. Adler [et al.]. 2nd ed. Moscow: Nauka, 1976. 280 p.

2. Ermishyan A.G. Theoretical Foundations of Building Military Communication Systems in Asso-

ciations and Formations: textbook. Part 1. Methodological Foundations for Building Organizational and Technical Systems of Military Communications. SPb.: VAS, 2005. 740 p.

3. Syzrantsev G.V., Ermishyan A.G., Lukin K.I., Fedolov A.V. Theoretical and Scientific-Practical Foundations for Building Special-Purpose Communication Systems: textbook for Universities; ed. by G.V. Syzrantsev. M.: Goryachaya Liniya–Telecom, 2023. 376 p.

4. Ermishyan A.G., Syzrantsev G.V., Dykov V.V. Theoretical and scientific-practical foundations for constructing communication systems in local wars and armed conflicts: textbook; ed. by Ermishyan A.G. St. Petersburg: VAS, 2006. 220 p.

5. Syzrantsev G.V. Theoretical and Scientific-Methodological Foundations for Ensuring the Building of Complex Organizational and Technical Systems of Military Communications in Local Wars and Armed Conflicts: monograph; ed. by Ermishyan A.G. SPb.: VAS, 2007. 180 p.

6. Shmelev A. A. Scientific and methodological support for the construction of highly dynamic special-purpose communication systems: Monograph; ed. by G.V. Syzrantsev. Moscow: NIISU, 2012. 220 p.

7. Lvov E.V. Theoretical and scientific-methodological foundations for ensuring the construction of complex organizational and technical systems of military communications of special operations forces: monograph; ed. by G.V. Syzrantsev. Moscow: 16th Central Research Institute, 2009. 208 p.

8. Targeted comprehensive program of works on the phased transfer of the primary communications network of the RF Armed Forces to digital telecommunications equipment. Approved by the RF Ministry of Defense on 30.12.2004.

УДК 69.036.7

doi: 10.53816/23061456_2025_5–6_37

**МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ПРИГОДНОСТИ
СПЕЦИАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ДЕГРАДАЦИИ И РИСКА
АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

**A MODEL FOR ASSESSING THE PARAMETERS OF THE OPERATIONAL
SUITABILITY OF SPECIAL STRUCTURES IN CONDITIONS OF DEGRADATION
AND RISK OF EMERGENCY SITUATIONS**

Канд. техн. наук Д.П. Мандрица, д-р техн. наук А.Н. Миронов

Ph.D. D.P. Mandritsa, D.Sc. A.N. Mironov

Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского

В рамках данной работы предложена модель оценки параметров эксплуатационной пригодности несущих конструкций специальных сооружений в условиях деградации и риска аварийных ситуаций. Разработанная модель использует комплексный подход на основе параметрической идентификации материалов и несущих конструкций специальных сооружений и создания критериев подобия для поврежденных и неповрежденных несущих конструкций, выявление критически важных несущих конструкций после воздействия аварийных нагрузок и воздействий. Разработана физическая модель параметрической идентификации специальных сооружений с учетом параметров поврежденности, прочности и деформативности конструкций. Построены критерии подобия несущих конструкций специальных сооружений для различных стадий эксплуатации.

Ключевые слова: параметры эксплуатационной пригодности, несущие конструкции, специальные сооружения, параметры поврежденности, параметрическая идентификация, критерии подобия.

Within the framework of this work, a model for assessing the parameters of the operational suitability of load-bearing structures of special structures in conditions of degradation and risk of emergency situations is proposed. The developed model uses an integrated approach based on parametric identification of materials and load-bearing structures of special structures of the launch complex and the creation of similarity criteria for damaged and undamaged load-bearing structures, identification of critically important load-bearing structures after exposure to emergency loads and impacts. A physical model of parametric identification of special structures has been developed, taking into account the parameters of damage, strength and deformability of structures. Criteria for the similarity of load-bearing structures of special structures for various stages of operation are constructed.

Keywords: operational suitability parameters, load-bearing structures, special structures, damage parameters, parametric identification, similarity criteria.

Введение

Рассмотрим порядок определения параметров эксплуатационной пригодности для периода нормальной эксплуатации, в том числе этапа проектирования, и периода интенсивного использования специального сооружения.

Особенностью периода нормальной эксплуатации специальных сооружений является процесс постепенной деградации свойств материалов и конструкций. В период интенсивного использования специального сооружения известны параметры повреждений для отдельных несущих конструкций, в то время как для других несущих конструкций такие данные отсутствуют.

В качестве исходных данных для оценки параметров эксплуатационной пригодности специальных сооружений принимаются: прочностные и деформационные характеристики материалов и конструкций специальных сооружений (СС); параметры поврежденности d_i , модели сопротивления бетона и арматуры σ_b^m, σ_s^m при различных аварийных нагрузках и воздействиях.

Целью разработки модели является получение формализованных зависимостей для параметров эксплуатационной пригодности несущих конструкций специальных сооружений в условиях воздействия поражающих факторов аварийных ситуаций.

С этой целью предлагается комплексный подход на основе параметрической идентификации материалов и несущих конструкций специальных сооружений и создания критериев подобия для поврежденных и неповрежденных несущих конструкций, выявление критически важных несущих конструкций после воздействия аварийных нагрузок.

Выделенные периоды эксплуатации СС стартового комплекса (СК) позволяют сформировать модель оценки параметров эксплуатационной пригодности несущих конструкций специальных сооружений

$$P_{\Sigma,i} = \Phi \left(\begin{matrix} \Phi_{Mi}, O_{pri}, \{D_i, A_d\}, \\ \{\epsilon_{bi}, \epsilon_{si}\}, \{R_{bi}, R_{si}, E_b, E_s\} \end{matrix} \right),$$

где Φ_{Mi} — модель нагрузок и воздействия;

O_{pri} — объемно-планировочные и конструктивные решения СС;

D_i, A_d — параметры поврежденности несущих конструкций, их размеры и глубина;

$\{\epsilon_{bi}, \epsilon_{si}\}, \{R_{bi}, R_{si}, E_b, E_s\}$ — прочностные и деформационные характеристики бетона и арматуры с учетом накопления остаточных деформаций в период нормальной эксплуатации, а также после периода интенсивного использования специального сооружения.

Предлагаемая модель учитывает особенности деформирования поврежденного бетона после аварийных нагрузок воздействий, условия эксплуатации поврежденных конструкций и остаточный ресурс после воздействия эксплуатационных нагрузок (для специальных сооружений — газодинамических нагрузок при пуске ракет космического назначения (РКН)). Блок-схема оценки параметров эксплуатационной пригодности специальных сооружений представлена на рис. 1.

Предлагается разделить задачи по оценке параметров эксплуатационной пригодности специального сооружения и остаточного ресурса несущих конструкций СС СК на две задачи: проектировочную (этап нормальной эксплуатации) и эксплуатационную.

Рассмотрим основные этапы модели оценки параметров поврежденности, остаточной прочности и остаточного ресурса несущих конструкций.

На первом этапе определяются параметры поврежденности несущих конструкций СС СК, которые включают: моделирование параметров аварийных нагрузок и воздействий и сравнение результатов экспериментально-теоретических исследований повреждений с определением размеров повреждений: глубины проникания, скорости деградации, температуры на поверхности несущих конструкций, трещинообразования в условиях горения и взрывов зарядов взрывчатых веществ (ВВ), параметров дробления и возможного откола.

Для определения параметров поврежденности специальных сооружений СК широкие возможности предоставляют методы параметрической идентификации [4–7]. Оценивание поврежденности и идентификация параметров конструкций или всего сооружения позволяют построить уточненную математическую модель, которая затем используется для выполнения проверочных расчетов и технико-экономического



Рис. 1. Блок-схема модели оценки параметров эксплуатационной пригодности и остаточного ресурса несущих конструкций СК

обоснования с целью принятия решения о продолжении нормальной эксплуатации, восстановлении или разборке специального сооружения в зависимости от степени его поврежденности. Укрупненная схема такой процедуры изображена на рис. 2.

В процессе оценивания поврежденности и надежности несущих конструкций и сооружений центральное место занимают процеду-

ры их обследования, в которых используются неразрушающие испытания с определением нагрузок, деформаций, напряжений, перемещений и ускорений [1]. По этим данным оцениваются статические (прочность, жесткость) и динамические (собственные частоты, демпфирование) характеристики несущих конструкций специальных сооружений. Наряду с этим могут быть получены количественные оценки таких повреж-

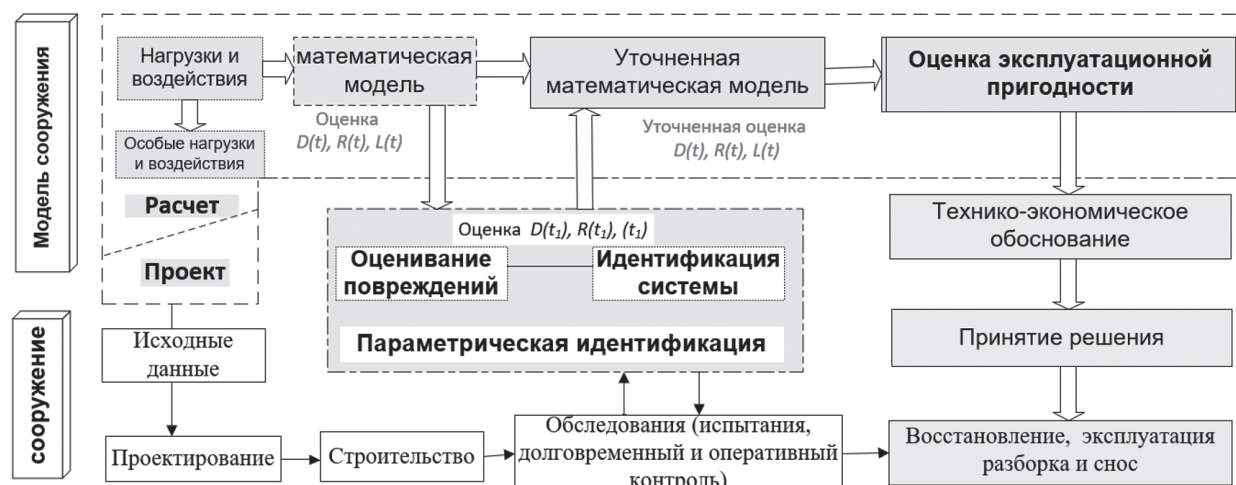


Рис. 2. Физическая модель параметрической идентификации специальных сооружений СК:
 $D(t)$ — поврежденность; $R(t)$ — прочность; $L(t)$ — надежность

дений, как трещины и отколы, локальная потеря устойчивости и др.

Параметрическая идентификация материалов и несущих конструкций специальных сооружений включает: идентификацию параметров динамической нагрузки на специальное сооружение; параметрическую идентификацию свойств материалов несущих конструкций специальных сооружений.

Идентификация параметров динамической нагрузки на специальное сооружение выполняется с использованием метода статистических испытаний на основе полей давлений:

$$p_c(y, z) = \left(\frac{\rho}{2} \right) C_p(y, z, \varepsilon) \bar{V}^2(z);$$

$$p_g(y, z, t) = \rho C_p(y, z, \varepsilon) \bar{V}(z),$$

где ρ — плотность воздуха;

C_p — коэффициент давления.

Скорость представляется суммой среднего значения $\bar{V}(z)$ и пульсации $v(y, z, t)$ (рис. 3).

Параметрическая идентификация свойств материалов несущих конструкций специальных сооружений основывается на построении математической модели поврежденного бетона с учетом возникновения и нарастания напряжений, деформаций и накопления повреждений при различных нагрузках и воздействиях.

Для описания модели деформирования железобетона в условиях одноосного сжатия (растяжения) воспользуемся нелинейным интегральным уравнением Вольтера вида [2]:

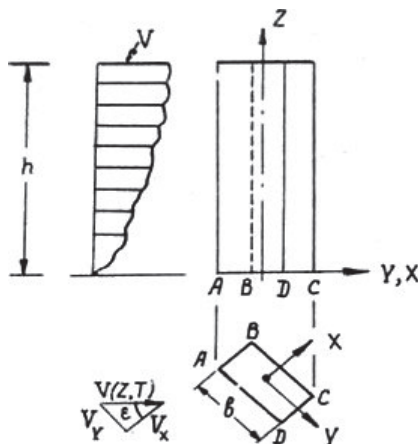


Рис. 3. Схема представления динамического давления на специальное сооружение

$$\sigma = g(\varepsilon(t), k_1, k_2, \dots) + \int_0^t h(\varepsilon(\tau), d_1, d_2, \dots) f(t - \tau) d\tau,$$

где σ, ε — скалярные компоненты напряжения и деформации соответственно, измеряемые при одноосном растяжении или сжатии образца.

Для каждого i -го испытания уравнение σ записывается в виде

$$\sigma_i = g(\varepsilon_i, k_1, k_2, \dots) + h(\varepsilon_i, d_1, d_2, \dots) \sum_{j=1}^N C_j e^{R_j t}.$$

С учетом полученных результатов параметрической идентификации и необходимых испытаний определяются физические критерии подобия несущих конструкций специальных сооружений и расчетных моделей несущих конструкций, получивших повреждения: по перемещениям, трещиностойкости и остаточным деформациям.

Так, критерий подобия по поврежденности имеет вид

$$k_{f_2} = \frac{(f_i - f_{el})^m}{(f_i - f_{el})^{con}} \cdot \frac{(f_{dest})^{con}}{(f_{dest})^m},$$

где f_i — нагрузка на несущую конструкцию, соответствующая i -нагрузению;

f_{el} — нагрузка, соответствующая упругим перемещениям в несущей конструкции;

f_{dest} — нагрузка, соответствующая разрушению несущей конструкции.

Критерии подобия по остаточным деформациям, перемещениям и напряжениям будут иметь вид:

— по остаточным деформациям

$$k_{\varepsilon, i} = \frac{\varepsilon_{i, \text{ост}}^m}{\varepsilon_{i, \text{ост}}^{con}};$$

— по остаточным перемещениям

$$k_{f, i} = \frac{f_{i, \text{ост}}^m}{f_{i, \text{ост}}^{con}},$$

— по остаточным напряжениям

$$k_{\sigma, i} = \frac{\sigma_{i, \text{ост}}^m}{\sigma_{i, \text{ост}}^{con}}.$$

Формируются зоны с критическими параметрами поврежденности, которые позволят идентифицировать предельные состояния по эксплуатационной пригодности.

На втором этапе производится расчет параметров остаточной прочности и остаточных деформаций поврежденных несущих конструкций. При этом применяется комплексный подход на основе численных расчетов параметров напряженно-деформированного состояния несущих конструкций с учетом деградации бетона и образования откола при распространении ударной волны в бетоне [3].

Исходя из разработанных критериев подобия выделяются следующие задачи.

Прямая задача (проектировочная) — по известным экспериментальным данным испытаний моделей конструкций и критериям подобия определяют параметры повреждений, остаточной прочности, трещиностойкости и деформаций несущей конструкции:

– по перемещениям

$$M_{con} = \frac{A_m}{A_{con}} \cdot \frac{l_{con}^2}{l_m^2} \cdot \frac{M_m}{k_y} \cdot \frac{E_{m,el}}{E_{con,el}} \cdot \frac{I_m}{I_{con}};$$

– по трещиностойкости

$$y_{t,i}^{con} = \frac{R_{bt,seri}^m}{R_{bt,seri}^{con}} \cdot \frac{I_{red,i}^m}{I_{red,i}^{con}} \cdot \frac{y_{t,i}^m}{k_{crc,i}}; \quad \sigma_{s,i}^{con} = \frac{\sigma_{s,i}^m}{k_{a,i}} \cdot \frac{E_i^{con}}{E_i^m} \cdot \frac{l_{t,i}^m}{l_{t,i}^{con}};$$

– по остаточным деформациям

$$r^m = \frac{y_{max}^m \cdot r_{el}^m - r^m \cdot y_{el}^m}{y_{max}^{con} \cdot r_{el}^{con} - r^{con} \cdot y_{el}^{con}} \cdot \frac{r^{con}}{k_{\epsilon,res}} \cdot \frac{r_{el}^{con}}{r_{el}^m}.$$

Обратная задача (проверочная) — по известным экспериментальным данным испытаний моделей конструкций и параметрам поврежденности материалов и конструкций определяют параметры остаточной прочности и деформаций:

– по перемещениям

$$M_{con} = \frac{A_m}{A_{con}} \cdot \frac{l_{con}^2}{l_m^2} \cdot \frac{M_m}{k_y} \cdot \frac{E_{m,el}}{E_{con,el}} \cdot \frac{I_m}{I_{con}};$$

– по остаточным деформациям

$$r^m = \frac{y_{max}^m \cdot r_{el}^m - r^m \cdot y_{el}^m}{y_{max}^{con} \cdot r_{el}^{con} - r^{con} \cdot y_{el}^{con}} \cdot \frac{r^{con}}{k_{\epsilon,res}} \cdot \frac{r_{el}^{con}}{r_{el}^m}.$$

На третьем этапе выполняется расчет несущих конструкций напряженно-деформированного состояния несущих конструкций СС СК на действие эксплуатационных динамических нагрузок при пуске РКН. При этом учитываются следующие факторы: процесс накопления повреждений и остаточных деформаций, а также снижение прочностных характеристик бетона и арматуры в процессе интенсивного запуска РКН.

На четвертом этапе производится расчет несущих конструкций с повреждениями на действие эксплуатационных динамических нагрузок. Анализ представленных программных комплексов систем автоматизированного проектирования (САПР) ANSYS, LC DINA, Dlubal RFEM 5.29, Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2019 и др. позволил разделить их использование по характеру и интенсивности приложения нагрузок, параметрам повреждений и разрушений, а также возможности



Рис. 4. Схема применения численных методов расчета специальных сооружений

определения остаточных деформаций и учету их в последующих расчетах остаточного ресурса. Схема применения численных методов расчета специальных сооружений в условиях аварийных нагрузок и воздействий представлена на рис. 4.

Предлагаемый комплексный подход позволяет снизить время проведения обследования поврежденных специальных сооружений и при необходимости спланировать ремонтно-восстановительные работы в минимальном объеме для обеспечения эксплуатационной пригодности.

Вывод

Разработана модель оценки параметров эксплуатационной пригодности несущих конструкций специальных сооружений после аварийных нагрузок и воздействий. Предлагаемая модель учитывает комплексный подход к оценке параметров эксплуатационной пригодности с учетом параметрической идентификации материалов и критериев подобия несущих конструкций специальных сооружений.

Список источников

1. ГОСТ 31937–2024. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. М.: Российский институт стандартизации, 2024, 104 с.
2. Мандрица Д.П., Глуханов А.В. Методика расчета остаточного ресурса несущих конструкций зданий и сооружений по степени их физического износа // Труды ВКА им. А.Ф. Можайского. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского. 2012. № 637–1. С. 10–13.
3. Андросова Н.Б. Исследование живучести коррозионно-повреждаемых железобетонных балочных и рамных конструкций в заданных состояниях: автореф. диссертация канд. тех. наук. Орел, 2009. 21 с.
4. Ланкина Ю.А., Митрошин И.А., Сарайкин А.С. Современные методы диагностики технического состояния строительных конструкций // Ogarev-online. 2014. Спецвыпуск. URL: <https://journal.mrsu.ru/arts/sovremennye-metody-diagnostiki-tekhnicheskogo-sostoyaniya-stroitelnykh-konstrukcij> (дата обращения: 21.02.2025).

5. Степанов В.Б. Методика определения ширины раскрытия коррозионных трещин для оценки технического состояния железобетонных конструкций // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 5 (31). С. 6–11.

6. СП 296.1325800.2017. Здания и сооружения. Особые воздействия. М.: Стандартинформ, 2017. 28 с.

7. ГОСТ 27751–2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2015. 23 с.

References

1. GOST 31937–2024. Buildings and structures. Rules of inspection and monitoring of technical condition. Moscow: Russian Institute of Standardization, 2024, 104 p.
2. Mandritsa D.P., Glukhanov A.V. Methodology for calculating the residual resource of load-bearing structures of buildings and structures according to the degree of their physical wear // Proceedings of the A.F. Mozhaisky Academy of Fine Arts. Saint Petersburg: Mozhaisky Academy of Fine Arts, 2012. No 637–1. Pp. 10–13.
3. Androsova N.B. Investigation of the survivability of corrosively damaged reinforced concrete beam and frame structures in extreme conditions: abstract dissertations of the Candidate of Technical Sciences. Orel, 2009. 21 p.
4. Lankina Yu.A., Mitroshin I.A., Sarai-kin A.S. Modern methods of diagnostics of the technical condition of building structures // Ogarev-online. 2014. Special issue. URL: <https://journal.mrsu.ru/arts/sovremennye-metody-diagnostiki-tekhnicheskogo-sostoyaniya-stroitelnykh-konstrukcij> (date of accesses: 21.02.2025).
5. Stepanov V.B. Methodology for determining the opening width of corrosion cracks for assessing the technical condition of reinforced concrete structures // Engineering and Construction Magazine. 2012. No 5 (31). Pp. 6–11.
6. SP 296.1325800.2017. Buildings and structures. Special effects. M.: Standartinform, 2017. 28 p.
7. GOST 27751–2014. Reliability of building structures and foundations. Basic provisions. M.: Standartinform, 2015. 23 p.

УДК 629.78

doi: 10.53816/23061456_2025_5–6_43

**ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ПОСТРОЕНИЮ МНОГОУРОВНЕВОЙ СИСТЕМЫ
СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ В ИНТЕРЕСАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГЛОБАЛЬНОГО
ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА**

**PROPOSALS FOR BUILDING A MULTI-LEVEL SATELLITE COMMUNICATION
SYSTEM IN THE INTERESTS OF ENSURING GLOBAL INFORMATION
EXCHANGE**

*Канд. техн. наук А.А. Ковальский, канд. техн. наук Е.С. Абазина,
канд. техн. наук С.Х. Зиннуров, М.А. Молдованов*

Ph.D. A.A. Kovalsky, Ph.D. E.S. Abazina, Ph.D. S.H. Zinnurov, M.A. Moldovanov

Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского

В статье представлены краткие результаты анализа тенденций развития современных систем спутниковой связи, ориентированных на предоставление глобального высокоскоростного информационного обмена. Выполненный обзор, а также учет ограничений по развертыванию наземной инфраструктуры шлюзовых станций спутниковой связи на всех мировых континентах послужили основой для предложений по построению отечественной многоуровневой системы спутниковой связи. В работе представлены варианты многоуровневой орбитальной группировки космических аппаратов связи на разных высотах, указаны их достоинства и недостатки с позиций общей устойчивости сети спутниковой связи. Ввиду высокой динамики изменения топологии орбитальной группировки формируемой многоуровневой спутниковой сети связи, отдельное внимание уделено выбору маршрутизации на космических аппаратах связи.

Ключевые слова: система спутниковой связи, многоуровневая орбитальная группировка космических аппаратов связи, маршрутизация в спутниковой связи.

The paper presents modern trends in the development satellite communication systems aimed at ensuring global high-speed information exchange analysis brief results. The realized review, as well as consideration of the specifics the key of which are the ground gateway satellite communications stations infrastructure deployment, served as the basis for domestic multi-level satellite communications system construction proposals. The paper presents communication spacecraft multi-level orbital constellation options at different altitudes, their advantages and disadvantages in terms of the satellite communications network overall stability. Due to the high dynamics of changes in the multi-level satellite communications network orbital grouping topology, special attention is paid to the information traffic routing choice in communication spacecrafts.

Keywords: satellite communication system, communication spacecraft multilevel orbital grouping, routing in satellite communications.

Введение

Развитие средств робототехники, интернета вещей, распространение удаленно управляемого оборудования различного назначения, средств дистанционного мониторинга состояния разных объектов имеет следствием необходимость совершенствования способов предоставления телекоммуникационных услуг мобильным абонентам и группам распределенных подвижных объектов. Единственным родом связи, позволяющим организовать глобальный охват абонентов, как на месте, так и в движении, в любой точке Земли (на суше и в акваториях), а также в воздушном и околоземном пространстве, является спутниковая связь. Необходимость построения систем глобальной спутниковой связи, ориентированных на высокоскоростной обмен мультисервисной информацией, особенно реального времени, объем которой постоянно увеличивается, определил необходимость снижения высот орбит космических аппаратов (КА) до сверхнизких (Very Low Earth Orbit — VLEO): 250–400 км. Освоение сверхнизких орбит открывает новые возможности для космических систем и систем спутниковой связи.

К основным достоинствам VLEO стоит отнести:

- снижение массогабаритных показателей КА, возможность осуществления групповых запусков роя КА, снижение энергетических затрат и финансовых издержек на запуск;
- снижение требований к радиационной стойкости оборудования КА на VLEO, повышение надежности и сроков эксплуатации КА;
- повышение разрешающих возможностей оптоэлектронного оборудования дистанционного зондирования Земли и визуального мониторинга объектов из космоса;
- снижение количества космического мусора за счет способности к самоуничтожению при завершении жизненного цикла КА путем возвращения в верхние слои атмосферы Земли и безопасного распада в течение нескольких дней;
- снижение требований к энергетике терминального оборудования абонентов спутниковой связи;
- возможность перехода на высокочастотный диапазон электромагнитных волн, связан-

ный прямой зависимостью со скоростью передачи информации в спутниковой радиолинии;

- значительное снижение задержки при передаче информации через КА VLEO, что наиболее критично для трафика реального времени.

Однако, применение КА на VLEO имеет и ряд трудностей, требующих поиска технических и организационных решений:

- подверженность КА VLEO значительному влиянию атмосферного сопротивления, ограничивающего срок службы КА VLEO, а также способствующее быстрому сходу с орбиты при отсутствии механизмов компенсации сопротивления атмосфере;
- кратное увеличение численности КА VLEO в сравнении с более высокими орбитами для обеспечения устойчивого информационного обмена;
- сокращение времени пребывания КА VLEO в зоне взаимной радиовидимости с земной станцией спутниковой связи (терминалом спутниковой связи абонента) до единиц минут;
- необходимость адаптации существующих протоколов управления связью при смене ретранслирующего КА связи (КАС) в процессе информационного обмена (протоколы «хэндовера») или разработки новых;
- ужесточение требований к электромагнитной совместимости бортового оборудования многотысячной группировки КА VLEO с КА на других орбитах;

- необходимость создания устойчивой сети межспутниковой связи как в радио, так и в оптическом диапазонах, а также разработки альтернативной, в сравнении с наземным размещением, сети шлюзовых станций для обеспечения выполнения требований по своевременной доставке трафика, критичного к задержке.

Таким образом, очевидна задача, состоящая в разработке предложений по построению многоуровневой орбитальной группировки космических аппаратов связи в интересах обеспечения глобального устойчивого информационного обмена. Кроме того, отдельного внимания требуют вопросы маршрутизации в многоуровневой орбитальной группировке космических аппаратов связи, что определяется высокой динамикой изменения топологии сети спутниковой связи на ее основе.

Предложения по построению многоуровневой системы спутниковой связи

Существующие системы спутниковой связи (ССС), функционирующие с использованием орбитальных группировок (ОГ) КА связи (КАС) на геостационарной орбите (35790 км), на низких круговых орбитах (700–800 км) и высоких эллиптических орбитах (апогей свыше 35790 км, как правило около 42000 км), имеют взаимоисключающие достоинства и недостатки. Так, применение СССР с использованием геостационарных КАС не обеспечивает покрытие северных (южных) приполярных районов, а КАС на высокоэллиптических орбитах, в свою очередь, не обеспечивают связи с абонентами экваториальных областей и областей южного полушария Земли [1–7]. Кроме того, КАС, размещаемые на геостационарных и высокоэллиптических орбитах, имеют высокую задержку передачи информации, что критично для трафика реального времени.

Основным критерием при построении ОГ КАС глобальной связи в рамках ранее принятых подходов был критерий минимального и достаточного количества КАС в ОГ, ориентированный на достижение компромисса между необходимостью наведения и слежения земными станциями (ЗС) за КАС в ОГ и уровнем автоматизации, вычислительными возможностями и элементной базой прошлых лет. Современные достижения и научно-технический прогресс позволяют снять указанные ограничения. В этой связи переход на сверхнизкие орбиты в интересах организации сети глобального высокоскоростного информационного мультисервисного обмена представляется актуальным.

Интенсивное освоение VLEO обосновано формированием систем глобальной спутниковой связи, ориентированных на предоставление потребителям в любой точке мира информационных скоростей, сопоставимых со скоростями наземных операторов связи. Создание отечественной СССР глобальной высокоскоростной связи находится в стадии разработки. Зарубежные проекты не могут быть взяты в качестве полного прототипа для реализации в Российской Федерации (РФ). Существующие технические решения по построению СССР на низких и сверхнизких орбитах предусматривают обязательное создание наземной сети шлюзовых станций (ШС) спутни-

ковой связи, предназначенных для обеспечения привязки и сопряжения ОГ КАС с наземными транспортными сетями связи на всех континентах земного шара. Отсутствие возможности по размещению ШС за пределами территории РФ существенно осложняет развертывание и применение СССР на низких и сверхнизких орбитах. Дополнительным фактором, ограничивающим выбор сверхнизких орбит для создания ОГ КАС РФ, является ее высокая насыщенность КАС иностранных государств, что определяет необходимость применения дополнительных мер обеспечения электромагнитной совместимости КАС, усложнения управления ОГ КАС (в том числе для предотвращения столкновений). Указанные факторы актуализируют необходимость проведения предварительных расчетов баллистической структуры ОГ КАС РФ, ориентированной на глобальный высокоскоростной информационный обмен [8–11].

Поскольку формирование наземной телекоммуникационной инфраструктуры перспективной СССР РФ ограничено возможностью размещения шлюзовых земных станций лишь на своей территории, то их вынос на отдельный уровень ОГ КАС РФ представляется логичным решением.

Для реализации указанной цели были сформулированы требования к многоуровневой СССР РФ глобального информационного обмена:

- обеспечивать обслуживание и непрерывную круглосуточную связь, включая приполярные районы;
- обеспечивать информационный обмен абонентов наземного, воздушного и морского базирования как между собой, так и с абонентами других сетей военной связи (стационарных и мобильных, использующих различные телекоммуникационные технологии), что вызовет необходимость использования достаточного числа ШС, размещаемых, как правило, на территории РФ;
- из-за ограниченности возможностей по размещению ШС на территории других стран основные телекоммуникационные ресурсы для обеспечения глобальности, устойчивости и непрерывности связи должны быть перенесены в космический сегмент СССР;
- должна быть предусмотрена возможность интеграции создаваемой системы с существующими системами связи (в том числе — космическими) силовых структур РФ;

– КАС должны оснащаться высокоточной системой ориентации и стабилизации для удержания антенных систем и формируемых ими лучей в заданном направлении;

– предусмотреть создание высокоскоростных межспутниковых линий (в том числе с использованием линий в сверхвысокочастотном, а также в оптическом диапазоне) как для обеспечения устойчивости, так и для обеспечения требуемой общей пропускной способности ССС;

– разработать (модифицировать) протоколы информационного обмена и управления трафиком сетевого взаимодействия между орбитальными уровнями (верхним и нижним) перспективной ССС, мобильными спутниковыми терминалами абонентов и наземными ШС;

– предусмотреть реализацию сетевых технологий высокоскоростной коммутации и маршрутизации информационных потоков, как в наземном, так и в ОГ КАС многоуровневой ССС;

– предусмотреть возможность одновременного управления ОГ КАС многоуровневой ССС и трафиком по каналам межспутниковых, абонентских и фидерных радиолиний с помощью автоматизированной системы управления;

– предусмотреть возможность широковещательного режима в каналах управления многоуровневой ССС.

Таким образом, ОГ КАС будет иметь структуру, включающую минимум два разновысот-

ных орбитах с высотами, отличными от используемых зарубежными глобальными высокосортными ССС. КАС из состава ОГ верхнего уровня (с функционалом ШС) будут обеспечивать коммутацию низкоорбитальной группировки, а также взаимодействие с наземной телекоммуникационной инфраструктурой (рис. 1).

Для выработки предложений по построению ОГ КАС многоуровневой ССС было проведено имитационное моделирование с применением пакета прикладных программ Matlab/Simulink.

В результате получено два варианта построения ОГ КАС многоуровневой ССС:

– нижний уровень ОГ КАС на высоте 1000 км с наклоном 88 град. включает 4 орбитальные плоскости со сдвигом в 45° по 6 КАС в каждой;

– верхний уровень ОГ КАС на высоте 8000 км с наклоном 88 град. может включать в первом варианте 8 КАС в одной плоскости (рис. 2), во втором варианте — две взаимно перпендикулярные плоскости по 4 КАС в каждой (рис. 3).

Между КАС нижнего и верхнего уровня, а также между КАС верхнего уровня организуются межспутниковые линии. Связь между КАС нижнего уровня и спутниковыми терминалами абонентов, а также КАС верхнего уровня и ШС осуществляется по абонентским и фидерным радиолиниям соответственно (пунктирные линии рис. 2, 3).



Рис. 1. Структурная схема многоуровневой ССС

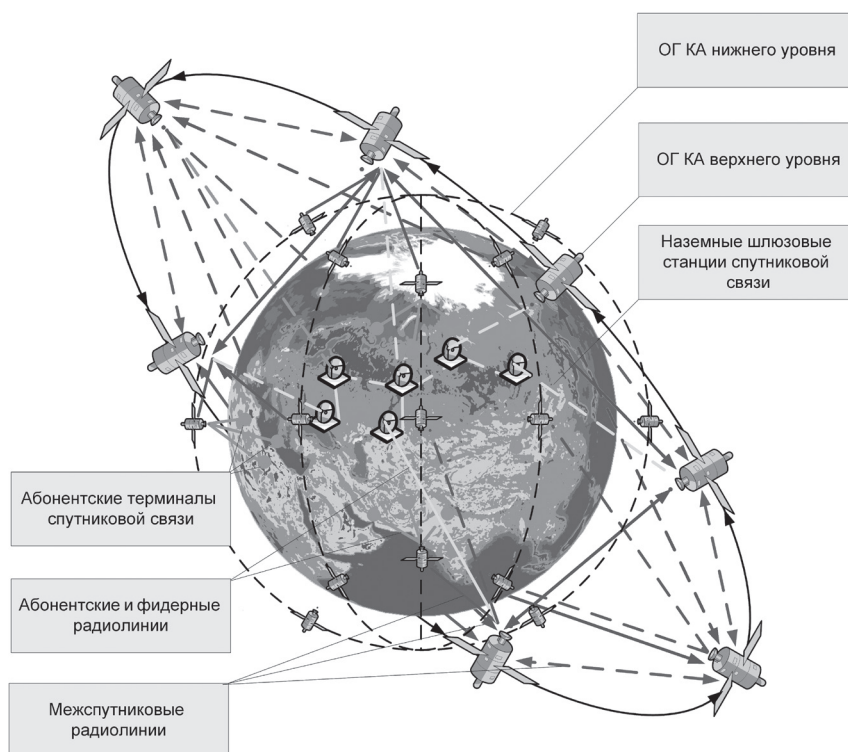


Рис. 2. Вариант построения ОГ КАС верхнего уровня ССС: восемь КАС в одной плоскости

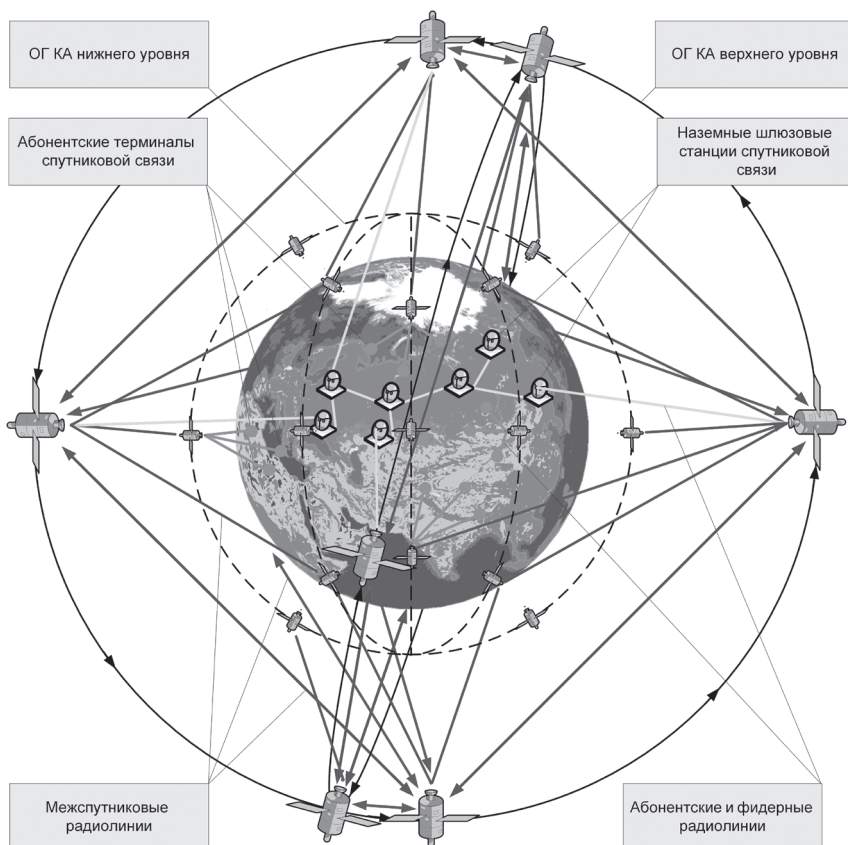


Рис. 3. Вариант построения ОГ КА верхнего уровня ССС: две взаимно перпендикулярные плоскости по четыре КАС в каждой

При первом варианте построения ОГ КАС многоуровневой ССС постоянные межспутниковые радиолинии между восемью КАС должны быть организованы в одной плоскости, что обеспечит для каждого КАС прямую видимость одновременно четырех соседних с ним КАС, формируя топологическую структуру двойного кольца, повышая устойчивость ССС.

Во втором варианте организуются постоянно действующие спутниковые радиолинии между четырьмя КАС одной плоскости и межспутниковые линии КАС, организуемые на время пролета одного из КАС в взаимно перпендикулярных плоскостях, повышая связность ОГ КАС в сравнении с первым вариантом.

Временные среднескоростные тракты образованы межспутниковыми радиолиниями, которые организуются на время взаимной радиовидимости, которое определяется взаимным положением спутниковых терминалов абонентов и КАС нижнего уровня (абонентские радиолинии), КА нижнего и верхнего уровня (межспутниковые линии), а также КАС верхнего уровня и ШС (фидерные радиолинии).

Устойчивость многоуровневой ССС определяется связностью и, соответственно, числом возможных радиолиний, однако их увеличение на КАС ограничено массогабаритными и энергетическими характеристиками, а также требованиями по управлению, ориентации и стабилизации КАС.

Создание перспективной многоуровневой ССС предполагает поиск решения ряда организационных и технических задач связи, к числу которых относятся:

- поиск и идентификация абонентов с целью организации сеанса информационного обмена;
- организация связи в отдаленных и труднодоступных районах (включая приполярные территории, северный континентальный шельф и северные морские коммуникации);
- обеспечение непрерывного информационного обмена с использованием современных технологий связи;
- ведение базы данных о местах дислокации (геолокация) абонентов ССС;
- организация переключения и сопровождения терминала абонента ССС при изменении зоны радиопокрытия КА связи, в которой он находится;

– обмен служебными сообщениями системы управления сетевыми ресурсами ССС;

– коммутация и маршрутизация информационных потоков в трактах постоянных и временных межспутниковых радиолиний;

– организация автоматизированного оценивания качества обслуживания абонентов ССС;

– обеспечение защищенной связи абонентов ССС.

Приведенные результаты расчета выполнены для установленных в настоящее время диапазонов С-, Р-, S-, Ku-, выделенных для спутниковой связи. Большее уменьшение высоты нижнего уровня ОГ КАС до сверхнизких (менее 400 км) потребует увеличения числа КАС в группировке, в то время как период нахождения каждого КАС в зоне взаимной радиовидимости с ЗС (стационарной) не будет превышать 5–7 минут. Указанные обстоятельства определяют задачу выбора (адаптации существующего и / или разработки нового) алгоритма маршрутизации для перспективных ССС.

Предложения по маршрутизации мультисервисного трафика в ОГ КАС многоуровневой ССС

Наличие межспутниковых линий в ОГ КАС многоуровневой ССС, использование низких (сверхнизких) орбит, движение КАС по которым характеризуется малым временем нахождения в зоне взаимной радиовидимости с земными станциями и друг с другом, определяют актуальность поиска подходов к маршрутизации мультисервисного трафика на КАС. Высокая динамика КАС относительно ЗС ограничивает применимость наиболее часто используемых методов маршрутизации, реализованных в наземных сетях [12–15]. Для решения представленной задачи существуют три направления решения: использование методов дискретно-стационарной динамической маршрутизации с виртуальной топологией; методов маршрутизации с виртуальными узлами [12, 13]; методов маршрутизации в сетях с ячеистой топологией (mesh-сетях).

Способ маршрутизации, основанный на алгоритме DT-DVTR (Discrete-Time Dynamic Virtual Topology Routing) — дискретно-стационарной динамической маршрутизации с виртуальной топологией, учитывает периодический

характер изменений в топологии ОГ КАС. В соответствии с этим алгоритмом шкала времени делится на интервалы стационарности, продолжительность которых определяется временем взаимной радиовидимости с другими КАС и ЗС. При этом топология сети меняется только в начале и конце установленных интервалов стационарности, оставаясь постоянной до начала следующего интервала. Таким образом, в течение интервала стационарности таблицы маршрутизации не меняются, а построение маршрута может осуществляться одним из способов, традиционных для наземных сетей исходя из возможностей их реализации при массогабаритных и энергетических ограничениях, а также с учетом требований к радиационной стойкости элементной базы КАС. Все множество возможных таблиц маршрутизации для всех интервалов стационарности предполагается иметь на борту каждого КАС с возможностью обращения к ней в соответствующем интервале. Это является недостатком метода, поскольку предъявляет высокие требования как к объему бортовой памяти, так и к надежности всего телекоммуникационного оборудования. Одним из возможных вариантов уменьшения требуемого объема памяти или создания дополнительного резервирования является организация обмена таблицами между соседними КАС.

Подход к маршрутизации на КАС в соответствии с алгоритмом VN (Virtual Node) топологии виртуальных узлов заключается в подмене реальных топологических изменений ее виртуальной стационарностью при формировании таблиц маршрутизации, исключая их перестроение. С этой целью вводится виртуальная топология, которая является суперпозицией виртуальных узлов и физической топологии ОГ КАС. В течение определенного периода времени каждый виртуальный узел представляет собой определенный физический КАС, находящийся в заданной области. Пока он остается в ней, виртуальная топология считается неизменной. Как только КАС покидает ее, виртуальный узел соотносится с другим КАС, который вошел в эту область. Первый КАС передает второму всю информацию, необходимую для работы данного виртуального узла. Задача маршрутизации решается уже над виртуальной топологией, и при передаче трафика по протоколу маршрутизации

нет необходимости слежения за динамикой изменения реальной топологии ОГ КАС [12].

Одним из наиболее популярных направлений разрешения противоречия между быстро меняющейся топологией многоуровневой ССС, не требующей обновления таблиц маршрутизации по всей сети, и минимизацией временных, вычислительных, энергетических ресурсов многоуровневой ССС и ее пропускной способности, является развитие гибридных протоколов маршрутизации в mesh-сетях. Mesh-сети — сети с ячеистой топологией, имеют кластерную структуру, предполагающую в рамках кластера возможность создания полносвязной топологии, что определяет возможность самовосстановления сети в случае деградации ее узлов. Протоколы маршрутизации, используемые в ячеистых сетях, классифицируются на проактивные (стационарные), характеризующиеся обновлением таблиц маршрутизации при каждом изменении топологии сети с пересылкой их между всеми узлами; реактивные (динамические), формирующие маршрутные таблицы в результате широковещательных запросов с последующим ожиданием ответа от узла-получателя, и гибридные — совмещающие два предыдущих протокола: проактивные протоколы используются для маршрутизации между кластерами, реактивные — внутри кластера [14–15].

Топология ОГ КАС постоянно меняется: КАС находятся в движении, расстояние между ними (особенно на разных орбитах) постоянно меняется. В этой связи топологию ОГ КАС целесообразно свести к кластерной, применив для маршрутизации подходы, используемые в mesh-сетях, а также для минимизации динамики изменения топологии — использовать способы назначения периодов стационарности DT-DVTR или VN. В качестве кластеров для многоуровневой ССС желательно назначать ячейки КАС с объемом не более 10 узлов на одноименной орбите, с применением внутри кластера проактивных протоколов, а между — реактивных, основу которых составляет алгоритм Дейкстры. Такой подход позволит разделить непрерывно меняющуюся топологию на n дискретных топологий с небольшими изменениями между соседними кластерами, при этом, чем больше n , тем меньше топологическая разница между каждым соседним кластером. Если n выбрано корректно,

разница в задержке, вносимая этим методом, может быть незначительной. Кроме того, топология, используемая для расчетов маршрутизации, является статичной.

Заключение

Поиск решений в области обеспечения глобального устойчивого информационного обмена является одной из приоритетных современных задач. Предоставление высокоскоростного доступа в Интернет, обмен трафиком, критичным к временной задержке, ограничения на размещение шлюзовых станций по всему миру являются ключевыми факторами, определяющими формирование разнорысотной структуры ОГ КАС многоуровневой ССС. Усложнение структуры ОГ КАС совместно с необходимостью организации высокосортной устойчивой глобальной связи требуют решения множества технических вопросов, наиболее важными из которых являются баллистические расчеты ОГ КАС многоуровневой ССС и способы маршрутизации мультисервисного трафика в высокодинамичной сети.

Список источников

1. Стародубцев Ю.И., Иванов С.А., Закалкин П.В. Концептуальные направления решения проблем обеспечения устойчивости Единой сети электросвязи Российской Федерации в интересах органов государственной власти и военного управления // Военная мысль. 2021. № 4. С. 39–49.
2. Остроумов О.А. Методология обеспечения устойчивого функционирования системы связи — критически важного объекта системы управления // Военная мысль. 2022. № 9. С. 52–58.
3. Цветков К.Ю., Осташов И.Т., Косяков Е.Н. Радиорелейные и спутниковые системы передачи информации специального назначения: учебник. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2013. 430 с.
4. Мануйлов Ю.С., Павлов А.Н., Новиков Е.А. и др. Системный анализ и организация автоматизированного управления космическими аппаратами: учебник. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2010. 266 с.
5. Ермишян А.Г. Теоретические основы построения систем военной связи в объединениях и соединениях. Часть 1. Методологические основы построения организационно-технических систем военной связи. СПб.: ВАС, 2005. 740 с.
6. Камнев В.Е., Черкасов В.В., Чечин Г.В. Спутниковые сети связи: учеб. пособие. М.: Альбина Паблишер, 2004. 536 с.
7. Невдяев Л.М., Смирнов А.А. Персональная спутниковая связь. М.: ТЭК, 1998. 216 с.
8. Цветков К.Ю., Родионов А.В., Акмоллов А.Ф. и др. Концепция построения разнорысотной многоспутниковой системы связи с мобильными абонентами // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2011. № 630. С. 5–10.
9. Акмоллов А.Ф., Ковальский А.А., Ефимов С.Н. Предложения по созданию и функционированию многоспутниковой системы связи на основе разнорысотной орбитальной группировки // Труды учебных заведений связи. 2020. Т. 6. № 1. С. 22–31.
10. Цветков К.Ю., Родионов А.В., Акмоллов А.Ф. и др. Баллистическое построение разнорысотной многоспутниковой системы связи с мобильными абонентами // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2012. № 634. С. 45–56.
11. Ефимов С.Н., Косаревиц Д.В., Викторов Е.А. и др. Пропускная способность межспутниковых и фидерных радиолиний разнорысотной многоспутниковой системы связи // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2011. № 633. С. 121–136.
12. Муфтиев Р.Г., Хасанов В.Х., Закирьянова Г.Т. Беспроводные сети: монография. Уфа: Уфимский институт (филиал) Российского государственного торгово-экономического университета, 2011. 233 с.
13. Абазина Е.С., Зиннуров С.Х. Выбор прототипа протокола маршрутизации телекоммуникационной сети подсистемы информационного обеспечения сложной эргатической системы // Сборник трудов XLIII Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных технических и информационных систем». Серпухов, 2024. С. 106–111.
14. Сорокин М.Ю., Селифанов В.А., Фролов М.А. Анализ применимости стандартных протоколов динамической маршрутизации в сетях спутниковой связи на основе низкоорбитальных космических аппаратов // Ракетно-космичес-

кое приборостроение и информационные системы. 2021. Том 8. Вып. 4. С. 63–71.

15. Фэй Чжэн, Чао Ван, Цзоу Чжоу и др. Стратегия межспутниковой маршрутизации LEO на основе модифицированного алгоритма Q-маршрутизации // Журнал EURASIP по беспроводным коммуникациям и сетям, номер статьи: 36 (2022) // URL: <https://jwcn-urasipjournals.springeropen.com/articles/10.1186/s13638-022-02119-1> (дата обращения: 14.02.2025).

References

1. Starodubtsev Yu.I., Ivanov S.A., Zakalkin P.V. Conceptual directions for solving the problems of ensuring the sustainability of the Unified Telecommunication Network of the Russian Federation in the interests of government bodies and military command // *Military Thought*. 2021. No 4. Pp. 39–49.
2. Ostroumov O.A. Methodology for ensuring the sustainable functioning of the communication system — a critically important object of the control system // *Military Thought*. 2022. No 9. Pp. 52–58.
3. Tsvetkov K.Yu., Ostashov I.T., Kosyakov E.N. Radio relay and satellite systems for special-purpose information transmission: textbook. SPb.: VKA named after A.F. Mozhaisky, 2013. 430 p.
4. Manuilov Yu.S., Pavlov A.N., Novikov E.A. et al. Systems analysis and organization of automated control of spacecraft: textbook. SPb.: VKA named after A.F. Mozhaisky, 2010. 266 p.
5. Ermishyan A.G. Theoretical foundations of building military communications systems in associations and formations. Part 1. Methodological foundations of building organizational and technical military communications systems. SPb.: VAS, 2005. 740 p.
6. Kamnev V.E., Cherkasov V.V., Chechin G.V. Satellite communication networks: textbook. Moscow: Albina Publisher, 2004. 536 p.
7. Nevdyayev L.M., Smirnov A.A. Personal satellite communications. Moscow: TEK, 1998. 216 p.
8. Tsvetkov K.Yu., Rodionov A.V., Akmolov A.F. et al. Concept of building a multi-altitude multi-satellite communication system with mobile subscribers // *Proceedings of the VKA*. 2011. No 630. Pp. 5–10.
9. Akmolov A.F., Kovalsky A.A., Efimov S.N. Proposals for the creation and operation of a multi-satellite communication system based on a multi-altitude orbital grouping // *Proceedings of educational institutions of communication*. 2020. Vol. 6. No 1. Pp. 22–31.
10. Tsvetkov K.Yu., Rodionov A.V., Akmolov A.F. et al. Ballistic construction of a multi-altitude multi-satellite communication system with mobile subscribers // *Proceedings of the Military Space Agency*. 2012. No 634. Pp. 45–56.
11. Efimov S.N., Kosarevich D.V., Viktorov E.A. et al. Throughput capacity of inter-satellite and feeder radio links of a multi-altitude multi-satellite communication system // *Proceedings of the Military Space Agency*. 2011. No 633. Pp. 121–136.
12. Muftiev R.G., Khasanov V.Kh., Zakiryanova G.T. Wireless networks: Monograph. Ufa: Ufa Institute (branch) of the Russian State University of Trade and Economics, 2011. 233 p.
13. Abazina E.S., Zinnurov S.Kh. Selection of a prototype of the routing protocol of the telecommunication network of the information support subsystem of a complex ergatic system // *Collection of works of the XLIII All-Russian scientific and technical conference «Problems of efficiency and safety of functioning of complex technical and information systems»*. Serpukhov. 2024. Pp. 106–111.
14. Sorokin M.Yu., Selifanov V.A., Frolov M.A. Analysis of the applicability of standard dynamic routing protocols in satellite communication networks based on low-orbit spacecraft // *Rocket and space instrumentation and information systems* 2021. Vol. 8, issue 4. Pp. 63–71.
15. Fei Zheng, Chao Wang, Zou Zhou et al. LEO Inter-Satellite Routing Strategy Based on Modified Q-Routing Algorithm. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networks*, Vol. 36 (2022). <https://jwcn-urasipjournals.springeropen.com/articles/10.1186/s13638-022-02119-1> (date of access: 14.02.2025).

УДК 355.422; 004.051

doi: 10.53816/23061456_2025_5–6_52

ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СВЯЗИ ПРИ ВЕДЕНИИ ШТУРМОВЫХ ДЕЙСТВИЙ В ХОДЕ СПЕЦИАЛЬНОЙ ВОЕННОЙ ОПЕРАЦИИ

THE SPECIFICS OF COMMUNICATIONS IN ASSAULT OPERATIONS DURING A SPECIAL MILITARY OPERATION

*В.В. Азоркин, В.Н. Беженарь, канд. воен. наук В.С. Курочка,
канд. воен. наук В.Б. Оводов*

V.V. Azorkin, V.N. Bezhenar, Ph.D. V.S. Kurochka, Ph.D. V.B. Ovodov

Военная академия связи им. С.М. Буденного

В настоящее время при подготовке подразделений к предстоящим действиям не всегда учитывается опыт, полученный в ходе специальной военной операции. Это связано с большим объемом информации, поступающей из районов выполнения задач, для систематизации, обобщения и внедрения которой необходимо определенное время. При этом особенностям ведения боя небольших тактических подразделений уделяется меньшее внимание. В статье рассматриваются варианты организации, подготовки и самих действий при атаке переднего края обороняющихся подразделений противника, при штурме первых (вторых) позиций и ближнего боя в траншеях. А также подготовка подразделений к выполнению боевой задачи с точки зрения организации связи в нем.

Ключевые слова: штурмовые действия, штурмовая группа, система управления, система связи, воинское формирование, радиостанции «двойного назначения», технологии коммутации пакетов стека протоколов TCP/IP.

Currently, when preparing units for upcoming operations, the experience gained during a special military operation is not always taken into account. This is due to the large amount of information coming from task areas, which takes some time to systematise, generalise and implement. At the same time, less attention is paid to the peculiarities of combat of small tactical units.

The article considers the options of organisation, preparation and actions themselves when attacking the front edge of the defending enemy units, when storming the first (second) positions and close combat in the trenches. As well as the preparation of units to perform a combat task, from the point of view of the organisation of communication in it.

Keywords: assault actions, assault group, control system, communication system, military formation, dual purpose radios, TCP/IP protocol stack packet switching technologies.

За время проведения специальной военной операции (СВО) значительно изменились виды вооружения, формы и способы ведения боевых действий, что отразилось на организации управления войсками. Общевоинские воинские части ведут высокودинамичные бои, коими явля-

ются штурмовые действия, характеризующиеся частыми и резкими изменениями обстановки. В настоящее время в ходе боестолкновений основной тактикой стало применение штурмовых групп (ШГ) пешим порядком или на быстро перемещающейся технике (легковых автомобилях,

мотоциклах, багги и т.д.). Сложившаяся обстановка обусловила необходимость прибегнуть к тем способам организации связи, которые ранее не применялись [1–7].

Последние события в Украине показывают, что ведение боевых действий штурмовыми подразделениями требует заблаговременной подготовки командиров и личного состава подразделений к решению подобного рода задач, а исследуемые вопросы теории и практики ведения штурмового боя относятся к числу наиболее сложных.

Для успешного выполнения этой наитруднейшей задачи следует отлично подготовить бойцов накануне, проведя занятия и боевое слаживание с учетом отработки действий по всем направлениям боевого обеспечения. Особое внимание необходимо уделить вопросам организации связи в бою [1].

Пехота — общевойсковое подразделение, она продолжает играть главную роль ударной силы, и ее действия имеют решающее значение для достижения конечного успеха. Массовое применение противником ударных беспилотных летательных аппаратов, кассетных боеприпасов и тактика действий войск противника накладывают ряд особенностей на выполнение боевых задач [8].

Штурмовые группы формируются из состава штатных мотострелковых и специально

сформированных штурмовых подразделений мотострелковых соединений и воинских частей. Состав штурмовых подразделений может быть отличным друг от друга, в зависимости от условий и факторов, при которых выполняет задачи то или иное мотострелковое соединение. По опыту действий авторов в одном из них, штурмовая группа включает в себя 3 отделения и имеет общее количество личного состава 15 человек. Для ведения штурмовых действий боевой порядок группы определен: штурмовая подгруппа, подгруппа наращивания усилий и подгруппа резерва (при необходимости наращивают атаку, закрепляясь на выгодной позиции, предоставляя возможность штурмовой группе действовать дальше). Штурмовая группа может действовать при поддержке 2–3 танков, 2–3 артиллерийских батарей гаубиц, 2–3 машин БМ РС30 «Град», АГС-17. Наведение осуществляется с помощью расчета БПЛА. Вариант состава штурмовой группы и ее боевой порядок показан на рис. 1.

Штурмовые действия ведутся, как правило, в лесопосадках или населенных пунктах. При этом мотострелки действуют в пешем порядке, а на этапе выдвижения на исходные рубежи используют вышеупомянутые мобильные средства (штатные боевые машины или внештатные транспортные средства). В этих условиях, как правило, отсутствует визуальное наблюдение

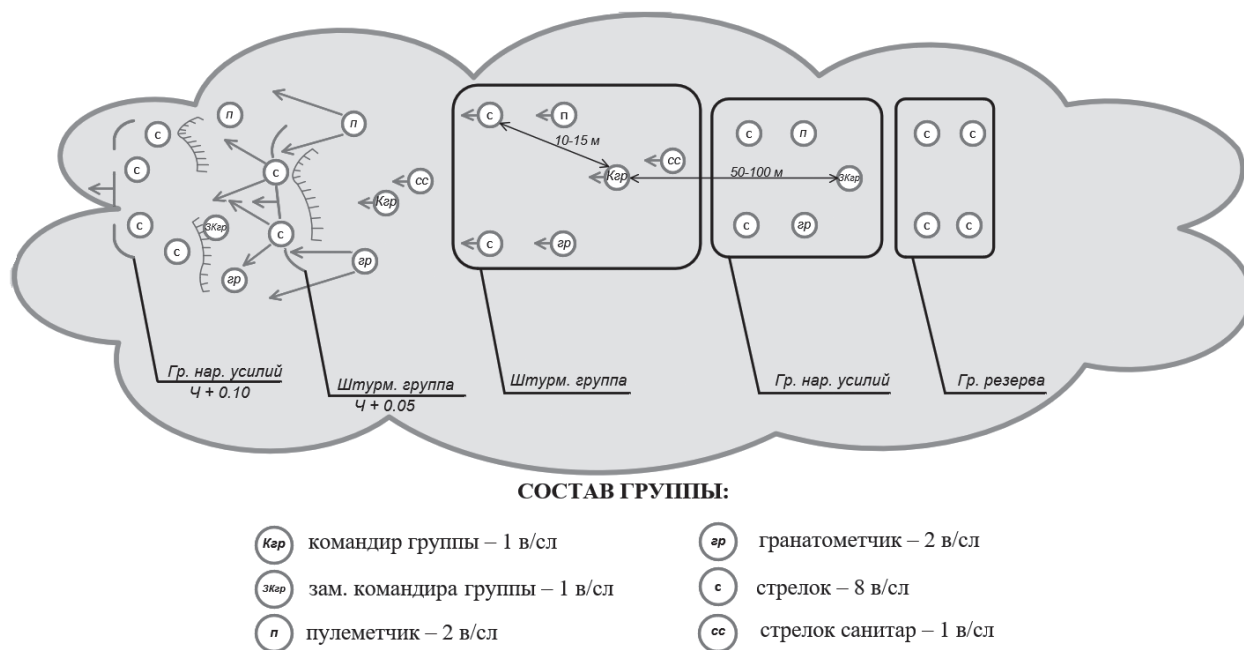


Рис. 1. Боевой порядок и состав штурмовой группы

командира группы за действиями каждого военнослужащего и возможность управлять ими голосом. Поэтому связь с использованием технических средств в штурмовых группах крайне важна и должна быть организована с каждым военнослужащим.

Кроме того, связь должна быть организована так, чтобы обеспечить работу: с операторами БПЛА, определяющими огневые точки, перемещения противника, своевременно оповещающими свои подразделения; с бронееобъектами и подразделениями артиллерии, ведущими артиллерийскую подготовку и огневое сопровождение атаки.

Основными техническими средствами управления в настоящее время являются радиосредства. Для обеспечения связи в штурмовых подразделениях рассматриваемого мотострелкового соединения применяются радиостанции «двойного назначения»: Kirisun, TYT, AnyTone и пр. Радиосвязь командира штурмовой группы с подчиненными, а также между военнослужащими группы организуется по радиосети командира группы.

Принципиальная особенность используемых радиостанций заключается в диапазоне рабочих частот, реализуемой технологии радиосвязи. Также указанные радиостанции получили широкое применение потому, что не требуют от пользователя профессиональных навыков для их эксплуатации. Радиостанции Kirisun, TYT, AnyTone работают в диапазонах 136–174 МГц

или 403–470 МГц, при этом дальность связи без использования ретранслятора — незначительная и составляет дистанцию до 5 км. Эти параметры станций обеспечивают связь командиру штурмовой группы только лишь с подчиненными и непосредственным командиром.

Одним из способов, позволяющих организовать связь между группами радиостанций на большие расстояния, является передача информации по каналам транспортной сети связи (ТСС) соединения (объединения) (рис. 2).

Суть способа заключается в том, что группа радиостанций, в пределах зоны электромагнитной доступности, работает на ретранслятор (Repeater mode) из комплекта данного вида радиостанций, поддерживающих режим работы DMR (Digital Mobile Radio). Ретранслятор подключается в порт коммутатора (свитча) ТСС. Далее системный администратор регистрирует все устройства на сервере (сервером может быть один из ретрансляторов). Принципиально важным моментом является работа радиостанций на одинаковых частотах и ключах шифрования.

На основе рассмотренного варианта организации радиосвязи в интересах штурмовых групп мотострелкового соединения можно сделать вывод о возможности комбинированного построения сети радиосвязи (рис. 3). Сущность способа комбинированного построения сети радиосвязи общевойсковых тактических формирований заключается в соединении нескольких локальных радиосетей с малой дистанцией связи между собой с помощью

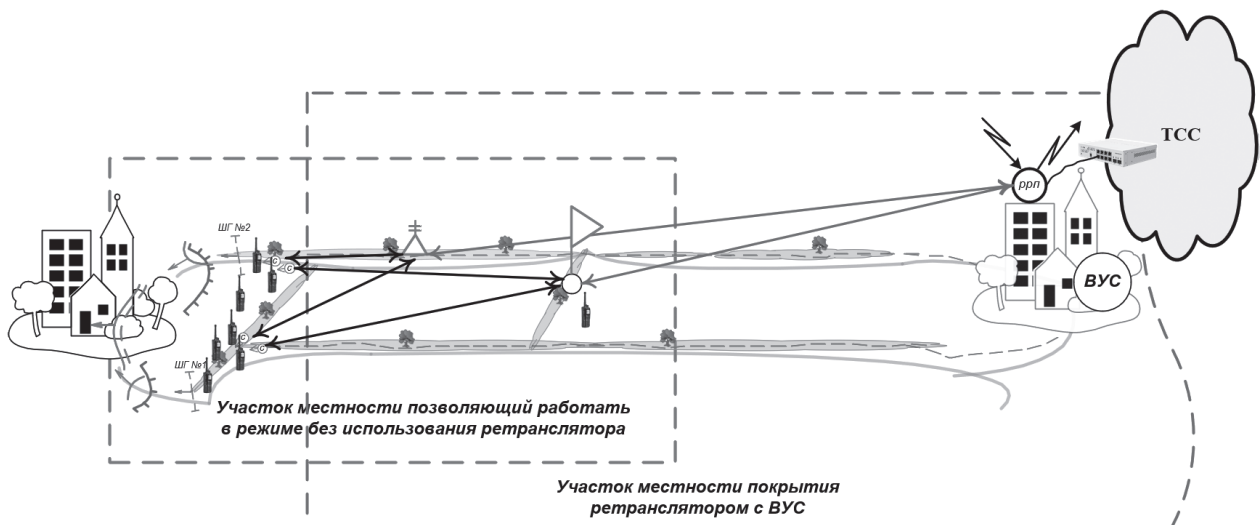


Рис. 2. Упрощенная схема организации радиосвязи с использованием каналов ТСС

ТСС на основе применения технологии коммутации пакетов стека протоколов ТСР/ІР.

Способ позволяет управлять штурмовыми подразделениями на удаленных расстояниях, когда переместить пункт управления (ПУ) соединения ближе к штурмовым подразделениям не представляется возможным. Кроме того, реализация способа повышает эффективность связи взаимодействия.

Управление действиями штурмовых групп осуществляет командир подразделения. Однако в ряде случаев возникает необходимость контролировать действия штурмовиков командирами

соединения (объединения). Вместе с тем вхождение в радиосеть командира штурмовой группы радиосредств командира соединения (объединения) из-за большого удаления пункта управления соединения невозможно (рис. 4). Способ подключения радиостанции к ІР-телефону позволяет решить эту проблему.

Суть способа заключается в том, что радиостанция, находящаяся на расстоянии, позволяющем работать в радиосети ШГ на ближайшем ПУ, где установлен ІР-телефон, подключается через разъем «гарнитура радиостанции» с разъемом «гарнитура абонентского телефонного аппарата».

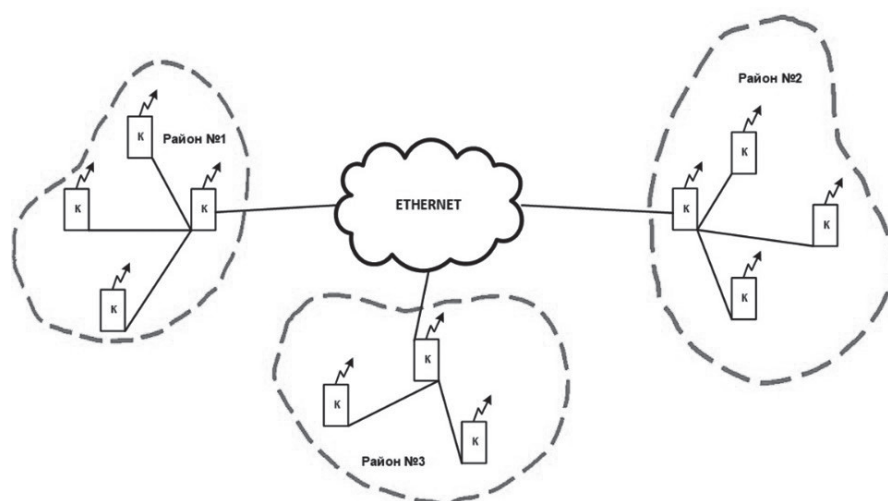


Рис. 3. Вариант комбинированного способа построения сети радиосвязи

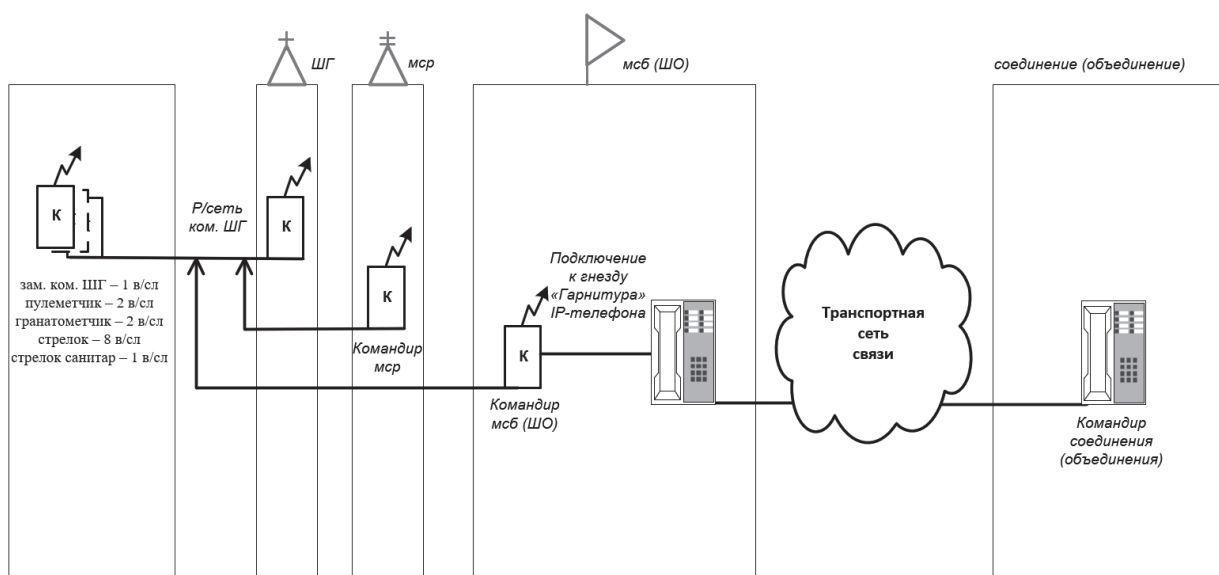


Рис. 4. Вариант включения удаленной радиостанции командира соединения в радиосеть командира штурмовой группы

рата». Для этого необходимо произвести монтаж кабеля радиостанции и витой пары. Так радиоэфир штурмового подразделения будет выведен на динамики телефонного аппарата. При установлении соединения с любым другим абонентом радиоэфир будет выводиться и на него. При организации аудиоконференцсвязи между ПУ участвовать в работе по радиосети смогут должностные лица (ДЛ) на всех ПУ с кем установлено соединение.

Данный способ организации радиосвязи позволяет обеспечить управление штурмовыми подразделениями напрямую от пунктов управления объединений, в случае необходимости. Кроме того, это позволит ДЛ знать истинное положение дел в подразделениях, непосредственно выполняющих задачи на направлении сосредоточения основных усилий [9].

Таким образом, подводя итоги следует категорически уяснить, что к атаке и штурму переднего края противника нужно тщательно готовиться. Неукоснительно выполнять мероприятия всестороннего обеспечения. Особое внимание уделить организации связи со всеми элементами боевого порядка, участвующими в атаке. Организовать взаимодействие по месту, времени и действиям с поддерживающими и приданными подразделениями (артиллерии, подразделениями РЭБ, БПЛА, бронетанковыми подразделениями, подразделениями связи старшего штаба и др.). Поддерживать максимально возможную обеспеченность подразделений средствами связи и обучать личный состав работе на них.

Список источников

1. Бурцев А.А. Вариант действий пехоты при штурме и взятии («зачистке») позиций противника (с учетом опыта боевых действий в СВО на Украине) / Яковлевские чтения: Сб. науч. ст. // и II Межведомственная научно-практическая конференция с международным участием. В 2-х частях. Новосибирск, 20–21 марта 2024 года. Новосибирск: Новосибирский военный институт им. И.К. Яковлева, 2024. С. 58–63.

2. Бондаренко Ю.О., Базаев А.Г. Опыт, полученный при ведении боевых действий в период проведения специальной военной операции / Актуальные вопросы служебно-боевой деятельности войск национальной гвардии в обеспечении

государственной безопасности Российской Федерации: сб. науч. ст. // II Межведомственной научно-практической конференции, Новосибирск, 26 апреля 2023 года. Новосибирский военный институт им. И.К. Яковлева, 2023. С. 15–18.

3. Масленников А.Г. Эволюция развития тактики штурмовых подразделений при организации боя в городе // Обобщение опыта применения стрелкового оружия в ходе проведения специальной операции: сб. науч. ст. и матер. межведомственного круглого стола, Краснодар, 29 января 2024 года. Краснодар: Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков им. А.К. Серова, 2024. С. 4–11.

4. Анцупов И.С., Шерстюк Р.С. Тактика действий штурмовых подразделений в зоне СВО // Обобщение опыта применения стрелкового оружия в ходе проведения специальной операции: Сборник научных статей и материалов межведомственного круглого стола, Краснодар, 29 января 2024 года. Краснодар: Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков им. А.К. Серова, 2024. С. 17–23.

5. Яковлев А.А. О новых подходах к организации и ведению боевых действий // Актуальные проблемы физической и специальной подготовки силовых структур. 2014. № 3. С. 87–93.

6. Дорохов Д.В., Мажирин Ю.А., Окунев В.И. Особенности тактических действий штурмовых групп мотострелковых подразделений СВ РФ в специальной военной операции по демилитаризации и денацификации Украины // XIV Международная научно-практическая конференция молодых ученых, посвященная 63-й годовщине полета Ю.А. Гагарина в космос, Краснодар, 10–11 апреля 2024 года. Краснодар: Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков им. А.К. Серова, 2024. С. 58–63.

7. Оспенников С.В., Виноградов В.В. Практика действий штурмового отряда при ведении боя в населенном пункте городского типа // Военно-правовые и гуманитарные науки Сибири, 2020. № 4 (6). С. 16–22.

8. Егоренков С.А., Аниканов М.В., Ваягин В.Е. Некоторые средства, характерные способы действий, поражающие факторы применяемого вооружения противником и основные практические рекомендации по защите живой силы и военной техники от них (по опыту проведения специальной военной операции) // Акту-

альные вопросы повышения эффективной огневой подготовки в силовых структурах: теория и практика (III Макаровские чтения): Всероссийский сборник научно-практических материалов, Пермь, 23 мая 2023 года; под общей ред. О.А. Емельянова. Выпуск 3. Пермь: Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации, 2023. С. 49–57.

9. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: юбилейное издание. СПб.: Питер, 2023. 1008 с.

References

1. Burtsev A.A. Variant of infantry actions in the assault and capture («mopping up») of enemy positions (taking into account the experience of combat operations in the NWO in Ukraine) // Yakovlev Readings: Collection of scientific articles of the III Interdepartmental scientific-practical conference with international participation. In 2 parts, Novosibirsk, 20–21 March 2024. Novosibirsk: Novosibirsk Military Institute named after I.K. Yakovlev, 2024. Pp. 58–63.

2. Bondarenko Yu.O., Bazaev A.G. Experience gained in combat operations during a special military operation // Actual issues of service and combat activities of the National Guard troops in ensuring state security of the Russian Federation: a collection of scientific articles II Interdepartmental scientific and practical conference, Novosibirsk, 26 April 2023. Novosibirsk: Novosibirsk Military Institute named after I.K. Yakovlev, 2023. Pp. 15–18.

3. Maslennikov A.G. Evolution of the development of tactics of assault units in the organisation of combat in the city // Generalization of experience in the use of small arms during a special operation: Collection of scientific articles and materials of the interdepartmental round table, Krasnodar, 29 January 2024. Krasnodar: Krasnodar Higher Military Aviation School of Pilots named after A.K. Serov, 2024. Pp. 4–11.

4. Antsupov I.S., Sherstyuk R.S. Tactics of assault units in the zone of the SSO // Generalisa-

tion of experience in the use of small arms during a special operation: Collection of scientific articles and materials of the interdepartmental round table, Krasnodar, 29 January 2024. Krasnodar: Krasnodar Higher Military Aviation School of Pilots named after A.K. Serov, 2024. Pp. 17–23.

5. Yakovlev A.A. About new approaches to the organisation and conduct of combat operations // Actual problems of physical and special training of power structures. 2014. № 3. Pp. 87–93.

6. Dorokhov D.V. Mazhirin Y.A., Okunev V.I. Features of tactical actions of assault groups of motorized rifle units of the Army of the Russian Federation in a special military operation to demilitarize and denazify Ukraine // XIV International Scientific and Practical Conference of Young Scientists, dedicated to the 63rd anniversary of Yuri Gagarin's flight into space, Krasnodar, 10–11 April 2024. Krasnodar: Krasnodar Higher Military Aviation School of Pilots named after A.K. Serov, 2024. Ministry of Defence of the Russian Federation, 2024. Pp. 58–63.

7. Ospennikov S.V., Vinogradov V.V.. Practice of action of the assault series in combat in an urban-type settlement // Military-legal and humanitarian sciences of Siberia, 2020. № 4 (6). Pp. 16–22.

8. Egorenkov S.A., Anikanov M.V., Vanyagin V.E. Some means, characteristic ways of action, defeat factors of the weapon used by the enemy and the main practical recommendations for the protection of manpower and military equipment from them (based on the experience of a special military operation) // Actual issues of improving effective firearms training in power structures: theory and practice (III Makarov Readings): All-Russian collection of scientific and practical materials, Perm, 23 May 2023; under the general editorship of O.A. Emelyanov. Vol. Issue 3. Perm: Perm Military Institute of National Guard Forces of the Russian Federation», 2023. Pp. 49–57.

9. Oлифер V.G., Oлифер N.A. Computer Networks. Principles, technologies, protocols: Anniversary edition. SPb.: Piter, 2023. 1008 p.

УДК 621.396.1

doi: 10.53816/23061456_2025_5–6_58

РОЛЬ И МЕСТО АУДИОКОНФЕРЕНЦСВЯЗИ В СИСТЕМЕ СВЯЗИ ПО ОПЫТУ СПЕЦИАЛЬНОЙ ВОЕННОЙ ОПЕРАЦИИ

THE ROLE AND PLACE OF AUDIOCONFERENCING IN THE COMMUNICATIONS SYSTEM BASED ON THE EXPERIENCE OF A SPECIAL MILITARY OPERATION

Г.А. Тучин¹, А.П. Бойко¹, А.Д. Назаров¹, канд. техн. наук П.И. Кузин²

G.A. Tuchin, A.P. Boyko, A.D. Nazarov, Ph.D. P.I. Kuzin

¹ *Военная академия связи им. С.М. Буденного,*

² *Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова*

В статье рассматриваются особенности организации служебной телефонной связи в группировках войск, действующих в зоне специальной военной операции. Особое внимание уделяется аудиоконференцсвязи, которая стала технической основой и критически важным элементом оперативного управления. Проанализированы ключевые требования к системе аудиоконференцсвязи, ее классификация и влияние на управляемость системы связи. Рассматриваются аспекты надежности, защищенности и устойчивости к внешним воздействиям. Проведена оценка показателя управляемости, учитывающая временные задержки на принятие решений, передачу информации и оперативную реакцию командного состава. Выявлены основные факторы, влияющие на скорость и эффективность управления. Рассмотрены пути повышения оперативности и устойчивости системы связи в сложных условиях. Обоснована необходимость совершенствования средств аудиоконференцсвязи для повышения эффективности управления войсками.

Ключевые слова: системы связи, служебная телефонная связь, аудиоконференцсвязь, оперативное управление, время реакции, управляемость.

The article deals with the peculiarities of the organisation of service telephone communication in the groupings of troops operating in the zone of a special military operation. Special attention is paid to audio conferencing, which has become a technical basis and a critical element of operational management. The key requirements to the audioconferencing system, its classification and influence on the controllability of the communication system are analysed. The aspects of reliability, security and resistance to external influences are considered. The estimation of the controllability index is carried out, taking into account the time delays for decision-making, information transfer and operational response of the command staff. The main factors affecting the speed and efficiency of control are identified. The ways of increasing the efficiency and stability of the communication system in difficult conditions are considered. The necessity of improvement of audioconferencing facilities to increase the efficiency of troop control is substantiated.

Keywords: communication systems, intercom telephony, audio conferencing, operational management, response time, manageability.

Введение

В современных условиях информационной насыщенности и быстрого развития технологий все бóльшие требования предъявляются к системам оперативного управления [1]. Актуальность эффективных способов коммуникации не вызывает сомнений, поскольку даже малейшая задержка в передаче распоряжений (указаний) способна повлиять на итог выполнения боевой задачи. Это особенно важно при управлении системой связи в ходе специальной военной операции. В таких обстоятельствах особую роль играет аудиоконференцсвязь специального назначения (АКС СН), позволяющая нескольким участникам одновременно обмениваться устной служебной информацией в рамках одного непрерывного сеанса [2, 3]. Она становится критически значимой для координации действий и оперативного реагирования [4]. Любой нештатный сбой в подобных коммуникационных решениях может привести к невосполнимой потере времени и ресурсов.

Ввиду отсутствия в действующих руководящих документах понятийного аппарата, возникает необходимость дать четкое определение, назначение и классификацию АКС СН. Аудиоконференцсвязь специального назначения — это организационно-техническое объединение сил и средств по обеспечению доступа к телекоммуникационным сервисам, обеспечивающим прием, обработку, передачу и доставку голосовых

сообщений между несколькими участниками в режиме реального времени с целью организации групповой связи. Классификация АКС может базироваться на нескольких критериях, включая масштабы применения, уровень технической интеграции, степень секретности, а также характер использования и ролевой структуре (рис. 1).

Независимо от выбранной классификации, требование к АКС остается общим: обеспечить одновременную голосовую коммуникацию в режиме реального времени [5]. Важно также подчеркнуть, что подобные системы могут эффективно работать только при условии правильной организационной подготовки и регулярного контроля за техническим состоянием системы АКС [6]. Наличие четкой структуры классификации упрощает выбор конкретного решения для каждой ситуации. Дополнительно обращают внимание на требования к шифрованию, чтобы исключить возможную утечку служебной информации в ходе переговорного процесса. При создании локальной или глобальной сети АКС СН учитывают предполагаемые сценарии использования, численность абонентов и их иерархию.

Задача

В настоящее время АКС СН представляет собой незаменимый инструмент, позволяющий синхронизировать усилия многочисленных участников процесса управления системой связи. Ее роль и актуальность особенно велика в ситуа-

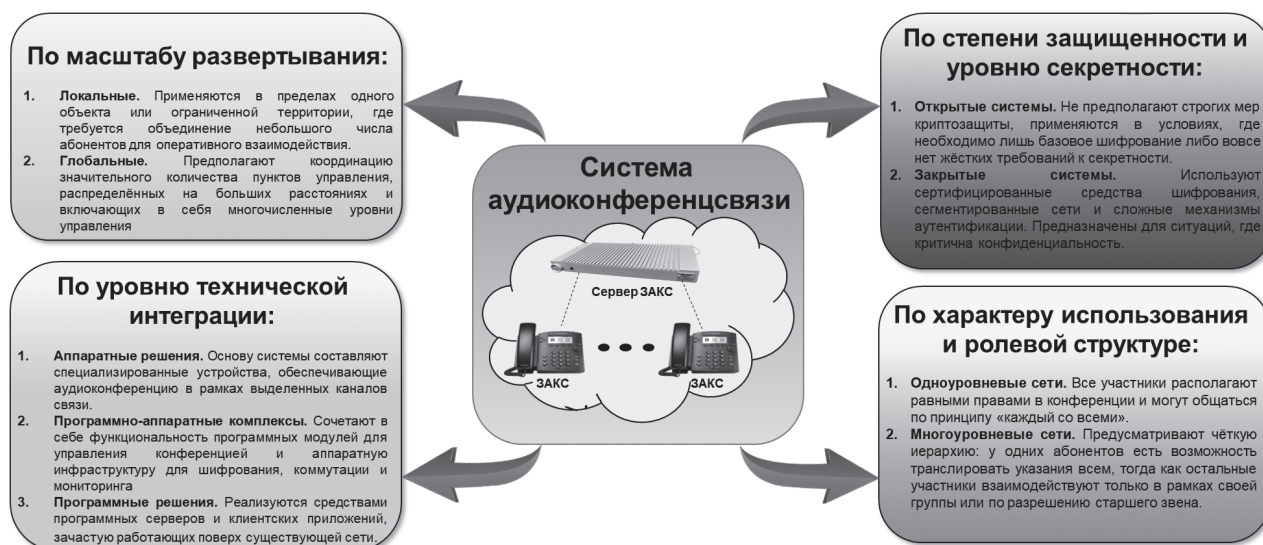


Рис. 1. Классификация аудиоконференцсвязи

циях, требующих мгновенной реакции и безошибочного распространения критической служебной информации [7]. При соблюдении всех требований и грамотном учете классификационных особенностей она обеспечивает устойчивое, непрерывное и безопасное взаимодействие. Необходимым ключевым фактором обеспечения бесперебойного управления системой связи в зоне специальной военной операции является организация надежной и защищенной служебной связи на узлах связи пунктов управления [8, 9]. От того, какова география развертывания и как распределяются роли участников, напрямую зависят требования к пропускной способности каналов и вариантам шифрования. Возникает задача предоставления пользователям услуги АКС СН при ограниченном ресурсе служебных каналов связи. Построенная система АКС СН по принципу постоянно действующей обязана реагировать на все изменения внешних и внутренних воздействий сети. Основные требования к АКС СН сводятся к стабильности и устойчивости канала связи, защищенности передаваемых данных, стойкости против внешних и внутренних воздействий, а также наличия резервных маршрутов передачи данных.

Решение

Рассмотрим основные особенности построения предлагаемых сетей АКС СН, исходя из классификации, в которой ключевым признаком будет выступать именно масштаб сетей, локальный или глобальный, а также предопределенность их применения к управляемости системы связи в целом.

Локальные сети АКС СН

Локальная сеть АКС СН — это форма защищенной служебной связи, организуемой в пределах узла связи для обеспечения оперативного управления его элементами. Они предназначены для объединения всех боевых постов, включая удаленные опорные узлы связи (или другие элементы), в единую коммуникационную сеть, позволяя оперативно передавать команды, координировать действия дежурных расчетов и обеспечивать бесперебойное функционирование системы связи (рис. 2).

Чтобы локальная сеть АКС СН выполняла свою функцию максимально эффективно,

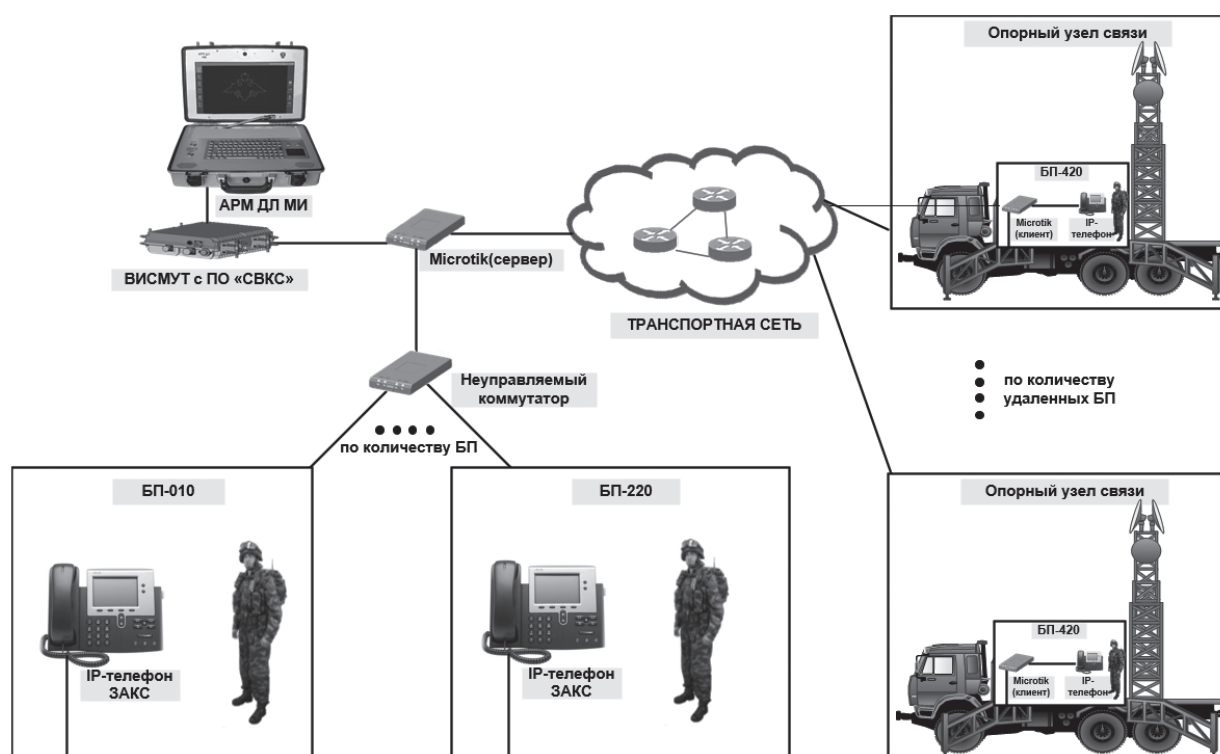


Рис. 2. Типовой пример развертывания локальной аудиоконференцсвязи специального назначения (по опыту группировки войск «Центр»)

необходимо учесть ряд рекомендаций при ее построении:

- учет конфигурации узла связи, на этапе проектирования важно определить физические и логические сегменты, которые нужно объединить в одну сеть. Сюда входят как непосредственно боевые посты, так и вспомогательные элементы (центры каналообразования, центры радиосвязи, отдельные узлы для обеспечения связи начальников родов войск и служб, передовые пункты технического обслуживания и др.), чем точнее отражена структура узла связи, тем проще реализовать схему взаимодействия;

- безопасность передачи данных, несмотря на то, что локальная сеть АКС СН ориентируется на ближайший круг абонентов, сохраняется риск несанкционированного доступа. Важно применять как минимум базовые криптографические решения, шифруя голосовой трафик и используя защищенные протоколы аутентификации для каждой подключаемой точки;

- удобство масштабирования, задача локальной сети АКС СН может выйти за первоначально задуманные пределы (например, при расширении узла связи или добавлении новых постов). Заранее необходимо заложить возможность подключения дополнительных абонентов или интеграции сети с другими элементами системы связи без радикальной перестройки оборудования.

Таким образом, локальная сеть АКС СН дает значительные преимущества в координации и скорости принятия решений, обеспечивая высокую степень надежности и устойчивости при условии правильно спроектированной архитектуры и грамотного использования технических средств АКС. Ее применение в пределах одного узла связи помогает оперативно решать тактические задачи и закладывает основу для поддержания устойчивого информационного обмена при дальнейшей интеграции с другими звеньями управления системы связи.

Глобальная сеть АКС СН

Глобальная сеть АКС СН — это форма защищенной служебной связи, организуемой для обеспечения централизованного управления пунктами управления связи подчиненных объединений, соединений и воинских частей группировки войск с пункта управления связи группировки войск (рис. 3). Она предназначена для объединения всех элементов системы управления связи в единую сеть, позволяя оперативно передавать распоряжения, координировать взаимодействие между различными уровнями управления, обеспечивать контроль за работой всех узлов связи и гарантировать бесперебойное функционирование всей системы связи группировки войск.

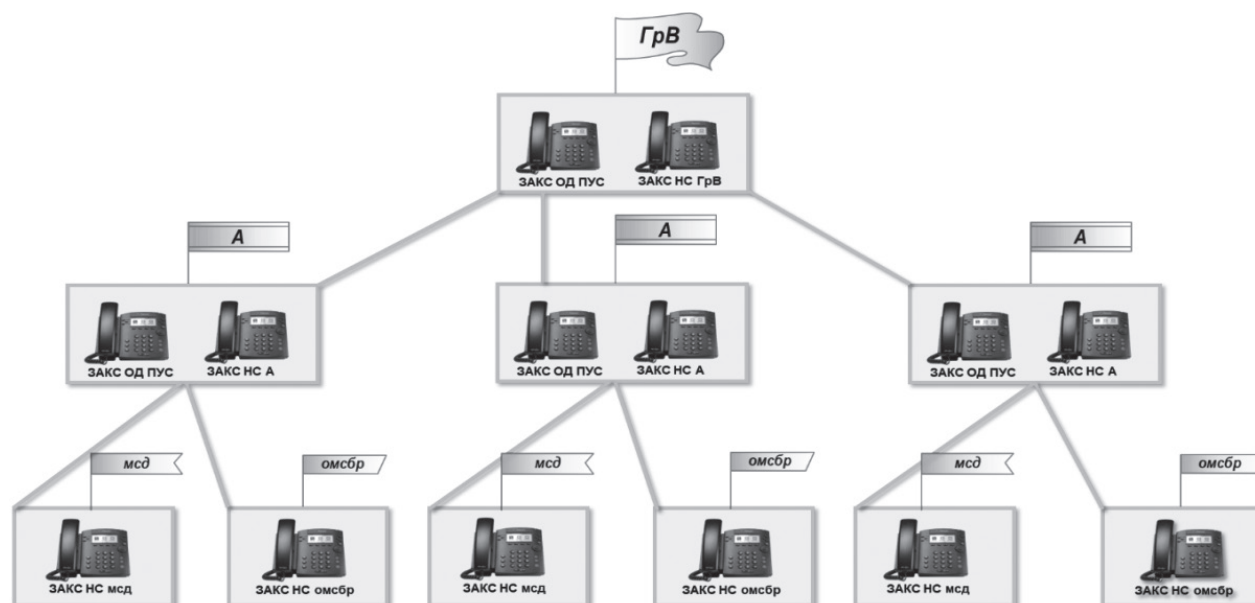


Рис. 3. Типовой пример развертывания глобальной аудиоконференцсвязи специального назначения (по опыту группировки войск «Центр»)

ровки войск в зоне боевых действий специальной военной операции.

Организация глобальной сети АКС СН предоставляет ряд неоспоримых преимуществ. Во-первых, она создает единую платформу взаимодействия, позволяющую оперативно передавать распоряжения и поддерживать постоянный контакт между различными уровнями управления. Во-вторых, централизованный подход дает возможность контролировать работоспособность и нагрузку на все узлы связи, своевременно выявлять и устранять неисправности или сбои. В-третьих, подобная система гарантирует непрерывное функционирование всей сети в зоне боевых действий, обеспечивая мгновенное доведение команд до всех ее элементов.

Необходимо учитывать ряд рекомендаций, при которых глобальная сеть АКС СН действительно оправдывает свое предназначение и будет работать без сбоев:

- централизованный формат управления и гибкая интеграция абонентов, высокий уровень управления и возможность подключать новые подразделения к сети без сложных процедур. Это может быть реализовано через создание «конференц-комнат», или групповых сегментов, где определенные абоненты наделяются правами управления и контроля. Важно выработать понятные регламенты, чтобы все участники системы понимали процедуру подключения и взаимодействия;

- присвоение позывных и организация непрерывного дежурства, в масштабной сети особенно важно быстро и корректно идентифицировать абонентов, исключая путаницу и задержки. Назначение цифровых позывных для каждого участника упрощает взаимодействие, дополнительно требуется обеспечить круглосуточное дежурство операторов, отвечающих за техническую поддержку системы;

- особое внимание обратить на защиту каналов связи, поскольку в глобальном формате передается стратегически ценная служебная информация, кибербезопасность выходит на первый план. Использование зашифрованных протоколов (криптографических алгоритмов, VPN-технологий), постоянная проверка ключей и сертификация оборудования минимизируют риски перехвата, искажения или блокировки потока данных.

В условиях, когда управление крупными силами требует слаженного и оперативного взаимодействия десятков и сотен пунктов связи, глобальная сеть АКС СН служит незаменимым инструментом. Она не только ускоряет процесс принятия решений, но и существенно уменьшает вероятность дезорганизации при обострении обстановки. При правильной организации такой связи, включая четкое соблюдение регламентов, распределение ролей, установку защищенного оборудования и непрерывное круглосуточное дежурство, удастся добиться высокой эффективности управления системой связи. Именно поэтому глобальные сети АКС СН становятся основополагающим элементом инфраструктуры системы связи группировок войск, гарантируя надежный и безопасный канал взаимодействия на всех уровнях управления.

Влияние АКС СН на управляемость системы связи

Одним из ключевых аспектов применения АКС СН в системе управления является ее влияние на оперативность принятия решений и координацию действий. Эффективность функционирования системы связи определяется не только ее техническими характеристиками, но и степенью влияния АКС СН на управляемость системы связи в целом. В условиях динамично меняющейся обстановки критически важно учитывать, как взаимодействие между участниками конференцсвязи сказывается на скорости передачи информации и принятии решений [10, 11].

Управляемость системы определяется как ее способность переходить из одного состояния в другое под воздействием управляющих факторов. Известно множество подходов к оценке управляемости: математические, системно-динамические, структурные, эмпирические, экспертные, комплексные. В прикладных задачах часто используются упрощенные критерии, такие, как время достижения цели. Тогда количественно управляемость системы АКС СН можно выразить через временные затраты $T_{\text{упр. АКС СН}}$ на ее переходы между состояниями [12]:

$$T_{\text{упр. АКС СН}} = T_{\text{пр}} + T_{\text{обр}} + T_{\text{прд}} + T_{\text{р}},$$

где $T_{\text{пр}}$ — время принятия решения;

$T_{\text{обр}}$ — время обработки информации;

$T_{\text{прд}}$ — время передачи управляющего сигнала;

$T_{\text{р}}$ — время оперативной реакции.

Важным аспектом является влияние АКС СН на оперативную реакцию. В условиях коллективного обсуждения и необходимости координации действий нескольких участников реакция может увеличиваться из-за временных затрат на согласование позиций, передачу распоряжений и подтверждение их получения. Таким образом, общая управляемость системы ухудшается при недостаточно регламентированном процессе взаимодействия.

Для решения минимизации этого эффекта и повышения управляемости системы АКС СН необходимо: оптимизировать алгоритмы принятия решений и их автоматизированную поддержку, применять эффективные протоколы передачи команд, исключая избыточные коммуникации, использовать специализированные технические средства, снижающие задержки в передаче и обработке информации.

Управляемость системы связи, построенной на основе АКС СН, требует тщательной организации и технической оптимизации для уменьшения и обеспечения своевременного управления, а также подтверждает ее ключевую роль в управлении системой связи. Локальные сети обеспечивают оперативное доведение команд и координацию дежурных расчетов, глобальные обеспечивают централизованное управление несколькими пунктами связи, а наибольшая эффективность достигается при ее гибридной архитектуре, объединяя оба формата в единую систему с общим управлением АКС СН.

Накопленный практический опыт применения АКС СН показывает, что возникает необходимость в совершенствовании гибридной структуры сети:

- усиление мер по кибербезопасности, развитие криптографических механизмов и протоколов шифрования, обеспечивающие удобство использования и интеграции новых устройств связи в общую сеть;

- увеличение масштабируемости и отказоустойчивости, создание программно-аппаратных комплексов, автоматически адаптирующихся к изменениям топологии внешней и внутренней сети;

- совершенствование нормативно-методической базы, детализация подходов к развертыванию, эксплуатации и обслуживанию АКС СН на разных уровнях управления;

- подготовка и обучение младших специалистов АКС СН, способных эффективно работать с современными средствами связи, устранять проблемы на местах и реагировать на новые требования оперативно-тактической обстановки.

Заключение

Таким образом, развитие АКС СН в условиях специальной военной операции и за ее пределами не только способствует повышению оперативности и защищенности предоставленных каналов служебной связи, но и повышает общий уровень управляемости всей системы связи за счет применения гибридной архитектуры сети АКС СН. В дальнейшем комплексный подход к модернизации, включающий технологические, организационные и методические аспекты, станет залогом повышения эффективности управления войсками и непрерывного совершенствования всей инфраструктуры связи. На основе гибридной сети АКС СН упрощается принятие коллективных решений, особенно когда необходимо срочно согласовать действия органов управления системой связи разных объединений, соединений и воинских частей.

Список источников

1. Тестирование «военного интернета» // TADVISER. Государство. Бизнес. Технологии. Проекты ВКС (видеоконференцсвязь). URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Проект:Министерство_обороны_РФ_\(Минобороны\)_Проекты_ВКС_\(видеоконференцсвязь\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Проект:Министерство_обороны_РФ_(Минобороны)_Проекты_ВКС_(видеоконференцсвязь)) (дата обращения: 01.01.2019).
2. Вегешна Ш. Качество обслуживания в сетях IP. М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. 386 с.
3. Сорокин М.А., Курило А.А., Кузин П.И. Модель процесса анализа служебного трафика при управлении безопасностью информационной сети // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2021. № 1–2 (151–152). С. 67–73.

4. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учебник для вузов. СПб.: Питер, 2017. 992 с.
5. Wischik D., McKeown N. Buffer Size for Core Routers // *Computer Communication Review*. 2005. V. 3. № 35. Pp. 75–78.
6. Виноградов М.В. Современные методы и средства управления в сетях видеоконференц-связи // *Вестник связи*. 2007. № 6. С. 81–85.
7. Виноградов В.С., Метлицкий В.В. Системы видеоконференцсвязи // СТЭЛ КС. URL: <http://www.stel.ru/press/article> (дата обращения: 02.03.2022).
8. Кочегаров В.А. Проектирование систем распределения информации. Марковские и немарковские модели. М.: Радио и связь, 1991. 214 с.
9. Болюбаш О.О. Алгоритм сбора, обработки и передачи информации о состоянии сети передачи данных / Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье // *Материалы XI международной НПК. М.: НТУ «ХПИ», 2003. С. 45.*
10. Лившиц Б.С., Пшеничников А.П., Харкевич А.Д. Теория телетрафика. М.: Связь, 1979. 224 с.
11. Шелухина О.И. Фрактальные процессы в телекоммуникациях: монография. М.: Радиотехника, 2003. 480 с.
12. Lipatnikov V., Belov A., Kuzin P., Rabin A. Determination of linear spectral frequencies / *AIP Conference Proceedings*. Melville, New York, United States of America, 2021. P. 30046.
2. Vegeshna S. Quality of service in IP networks. Moscow: Williams Publishing House, 2003. 386 p.
3. Sorokin M.A., Kurilo A.A., Kuzin P.I. Model of the process of analysis of service traffic in the management of information network security // *Questions of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism*. 2021. No 1–2 (151–152). Pp. 67–73.
4. Olifer V.G., Olifer N.A. Computer networks. Principles, technologies, protocols: textbook for universities. St. Petersburg: Peter, 2017. 992 p.
5. Wischik D., McKeown N. Buffer Size for Core Routers // *Computer Communication Review*. 2005. V. 3. No 35. Pp. 75–78.
6. Vinogradov M.V. Modern methods and means of control in the videoconferencing networks // *Vestnik svyazi*. 2007. No 6. Pp. 81–85.
7. Vinogradov V.S., Metlitsky B.V. Videoconferencing systems // *STEL KS*. URL: <http://www.stel.ru/press/article> (date of reference: 02.03.2022).
8. Kochegarov V.A. Designing of the information distribution systems. Markovian and non-Markovian models. Moscow: Radio and communication, 1991. 214 p.
9. Bolyubash O.O. Algorithm for collecting, processing and transmitting information about the state of the data transmission network / *Information technologies: science, engineering, technology, education, health* // *Proceedings of the XI International Scientific and Technical Conference*. Moscow: NTU «XIII», 2003. P. 45.
10. Livshits B.S., Pshenichnikov A.P., Kharkevich A.D. Theory of Teletraffic. Moscow: Svyaz, 1979. 224 p.
11. Shelukhina O.I. Fractal processes in telecommunications: monograph. Moscow: Radiotekhnika, 2003. 480 p.
12. Lipatnikov V., Belov A., Kuzin P., Rabin A. Determination of linear spectral frequencies / *AIP Conference Proceedings*. Melville, New York, United States of America, 2021. P. 30046.
1. Testing the «military internet» // TADVISER. VCS (videoconferencing) projects. URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Проект:_Министерство_обороны_РФ_\(Ministry_of_Defense\)_ \(Projects_VCS_\(videoconferencing\)\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Проект:_Министерство_обороны_РФ_(Ministry_of_Defense)_ (Projects_VCS_(videoconferencing))) (accessed: 01.01.2019).

References

УДК 621.391.6; 621.396.13; 621.396.67.012.12

doi: 10.53816/23061456_2025_5–6_65

МОДЕЛЬ ПОДАВЛЕНИЯ ПРЕДНАМЕРЕННЫХ ПОМЕХ В СОСТАВНЫХ РАДИОЛИНИЯХ НАЗЕМНО-ВОЗДУШНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ

MODEL FOR SUPPRESSION OF DELIBERATE INTERFERENCE IN COMPOSITE RADIO LINKS OF GROUND-TO-AIR COMMUNICATION NETWORKS

Д.Н. Поляков

D.N. Polyakov

Военная академия связи им. С.М. Буденного

В статье представлена разработка модели наземно-воздушной сети радиосвязи, обеспечивающей новый подход к помехоустойчивости в составных радиолиниях с применением беспилотных летательных аппаратов. Данная модель предлагает применение метода адаптивных антенных решеток совместно с методом псевдослучайной или программной перестройки рабочих частот на корпусе беспилотных летательных аппаратов, с учетом моделей сред распространения, которые наиболее комплексно и полно описывают все имеющиеся воздействия на систему связи наземно-воздушной сети и различного рода затухания в каналах связи. Разработанная модель позволяет получить все необходимые значения для расчета вероятности связи, как показателя помехоустойчивости, и в дальнейшем стать основой для реализации методики расчета помехоустойчивости в составных радиолиниях наземно-воздушных сетей связи.

Ключевые слова: сеть радиосвязи, помехоустойчивость, беспилотный летательный аппарат, адаптивная антенная решетка, среда распространения, затухание и замирание радиоволн, вероятность связи.

The paper presents the development of a ground-to-air radio communication network model that provides a new approach to noise immunity in composite radio links using unmanned aerial vehicles. This model proposes the application of the method of adaptive antenna arrays together with the method of pseudo-random or software tuning of operating frequencies on the drone body, taking into account the models of propagation environments, which most comprehensively and fully describe all the available effects on the communication system of the ground-air network and various kinds of attenuation in the communication channels. The developed model allows to get all necessary values for calculation of probability of connection, as an indicator of noise immunity, and further to become a basis for realization of methodology of calculation of noise immunity in composite radio lines of ground-air communication networks.

Keywords: radio communication network, noise immunity, unmanned aerial vehicle, adaptive antenna array, propagation environment, fading and fading of radio waves, communication probability.

В современных системах радиосвязи и радиолокации крайне необходимо эффективное подавление помех, чтобы обеспечить заданное

качество сигнала для устойчивой связи. Эта ключевая задача особенно актуальна для осуществления связи с беспилотными летательными

аппаратами (БПЛА) в условиях сложной сигнально-помеховой обстановки.

Методы противодействия воздействию на сеть радиосвязи, характеризующемуся внесением преднамеренных искажений сигнала, можно разделить на следующие направления.

1. Снижение допустимого превышения уровня радиосигнала над уровнем радиопомех и при соблюдении требуемой достоверности радиосвязи.

2. Повышение энергетического потенциала радиоканала.

3. Увеличение длительности интервалов пригодного состояния радиоканалов.

Первое направление включает в себя такие методы, как:

- методы разнесенного приема в линиях радиосвязи (пространственного, временного, частотного, комбинированного);

- метод применения радиосигналов сложной структуры (системы с фазоманипулированными псевдослучайными сигналами (ФМн-ПСП) и системы с псевдослучайной или программной перестройкой рабочих частот (ППРЧ)).

Второе направление включает в себя такие методы, как:

- увеличение мощности радиопередающих устройств;

- повышение коэффициентов усиления передающих антенн;

- повышение коэффициентов направленного действия приемных антенн;

- использование активных фазированных антенных решеток (АФАР);

- использование адаптивных приемных антенных систем с управляемой диаграммой направленности.

Третье направление включает в себя различные методы адаптации, такие как:

- адаптация по частоте;

- адаптация по мощности;

- адаптация по виду радиосигнала;

- адаптация по скорости передачи информации.

Каждый из приведенных выше методов имеет свои преимущества и недостатки. Однако, наиболее подходящим для подавления преднамеренных помех в наземно-воздушной сети с использованием беспилотных летательных аппаратов с энергетической точки зрения является

использование адаптивных антенных решеток (ААР) с управляемой диаграммой направленности [1]. Использование ААР позволяет подавлять помехи любого вида и управлять положением диаграммы направленности в обеих плоскостях, что позволяет уменьшить влияние мешающих сигналов и повысить отношение сигнал/шум. ААР позволяют производить подавление помех, не прибегая к увеличению мощности и расширению спектра полезного сигнала. Современная электронная база и правильно выбранный алгоритм обработки сигналов дают возможность качественного приема сигналов на фоне помех, в разы превышающих по мощности уровень полезного сигнала. Число подавляемых помех определяется числом элементов в антенне [2].

В качестве объекта исследования будет рассмотрена сценарная модель представленная на рис. 1. В данной модели рассматривается БПЛА-носитель FPV-дронов «ударников», который служит ретранслятором между оператором и дронами-ударниками. Он должен выполнить задачу разведки с определением целей для поражения в заданном районе. При этом в режиме разведки между оператором и БПЛА-носителем используются два канала связи: канал управления и канал видео и данных телеметрии (рис. 1, а). Если цель обнаружена, «носитель» переходит в режим ретрансляции для ударных дронов. В этом режиме составная радиолиния между оператором и дронами-ударниками образуется при помощи ретрансляции через БПЛА-носитель (рис. 1, б).

Для подавления помех будет рассмотрена адаптивная антенная решетка, состоящая из 4 штыревых антенных элементов, расположенных в одной плоскости по «квадрату» со стороной квадрата d , равной половине длины волны радиочастоты 2,4 ГГц, то есть равной 62,46 мм (рис. 2).

Для формирования диаграммы направленности используется метод смещения фазы принимаемых сигналов [3]. На каждом антенном элементе индивидуально настраивается сдвиг фазы. После смещения фазы все сигналы суммируются и формируется итоговый сигнал, считываемый приемником.

На первом этапе система переводится в режим сканирования направления на источник

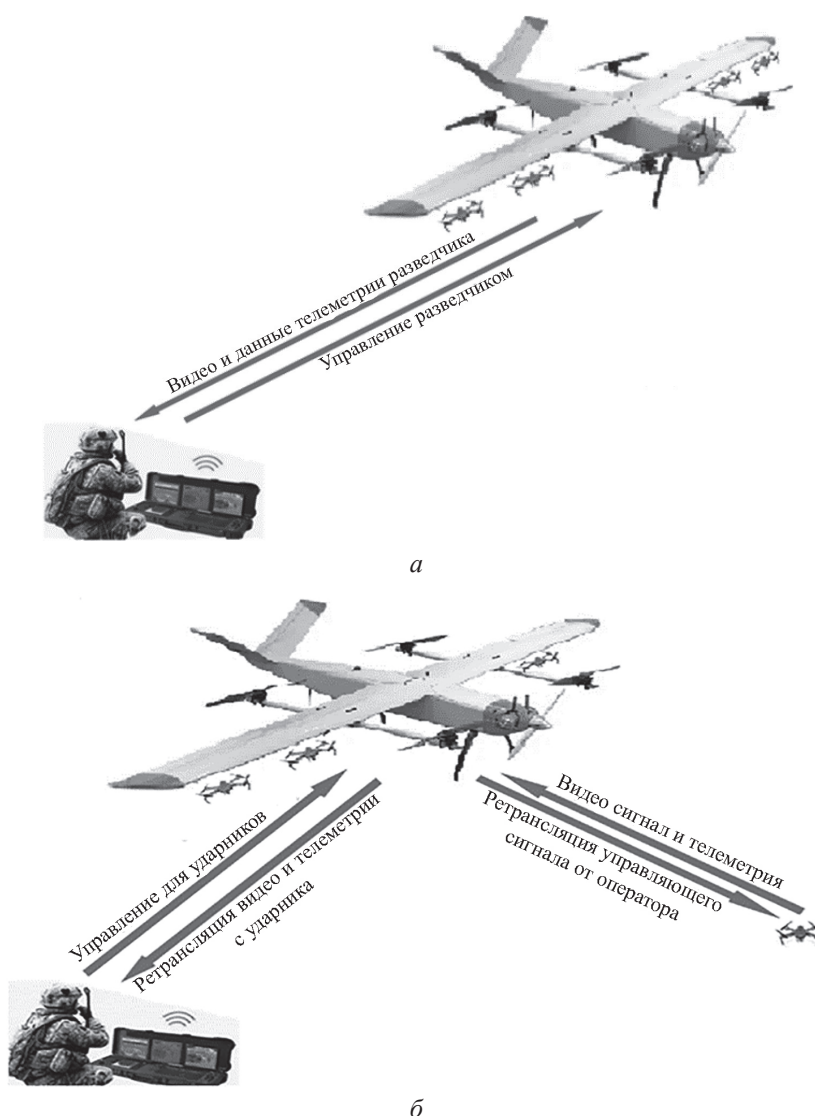


Рис. 1. Сценарная модель: а — режим разведки до обнаружения цели; б — режим ретрансляции для уничтожения цели

помехи — направления на источник излучения наибольшей мощности. Для этого сдвинем фазы антенных элементов так, чтобы сигналы с заданного направления были синфазны и складывались. Это позволит сформировать максимум диаграммы направленности в заданном направлении. Этот максимум охватывает всю плоскость на 360 градусов, за счет чего определяется направление прихода наибольшей мощности, которое принято за направление на источник помехи. Визуализация этого процесса показана на рис. 3, построенного через функцию `figure` программы Matlab [4].

На втором этапе при помощи аналитического метода можно сформировать сдвиги фаз ан-

тенных элементов таким образом, чтобы «ноль» диаграммы направленности был сформирован в точности на источник помехи (рис. 4).

На рис. 2 показана схема размещения антенных элементов. Одним из способов сформировать «ноль» диаграммы направленности в определенном направлении является формирование такого смещения фазы, чтобы сигналы с двух антенн оказались синфазны друг с другом, а с других двух антенн были в противофазе указанным ранее синфазным сигналам. Таким образом при сумме 4 сигналов итоговый принятый сигнал будет равен нулю, если не учитывать неточности и наводимые в системе шумы.

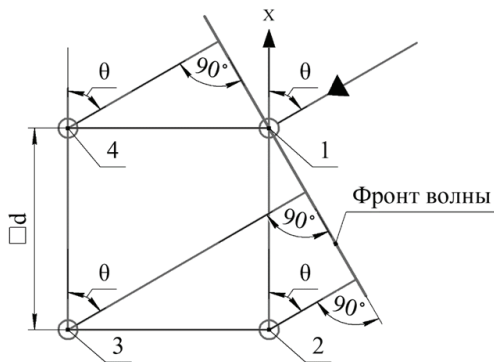


Рис. 2. Схема расположения штыревых антенных элементов

В каждый момент времени амплитуду сигнала на i -м антенном элементе можно описать по формуле

$$a_i = A_0 \cdot \cos(\omega t + \varphi),$$

где A_0 — максимальная амплитуда принимаемого сигнала;

ω — круговая частота принимаемого сигнала.

Примем следующее правило для формирования «нуля» диаграммы направленности: сдвиг фаз будем формировать таким образом, чтобы

сигналы с антенных элементов 1 и 4 были синфазны друг другу и были в противофазе сигналам на антенных элементах 2 и 3, рис. 2.

Выберем 1-й антенный элемент в качестве исходного, то есть его фаза не будет изменяться. Исходя из геометрической схемы расположения антенных элементов, приведенной на рис. 2, и принятого выше правила, получим следующие формулы для сдвигов фаз антенных элементов 2–4:

$$\begin{cases} \Delta\varphi_{12} = \frac{2\pi d \cdot \cos(\theta)}{\lambda} + \pi; \\ \Delta\varphi_{13} = \frac{2\pi d \cdot \cos(\theta) \cdot (1 + \operatorname{tg}(\theta))}{\lambda} + \pi; \\ \Delta\varphi_{14} = \frac{2\pi d \cdot \sin(\theta)}{\lambda}. \end{cases}$$

В связи с тем, что использование ААР позволяет подавлять ограниченное число преднамеренных воздействий одновременно и показывает низкую эффективность подавления помех, приходящих с направлений, близких к направлению прихода полезного сигнала, предлагается также в комплексе с ААР применить метод ППРЧ, который будет использоваться при низкой эффективности ААР. На дронах-ударни-

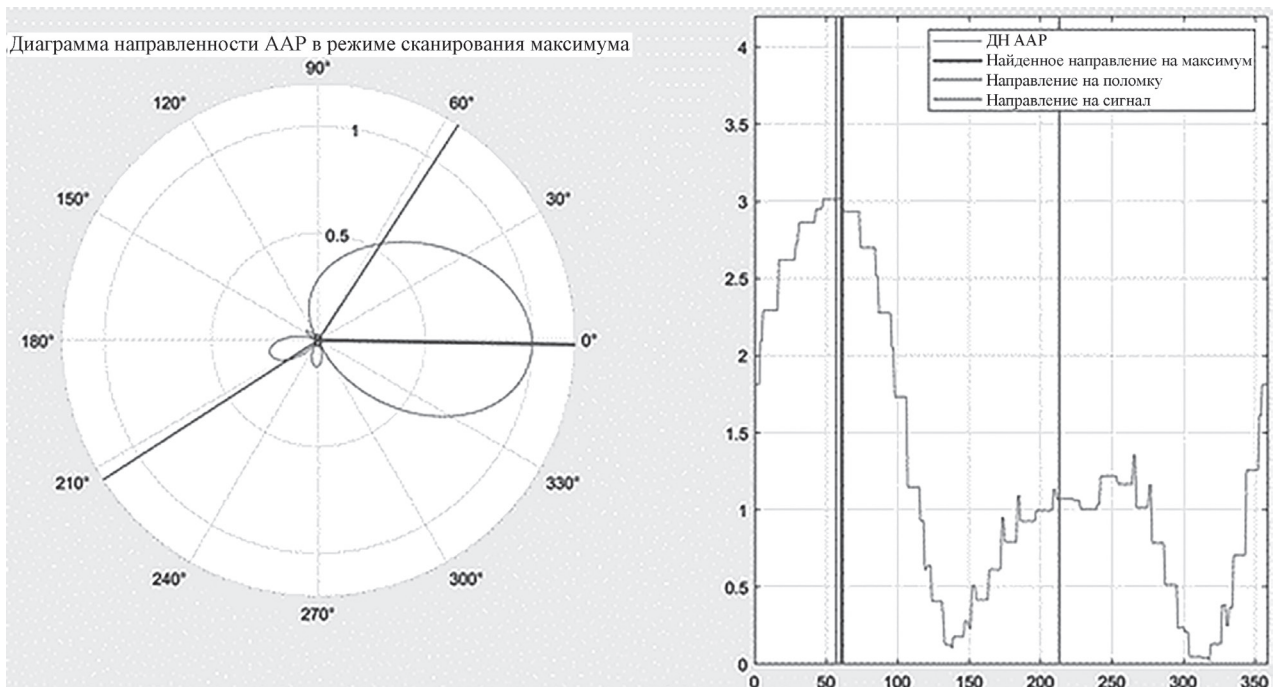


Рис. 3. Результат работы алгоритма по поиску направления на источник помехи



Рис. 4. Сформированная диаграмма направленности ААР

ках мы тоже будем использовать только метод ППРЧ при воздействии помех в связи с тем, что они используются как расходный материал для уничтожения цели, которую обнаружил БПЛА-носитель, и находятся в прямой видимости с носителем.

Процесс работы данной системы представлен на рис. 5.

Данная схема соответствует следующим этапам.

1. На первом этапе команда с пульта оператора поступает на дрон-разведчик.

2. Далее на этапе обработки поступивший сигнал анализируется исходя из имеющейся базы знаний.

3. На основе проведенного анализа делается вывод о наличии или отсутствии в поступившем сигнале преднамеренных помех.

4. Если помехи в канале управления зафиксированы, осуществляется анализ воздействующих помех и по результатам применяется один из двух возможных вариантов противодействия (ААР или ППРЧ) до тех пор, пока помеха не будет устранена.

5. По результатам выбора варианта противодействия оператору поступает уведомление. Если уведомление сигнализирует об использовании ППРЧ для борьбы с преднамеренной помехой, то данный тип противодействия применяется так же и на пульте оператора.

6. Если преднамеренных помех в сигнале не обнаружено, осуществляется поиск цели с передачей видео и телеметрии на пульт оператора, до момента обнаружения цели.

7. Когда цель обнаружена, осуществляется переключение управления от оператора на БПЛА-ударник посредством ретрансляции через БПЛА-разведчик.

8. На самих ударниках при получении команды от оператора, так же, как и на БПЛА-разведчике, осуществляется обработка полученного сигнала на предмет наличия преднамеренных помех исходя из имеющейся базы знаний.

9. Если помехи не обнаружено, БПЛА-ударник приступает к выполнению поступившей команды с пульта оператора. При этом оператор осуществляет контроль за выполнением задания

10. Если помехи в канале управления зафиксированы, осуществляется применение метода ППРЧ до тех пор, пока помеха не будет устранена.

Ввиду того, что распределение уровней сигнала и помех во времени подчиняется случайному закону, вероятность связи определяется выражением [5]:

В случае, когда значение вероятности связи неизвестно, расчетный параметр U находится по формуле:

σ_z — среднеквадратическое отклонение превышения уровня сигнала над уровнем помех;

$\bar{z}$ — отношение медианных значений мощности сигнала к мощности шумов и помех на входе приемника:

Мощность полезного сигнала на входе приемника определяется при помощи уравнения радиопередачи. При расчетах значение удобно выражать в децибелах относительно ватта.

где $k_{\text{Б}} = 1,38 \cdot 10^{-23}$ ВТ/(Гц·К) — постоянная Больцмана;

70

T_A — шумовая температура антенны;

$T_{\text{ПРМ}}$ — шумовая температура приемника.

Нахождение значений шумовых температур антенны и приемника подробно описано в работе [5].

В случае, когда на вход приемника воздействуют преднамеренные или непреднамеренные помехи, их значения вычисляются при помощи уравнений радиопередачи, за исключением того, что все переменные, имеющие отношение к передающему тракту, берутся из тактико-технических характеристик «мешающих» радиоэлектронных средств.

В связи с тем, что наша сеть наземно-воздушная, необходимо учитывать и распространение сигнала в различных средах («земля–воздух», «воздух–воздух», «воздух–земля»).

Канал радиосвязи между БПЛА и наземным пунктом управления относится к авиационному каналу, который описывается многолучевой моделью с явлениями переотражения, рассеивания и дифракции [6].

На рис. 6 можно наблюдать дальность связи D , радиусы областей минимального $\rho_{\min}$, среднего ρ_{sign} и максимального ρ_l распространения радиоволн, конфокальные соответствующим эллипсоидам зон Френеля. Радиусы $\rho_{\min}$ и ρ_{sign} определяются соотношениями:

$$\rho_{\min} \approx \sqrt{\lambda R / 12};$$

$$\rho_{\text{sign}} \approx \sqrt{[2\pi]^{-1} \sin^{-1}(0,8)\lambda R}.$$

Взаимосвязь переменных D и d устанавливается при аппроксимации земной поверхности сферой радиуса $R_3 = 6366,1977$ км соотношением:

$$d = 2R_3 \sin(0,5D / R_3).$$

Для расчета мощности принимаемого сигнала на БПЛА и наземном пункте связи (НПС) справедливы следующие соотношения (уравнения радиопередачи [7]):

$$P_{\text{прм}}^{\text{БПЛА}} = P_{\text{прд}}^{\text{НПС}} - \eta_{\text{прд}}^{\text{НПС}} + G_{\text{прд}}^{\text{НПС}} + G_{\text{прм}}^{\text{БПЛА}} - \eta_{\text{прм}}^{\text{БПЛА}} - W_{\Sigma}^{\Pi};$$

$$P_{\text{прм}}^{\text{НПС}} = P_{\text{прд}}^{\text{БПЛА}} - \eta_{\text{прд}}^{\text{БПЛА}} + G_{\text{прд}}^{\text{БПЛА}} + G_{\text{прм}}^{\text{НПС}} - \eta_{\text{прм}}^{\text{НПС}} - W_{\Sigma}^{\text{O}},$$

где $P_{\text{прм}}^{\text{БПЛА}}$ и $P_{\text{прм}}^{\text{НПС}}$ — уровень сигнала на входе приемников БПЛА и НПС, дБ·Вт;

$\eta_{\text{прд}}^{\text{БПЛА}}$, $\eta_{\text{прм}}^{\text{БПЛА}}$ и $\eta_{\text{прд}}^{\text{НПС}}$, $\eta_{\text{прм}}^{\text{НПС}}$ — затухания в трактах передачи, приема для БПЛА и НПС, дБ;

$G_{\text{прд}}^{\text{БПЛА}}$, $G_{\text{прм}}^{\text{БПЛА}}$ и $G_{\text{прд}}^{\text{НПС}}$, $G_{\text{прм}}^{\text{НПС}}$ — коэффициенты усиления антенн в режимах передачи и приема для БПЛА и НПС, дБ;

$P_{\text{прд}}^{\text{НПС}}$ и $P_{\text{прд}}^{\text{БПЛА}}$ — мощность передатчиков БПЛА и НПС, дБ·Вт;

W_{Σ}^{Π} , W_{Σ}^{O} — затухание в среде распространения для прямого и обратного каналов, дБ [8, 9].

$$W_{\Sigma} = W_{\text{св}} + W_{\text{ат}} + W_{\text{р}},$$

где $W_{\text{св}}$ — величины затуханий в свободном пространстве;

$W_{\text{ат}}$ — затухание в газах атмосферы;

$W_{\text{р}}$ — затухание, учитывающее степень влияния земной поверхности на энергетические параметры интервала с учетом тропосферной рефракции.

$$W_{\text{св}} = 20 \lg(4\pi R f / c),$$

где R — эталонное расстояние в свободном пространстве, которое обычно выбирается равным рабочей высоте БПЛА или рассчитывается как

$$R = \sqrt{d^2 + (H - h)^2};$$

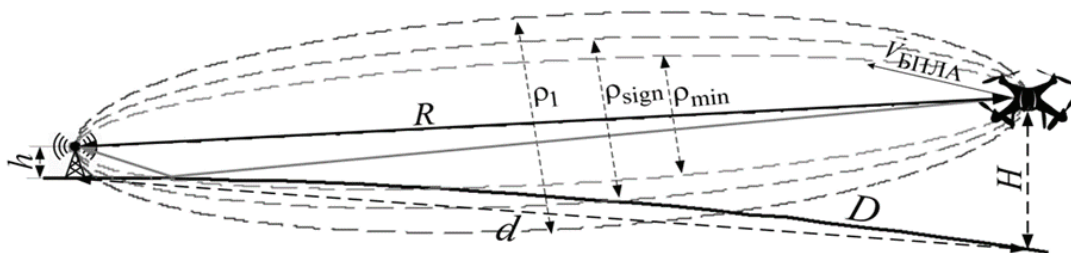


Рис. 6. Геометрическое представление канала связи с БПЛА для сред воздух–земля и земля–воздух

f — частота, на которой происходит прием сигнала;

c — скорость света в вакууме, м/с.

Затухание в газах атмосферы $W_{ат}$ вычисляется в соответствии с рекомендацией МСЭ ITU-R P.676-9 приближенным соотношением, верифицированным в диапазоне частот 1–350 ГГц:

$$W_{ат} = R(\gamma_0 + \gamma_w) \times 10^{-3},$$

где γ_0 и γ_w — погонное затухание в сухом воздухе и в водяных парах соответственно.

$$W_p = 10\gamma \lg(R_d / R) + X_\sigma,$$

где γ — экспонента потери на трассе, которая зависит от окружающей среды;

R_d — расстояние между приемником и передатчиком с учетом дифракции;

X_σ — логарифмически нормальное замирание вследствие затенения.

Затухания W_p обусловлены влиянием земной поверхности на энергетические параметры интервала связи. Характер влияния земной поверхности существенным образом определяется ее электрическими параметрами — удельной проводимостью σ , относительными диэлектрической ϵ и магнитной μ проницаемостями и их естественным различием от аналогичных параметров атмосферы [10].

Основу вычисления W_p при заданных геометрических параметрах представления канала связи с БПЛА составляют следующие подзадачи:

- определение влияния гладкой поверхности Земли при представлении этой поверхности сферическим сегментом или плоскостью;
- определение влияния переотражений от гладкой поверхности Земли;
- определение влияния рельефа местности.

Так, при $X_\sigma = 0$ потери на трассе в зависимости от расстояния между БПЛА и НПС для разных частот (0,9 ГГц; 2,4 ГГц; 5,8 ГГц) представлены на рис. 7.

Из рис. 7 видно, что при расстоянии между БПЛА и НПС 30 км затухания сигнала в свободном пространстве в диапазонах 0,9 ГГц; 2,4 ГГц и 5,8 ГГц равны 121 дБ, 130 дБ и 136 дБ соответственно. В худших условиях распространения ($\gamma = 3$) затухание сигнала сильно увеличивается. Для компенсации такого ослабления сигнала можно использовать различные способы, в том числе повышение коэффициента усиления антенн (главным образом, наземной), использование энергетически выгодных видов модуляции, повышение выходной мощности передатчиков (до максимально разрешенной).

Поскольку для выполнения задания подразумевается перемещение БПЛА-разведчика на достаточно большие расстояния относительно

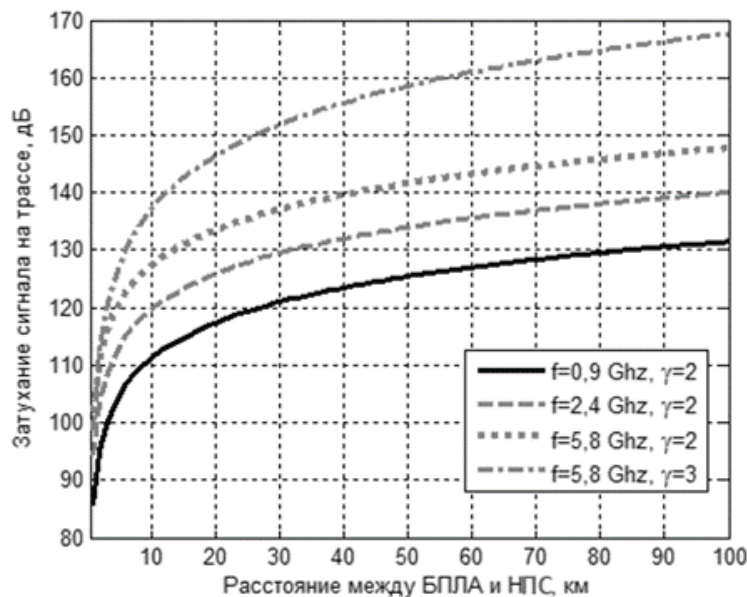


Рис. 7. Затухание сигнала на трассе в зависимости от расстояния между БПЛА и НПС для трех разных частот

оператора, следует учесть характеристику максимально возможной дальности связи $D_{\max}$:

$$D_{\max} = \frac{c}{4\pi f} 10^{\frac{P_{Tx} + G_{Tx} + \eta_{Tx} + G_{Rx} + \eta_{Rx} + W_{\Sigma} - P_{Rx}}{20}},$$

где P_{Tx} и P_{Rx} — мощность сигнала на передатчике и приемнике;

G_{Tx} и G_{Rx} — коэффициент усиления антенны передатчика и приемника;

η_{Tx} и η_{Rx} — затухания в трактах передачи и приема.

Таким образом, разработанная модель наземно-воздушной сети радиосвязи позволяет получить все необходимые значения для расчета вероятности связи, как показателя помехоустойчивости, и в дальнейшем стать основой для реализации методики расчета помехоустойчивости передачи информации в составных радиоперелиниях наземно-воздушных сетей связи.

Список источников

1. Риглер, Комптон Р.Т. Адаптивная антенная решетка для подавления помех // ТИИЭР. 1973. Том 61. № 6. С. 75–86.
2. Монзинго Р.А., Миллер Т.У. Адаптивные антенные решетки: введение в теорию; пер. с англ. М.: Радио и связь, 1986, 446 с.
3. Тузов Г.И. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами. М.: Радио и связь, 1986. 264 с.
4. Лазарев Ю.Ф. Начала программирования в среде MatLAB: учеб. пособие. К.: НТУУ «КПИ», 2003. 424 с.
5. Мешалкин В.А., Сосунов Б.В. Основы энергетического расчета радиоканалов. Л.: воен. акад. связи, 1991. 110 с.
6. Haas E. Aeronautical channel modeling // IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2002. V. 51. № 2. Pp. 254–264.
7. Калинин А.И. Распространение радиоволн на трассах наземных и космических радиоперелиний. М.: Связь, 1976. 296 с.
8. Bing L. Study on modeling of communication channel of UAV // Procedia Computer Science. 2017. Vol. 107. Pp. 550–557.

9. X. Cai et al. Low altitude UAV propagation channel modelling // 2017 11th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP). 2017. Pp. 1443–1447.

10. Архипов Н.С., Полянский И.С., Яковлев Ю.Н., Субботенко А.В. Математическая модель канала связи с беспилотным летательным аппаратом // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2021. № 24 (3). С. 71–79.

References

1. Rigler, Compton R.T. Adaptive antenna array for interference suppression // TIIEE. 1973. Vol 61. No 6. Pp. 75–86.
2. Monzingo R.A., Miller T.U. Adaptive antenna arrays: Introduction to Theory: transl. from English. M.: Radio and Communications, 1986. 446 p.
3. Tuzov G.I. Noise immunity of radio systems with complex signals. M.: Radio and Communications, 1986. 264 p.
4. Lazarev Y.F. The beginning of programming in the MatLAB environment: A textbook. K.: NTUU «KPI», 2003. 424 p.
5. Meshalkin V.A., Sosunov B.V. Fundamentals of energy calculation of radio channels. Leningrad: VAS, 1991. 110 p.
6. Haas E. Aeronautical channel modeling // IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2002. V. 51. No 2. Pp. 254–264.
7. Kalinin A.I. Propagation of radio waves on the routes of terrestrial and space radio lines. M.: Svyaz, 1976. 296 p.
8. Bing L. Study on modeling of communication channel of UAV // Procedia Computer Science. 2017. Vol. 107. Pp. 550–557.
9. X. Cai et al. Low altitude UAV propagation channel modelling // 2017 11th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP). 2017. Pp. 1443–1447.
10. Arkhipov N.S., Polyansky I.S., Yakovlev Yu.N., Subbotenko A.V. Mathematical model of a communication channel with an unmanned aerial vehicle. Physics of wave processes and radio engineering systems. 2021. No 24 (3). Pp. 71–79.

УДК 623.4

doi: 10.53816/23061456_2025_5–6_74

**АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ
ОТ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА**

**ANALYSIS OF MODERN MEANS OF PROTECTION
AGAINST MOTOR TRANSPORT**

Канд. техн. наук А.С. Пучков, канд. техн. наук И.В. Гук, канд. техн. наук А.И. Спивак

Ph.D. A.S. Puchkov, Ph.D. I.V. Guk, Ph.D. A.I. Spivak

НПО Спецматериалов

Рассмотрены современные тенденции создания и применения дорожных блокираторов из состава средств принудительной остановки. Определены приоритетные направления совершенствования существующих конструкций дорожных блокираторов основными из которых являются: усиление конструкции за счет размещения вертикальных и горизонтальных ребер жесткости; включение в состав подъемной платформы дополнительных шипов для повреждения шин автомобиля, противовесов, пружинных амортизаторов; складных защитных шторок, дополнительного упора в основании для фиксации подъемной платформы в боевом положении, специальной резьбовой втулки для регулирования положения привода, предохранителя привода, приспособления, компенсирующего температурное расширение в элементах привода, совершенствование конструкции приводного вала за счет выполнения на нем специальных проточек.

Ключевые слова: дорожный блокиратор, средство принудительной остановки автомобильного транспорта, технические решения.

The article considers modern trends in the creation and application of road blockers from the forced stopping means. The priority areas for improving the existing designs of road blockers are defined, the main ones being: strengthening the structure by placing vertical and horizontal stiffeners; inclusion in the lifting platform of additional spikes to damage the tires of the car, counterweights, spring shock absorbers; folding protective curtains, an additional stop in the base for fixing the lifting platform in the combat position, a special threaded sleeve for adjusting the position of the drive, a drive safety device, a device compensating for thermal expansion in the drive elements, improving the design of the drive shaft by making special grooves on it.

Keywords: road blocker, means of forced stopping of motor vehicles, technical solutions.

Учитывая участившиеся случаи террористических актов в мире, актуальной является задача исключения несанкционированного въезда автотранспорта на объекты военной и гражданской

критической инфраструктуры. Наибольшую опасность для объектов военной и гражданской критической инфраструктуры представляет грузовой транспорт, как обладающий высокой про-

никающей способностью в связи со значительной кинетической энергией таранного воздействия [1, 2]. Кроме этого, грузовые автомобили имеют возможность доставить к месту проведения террористического акта заряды взрывчатого вещества значительной массы. Так, например, в г. Моздок (Россия) грузовой автомобиль марки «КАМАЗ», загруженный зарядами взрывчатого вещества массой до 10 т, управляемый террористом-смертником, протаранил ограждения и взорвался у здания Моздокского военного госпиталя. В результате террористического акта было полностью разрушено четырехэтажное здание госпиталя и погибло 52 человека [3]. Следует отметить, что серьезную опасность представляет автомобильный транспорт под управлением террористов в местах большого скопления людей. В результате наезда автомобильного транспорта на людей в местах проведения массовых мероприятий в 2016 году погибло 97 человек, ранено — 358 человек, в 2017 году погибло 34 человека, ранено — 169 человек, в 2018 году погибло 30 человек, ранено — 299 человек, в то же время за последний месяц 2024 года и неполных два месяца 2025 года погибло 23 человека и ранено — 380 человек.

В настоящее время в качестве технических средств, используемых в противотаранных целях, широкое распространение получили: автоматические ворота, шлагбаумы, болларды, дорожные блокираторы с подъемной платформой [4–8]. Последний тип конструкций является одним из самых распространенных, что обусловлено рядом его преимуществ, среди которых — относительная простота конструкции при высокой эффективности противодействия проникновению, возможность реализации различных вариантов монтажа и исполнений [8]. В общем слу-

чае дорожные блокираторы подразделяются на два типа: накладные и врезные [1].

Накладной дорожный блокиратор выполнен в форме «лежачего полицейского» и в закрытом положении позволяет беспрепятственно проезжать любому транспорту. Такой блокиратор представляет собой сборно-сварную металлическую конструкцию прямоугольной формы, состоящую из цельносварной несущей рамы и силовой подъемной платформы наверху. Пологие скаты блокиратора выполнены из рифленого металла, чтобы обеспечить лучшее сцепление колес и предотвратить соскальзывание. Вид блокиратора накладного типа представлен на рис. 1.

Одной из особенностей дорожных блокираторов накладного типа является возможность проникновения по инерции таранящего транспортного средства с разрушенной ходовой частью за пределы блокиратора в связи с недостаточной жесткостью последнего. В связи с этими обстоятельствами для блокирования несанкционированного въезда транспортных средств на территорию объектов с повышенными требованиями к безопасности необходимо его устанавливать только в комплексе с другими управляемыми средствами принудительной остановки автомобильного транспорта.

Врезной дорожный блокиратор монтируется вровень с дорожным полотном и в закрытом положении позволяет беспрепятственно проезжать любому транспорту. Такой блокиратор представляет собой сборно-сварную металлическую конструкцию прямоугольной формы, состоящую из цельносварной несущей рамы и силовой подъемной платформы наверху. Верхняя платформа выполнена из рифленого металла, чтобы обеспечить лучшее сцепление колес и

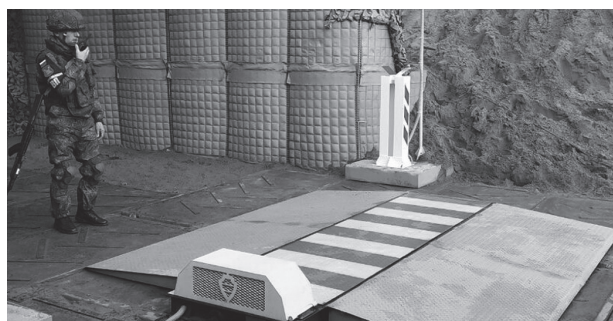


Рис. 1. Вид дорожного блокиратора накладного типа



Рис. 2. Вид дорожного блокиратора врезного типа

предотвратить соскальзывание. Вид блокиратора врезного типа представлен на рис. 2.

Дорожные блокираторы врезного типа предназначены для блокирования несанкционированного въезда транспортных средств на территорию объектов с повышенными требованиями к безопасности, к которым относятся объекты военной и критической инфраструктуры.

В дорожных блокираторах как накладного, так и врезного типа могут быть реализованы различные принципы функционирования привода: электромеханический, гидравлический, ручной.

В связи с общностью основных технических характеристик дорожных блокираторов с различными типами приводов, анализ таких характеристик проведем в сегменте дорожных блокираторов с электромеханическим приводом.

Основные характеристики отечественных и зарубежных дорожных блокираторов представлены в табл. 1.

Анализ данных, представленных в табл. 1, показывает, что у значительной части дорожных блокираторов подъемные платформы в «рабочем» (опущенном) положении располагаются на высоте от 116 до 210 мм выше уровня дороги, а также снабжены пандусами, что обеспечивает ими выполнение функций «лежачего полицейского». Время поднятия/опускания подъемной платформы изменяется в широких пределах от 6 с до 15 с, что накладывает определенные ограничения на использование отдельных номенклатур дорожных блокираторов в составе технических средств охраны важных объектов военной и критической инфраструктуры. Анализ данных, представленных в табл. 1, показывает, что срок

Таблица 1

Технические характеристики дорожных блокираторов

Наименование, производитель	Ширина, м	Высота в поднятом положении, мм	Высота над дорогой в опущенном положении, мм	Температурный режим, °C	Время подъема/ опускания платформ, с	Характеристики таранящего автомобиля масса, т / скорость, км/ч
«Покал», АО «НПО Спецматериалов»	от 3,0	500	130	от –40 до +50	6/6	20/60
ПТБЗ-У, «Компания дорожных блокираторов»	от 3,0	500	120	от –60 до +40	8/6	20/40
«Припона –П», ЗАО «ЦеСИС НИКИРЭТ»	от 3,0	520	120	от –40 до +40	8/8	6,8/60
ПЗП 3500 ЭМНШ, ООО «ПК Силар»	3,5	450	116	от –60 до + 40	10/10	30/40
«Барьер АПТв» «ПермЭнергоМаш»	от 2,5	500	210	от –45 до +45	6/6	30/50
Препятствие противо- таранное врезное 3500, ООО «ПензаПромКомплект»	3,5	500	0	от –35 до +65	8/8	15,6/50
ДБ-Л, «Проминвест-групп»	3,6	400	0	от –50 до +60	от 8 до 10 / от 8 до 10	–
ДБ-1, «Проминвест-групп»	2,5	490	120	от –50 до +60	от 7 до 15 / от 7 до 15	–
ARB 250, Чехия	3,0	500	150	от –35 до +50	от 3 до 4/ от 3 до 4	–

службы у большинства блокираторов составляет 10 лет, но при этом гарантийный срок эксплуатации этих блокираторов варьируется в широких пределах от 12 месяцев до 36 месяцев, а ресурс — от 300 циклов до 10000 циклов, что свидетельствует о существующих конструктивных и технологических резервах при совершенствовании дорожных блокираторов.

Возможные технические решения для совершенствования дорожных блокираторов представлены в табл. 2.

Анализ данных, представленных в табл. 2, показывает, что технические решения по совершенствованию дорожных блокираторов условно можно разделить на следующие типы:

- конструктивные решения;
- технологические решения;
- комбинированные решения.

Конструктивные решения, в свою очередь, могут подразделяться на решения, связанные с совершенствованием существующих основных узлов и деталей дорожных блокираторов, и на решения, связанные с введением в состав дорожных блокираторов новых узлов и деталей.

Целевые функции принимаемых технических решений по совершенствованию дорожных блокираторов направлены на совершенствование (улучшение):

- показателей назначения;
- показателей надежности;
- показателей стойкости к внешним воздействиям;
- эргономических показателей.

Наиболее перспективными решениями по совершенствованию дорожных блокираторов являются:

- усиление конструкции за счет размещения вертикальных и горизонтальных ребер жесткости;
- включение в состав подъемной платформы дополнительных шипов для повреждения шин автомобиля;
- включение в состав противовесов;
- включение в состав пружинных амортизаторов;
- включение в состав складных защитных шторок, изготовленных, в том числе, из арамидных тканей;
- включение в состав дополнительного упора в основании для фиксации подъемной платформы в боевом положении;

- включение в состав специальной резьбовой втулки для регулирования положения привода;
- включение в состав предохранителя привода;
- включение в состав приспособления, компенсирующего температурное расширение в элементах привода;
- совершенствование конструкции приводного вала за счет выполнения на нем специальных проточек.

Некоторые технические решения по совершенствованию дорожных блокираторов реализованы в АО «НПО Спецматериалов» и ЗАО «ЦЕ-СИС НИКИРЭТ». На рис. 3 представлен вид усиленного дорожного блокиратора врезного типа за счет размещения стальных вертикальных ребер жесткости, которые также выполняют роль нескладных защитных шторок.

На рис. 4 представлен вид комбинированного дорожного блокиратора, у которого функциональность подъемной платформы по предотвращению несанкционированного проезда автомобильного транспорта увеличена за счет размещения на ней дополнительных шипов.

Рассмотренный патентный анализ конструкций блокираторов позволяет сделать вывод,



Рис. 3. Вид усиленного дорожного блокиратора врезного типа



Рис. 4. Вид комбинированного дорожного блокиратора с шипами

Технические решения по совершенствованию дорожных блокираторов

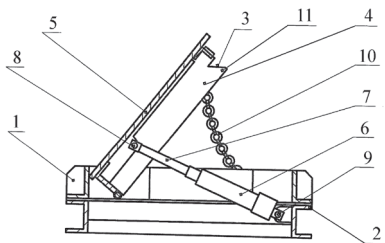
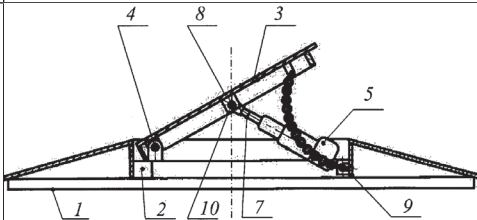
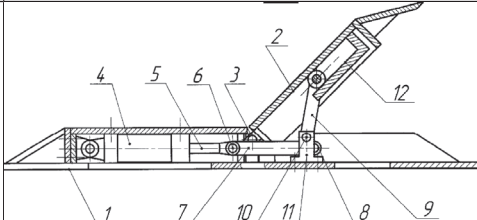
№ п/п	Вид конструкции образца	Краткое описание
1	 Врезной в дорожное полотно противотаранный дорожный блокиратор RU 119754: 1 — дорожный блокиратор; 2 — опорное основание; 3 — блокирующий элемент; 4 — силовая рама; 5 — крышка; 6 — электрический привод; 7 — шток; 8 — соединение штока; 9 — соединение штока; 10 — средство фиксации; 11 — зубец	Противотаранный дорожный блокиратор врезной в дорожное полотно, содержащий опорное основание, выполненное с возможностью закрепления с заглублением в дорожное полотно, блокирующий элемент, шарнирно соединенный с опорным основанием, отличающийся тем, что блокиратор содержит линейный электрический привод, шток которого соединен непосредственно с блокирующим элементом, причем линейный электрический привод выполнен с возможностью приведения блокирующего элемента в боевое положение и с возможностью возвращения блокирующего элемента в рабочее положение.
2	 Заградительное устройство RU 183809: 1 — основание; 2 — упор; 3 — блокирующий элемент; 4 — шарнир; 5 — электрический двигатель; 6 — червячный редуктор; 7 — выдвижной шток; 8 — шарнир; 9 — шарнир; 10 — резьбовая втулка	Заградительное устройство, содержащее опорное основание, шарнирно соединенное с блокирующим элементом и приводом, отличающееся тем, что дополнительно содержит упор, расположенный в опорном основании, а привод выполнен электромеханическим, включающим электрический двигатель, червячный редуктор, выдвижной шток, который шарнирно соединен с блокирующим элементом и снабжен механизмом регулирования положения привода, выполненного в виде резьбовой втулки.
3	 Заградительное устройство RU 86290: 1 — опорное основание; 2 — крышка; 3 — шарнир; 4 — гидравлический привод; 5 — шток; 6 — шарнир; 7 — рычаг; 8 — шарнир; 9 — рычаг; 10 — ось вращения; 11 — кронштейн; 12 — направляющая	Заградительное устройство, содержащее шарнирно соединенные между собой опорное основание и крышку; привод, рычажный механизм подъема крышки, отличающееся тем, что привод выполнен в виде набора гидравлических цилиндров, расположенных в опорном основании и соединенных шарнирно с соответствующими рычажными механизмами, выполненными в виде двух шарнирно соединенных рычагов, один из которых соединен с гидроцилиндрами, а другой имеет ось поворота и соединен с крышкой, снабженной ограничителями хода, одни концы которых шарнирно закреплены на опорном основании, а другие соединены с крышкой с возможностью перемещения относительно ее, при этом основание и крышка снабжены ложементами.

Таблица 2 (продолжение)

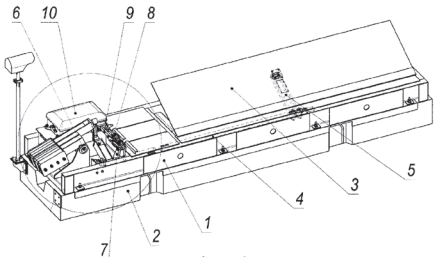
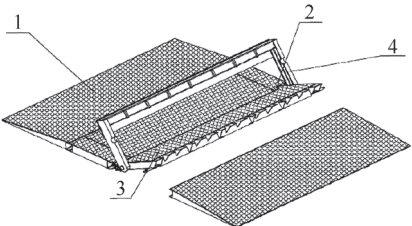
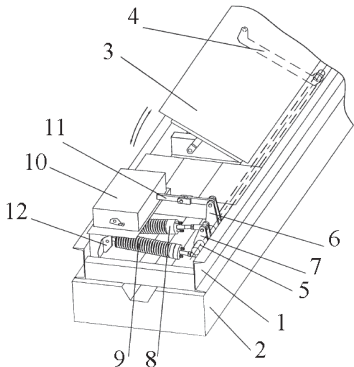
№ п/п	Вид конструкции образца	Краткое описание
4	 Заградительное устройство RU 203707: 1 — опорное основание; 2 — фундамент; 3 — крышка; 4 — приводной вал; 5 — рычаг подъема крышки; 6 — рычаг; 7 — приводной рычаг; 8 — предохранительный механизм; 9 — шибер; 10 — электропривод	Заградительное устройство, содержащее установленное на фундаменте опорное основание, на котором шарнирно закреплена крышка и установлен приводной вал, один конец которого при помощи рычага подъема крышки соединен с крышкой, а на другом конце которого жестко закреплен приводной рычаг, шарнирно соединенный через предохранительный механизм с шибером электропривода; противовес, рычаг которого жестко закреплен на приводном валу, отличающееся тем, что в конструкцию противовеса включено коромысло, имеющее длинное и короткое плечи и расположенное в пределах габаритов опорного основания параллельно оси поворота крышки, причем рычаг противовеса связан с одним концом коромысла противовеса, шарнирно закрепленного на неподвижной опоре, установленной на опорном основании, а на другом конце коромысла расположен наборный груз.
5	 Барьер противотаранный RU 107178: 1 — съезд; 2 — стационарная рама; 3 — ударная рама; 4 — дежурная рама	Барьер противотаранный, характеризующийся тем, что содержит съезды с возможностью их крепления на полотне дороги; ударную раму, шарнирно закрепленную на стационарной раме и шарнирно соединенную с дежурной рамой, при этом оси вращения ударной и дежурной рам разнесены относительно друг друга.
6	 Устройство заградительное RU 156855: 1 — опорное основание; 2 — фундамент; 3 — крышка; 4 — рычаг подъема и опускания крышки; 5 — приводной вал; 6 — кронштейн; 7 — дополнительный кронштейн; 8 и 9 — пружинные амортизаторы; 10 — электропривод; 11 — шибер; 12 — неподвижный кронштейн	Устройство заградительное, включающее опорное основание, шарнирно закрепленную на нем крышку, приводной вал, который одним концом соединен с крышкой, другим — через кронштейн с шибером привода; два пружинных амортизатора, отличающиеся тем, что пружинные амортизаторы размещены в пределах габаритов опорного основания параллельно его короткой стороне, при этом оба пружинных амортизатора одними концами шарнирно присоединены к одной и той же стороне опорного основания с помощью неподвижного кронштейна и расположены один над другим, а вторыми концами пружинные амортизаторы шарнирно закреплены в отверстиях дополнительного кронштейна, жестко соединенного с приводным валом, причем отверстия расположены на противоположных концах дополнительного кронштейна симметрично оси поворота приводного вала.

Таблица 2 (продолжение)

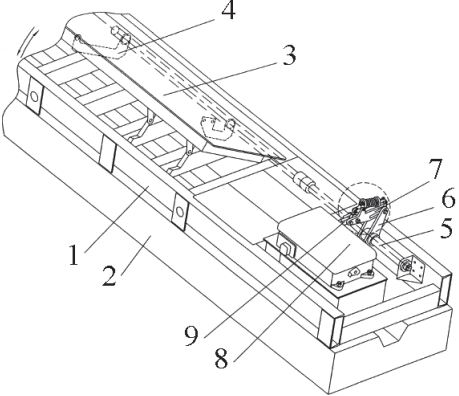
№ п/п	Вид конструкции образца	Краткое описание
7	 Заградительное устройство RU 166067: 1 — опорное основание; 2 — фундамент; 3 — крышка; 4 — рычаг подъема и опускания крышки; 5 — приводной вал; 6 — кронштейн; 7 — предохранительный механизм; 8 — электропривод; 9 — шибер	Заградительное устройство, включающее опорное основание, на котором шарнирно закреплена крышка, приводной вал, один конец которого соединен с крышкой, другой конец жестко скреплен с кронштейном привода, соединенным с шибером привода, предохранительный механизм, содержащий два складных рычага, две пружины, отличающееся тем, что предохранительный механизм заградительного устройства включает две пластины, размещенные параллельно друг другу, каждая из которых имеет горизонтальный паз, три проушины, две из которых расположены в верхней части пластины, третья проушина — в торцевой части, и отверстие — между пазом и третьей проушиной, в отверстиях пластин и в проушинах, расположенных в верхней части пластин, введены оси, соединяющие пластины между собой, причем между пластинами на оси, размещенной в отверстиях, установлен подшипник, на оси в проушинах, расположенных в верхней части пластин над отверстиями, шарнирно установлен рычаг Г-образной формы, торцы которого имеют форму вилки, снабжены отверстиями, а на сгибе Г-образного рычага также расположено отверстие, с помощью которого Г-образный рычаг шарнирно соединен с пластинами, на нижнем торце Г-образного рычага в вилке шарнирно установлен ролик, на верхнем торце Г-образного рычага в вилке шарнирно размещен конец одной из направляющих пружины сжатия, а конец другой направляющей пружины сжатия, снабженный регулировочной гайкой, шарнирно размещен между пластинами на оси проушин, расположенных в верхней части пластин над пазами, с помощью проушин в торцевой части пластин предохранительный механизм шарнирно присоединен к шиберу привода, а в пазах пластин подвижно размещена ось, которая присоединена к кронштейну привода, причем на этой оси между пластинами шарнирно закреплён срывной рычаг, выполненный в виде бруска прямоугольной формы с выемкой на свободном конце, выемка свободно размещена на подшипнике.

Таблица 2 (продолжение)

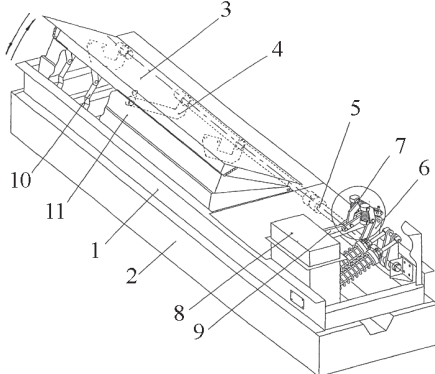
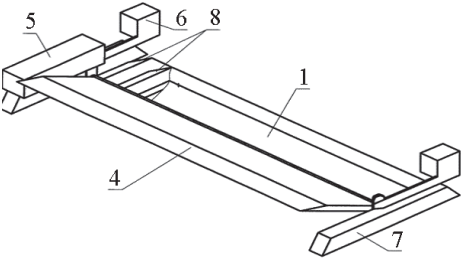
№ п/п	Вид конструкции образца	Краткое описание
8	 Заградительное устройство RU 2554909: 1 — опорное основание; 2 — фундамент; 3 — крышка; 4 — рычаг подъема и опускания крышки; 5 — приводной вал; 6 — кронштейн; 7 — предохранительный механизм; 8 — электропривод; 9 — шибер; 10 — удерживающие элементы; 11 — складная штора	Заградительное устройство, включающее опорное основание, на котором шарнирно закреплена крышка, установлен приводной вал, один конец которого соединен с крышкой, другой конец жестко скреплен с кронштейном привода, соединенным с шибером привода, отличающееся тем, что заградительное устройство дополнительно снабжено предохранительным механизмом, расположенным между шибером привода и кронштейном привода и состоящим из двух рычагов — длинного и короткого, трех коромысел — среднего и двух боковых, двух пружин сжатия, при этом рычаги шарнирно закреплены на одной оси, причем длинный рычаг шарнирно присоединен к шиберу привода и снабжен регулировочным винтом, короткий рычаг шарнирно присоединен к кронштейну привода, коромысла шарнирно закреплены на другой оси, параллельной оси крепления рычагов, причем среднее коромысло свободным концом присоединено к длинному рычагу предохранительного механизма, два боковых коромысла свободными концами шарнирно присоединены к короткому рычагу предохранительного механизма, а между указанными параллельными осями на их концах в направляющих размещены пружины сжатия, которые в исходном состоянии предохранительного механизма деформированы на величину их предварительной деформации, рычаги предохранительного механизма при этом раздвинуты, а при срабатывании предохранительного механизма пружины деформированы на полные величины их рабочей деформации, рычаги предохранительного механизма при этом сдвинуты.
9	 Противотаранная дорожно-заградительная установка RU 96871: 1 — основание; 4 — заградительный элемент; 5 — привод; 6 — противовесы; 7 — силовые опоры; 8 — упрочняющие перегородки	Противотаранная дорожно-заградительная установка, содержащая основание и связанный с ним посредством оси поворотный заградительный элемент, соединенный с приводом и уравновешенный по меньшей мере одним противовесом, при этом основание и заградительный элемент выполнены в виде расположенных одна вдоль другой полых балок, противоположные края которых скошены, а в полости каждой из них в поперечном направлении размещены упрочняющие перегородки со скошенными краями, причем концы оси установлены в силовых опорах, предназначенных для закрепления в грунте.

Таблица 2 (продолжение)

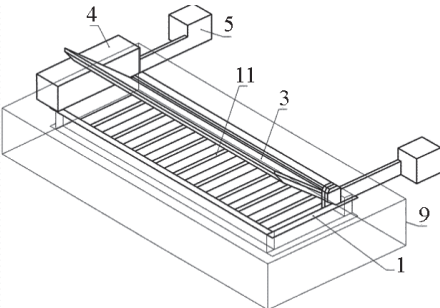
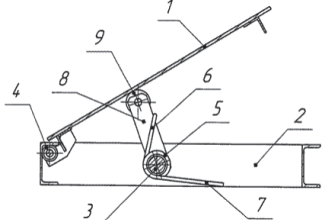
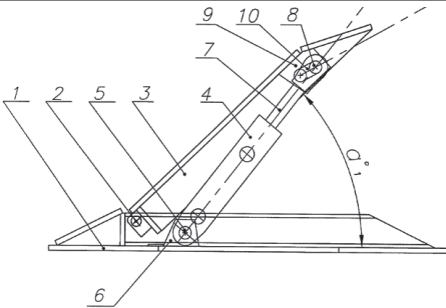
№ п/п	Вид конструкции образца	Краткое описание
10	 Противотаранная дорожно-заградительная установка RU 2437980 1 — рама; 3 — поворотный заградительный элемент; 4 — привод; 5 — противовесы; 9 — фундамент; 11 — упор	Противотаранная дорожно-заградительная установка, содержащая силовую раму, предназначенную для закрепления в фундаменте, и связанный с рамой посредством оси поворотный заградительный элемент, соединенный с приводом и уравновешенный по меньшей мере одним противовесом, при этом заградительный элемент выполнен в виде полый балки, поверхность свободного края которой с нижней стороны имеет наклонный участок с образованием острого угла с поверхностью ее верхней стороны, при этом в полости балки в поперечном направлении расположены упрочняющие перегородки, а под балкой размещен опорный узел, состоящий из упоров, каждый из которых установлен под соответствующей упрочняющей перегородкой, при этом концы оси, установленной вдоль противоположного свободного края балки, расположены в опорах, закрепленных на силовой раме.
11	 Дорожный блокиратор RU 2499974: 1 — подъемная платформа; 2 — основание; 3 — приводной вал; 4 — шарнирный механизм; 5 — пружина кручения; 6 — верхний зацеп; 7 — нижний зацеп; 8 — рычаг; 9 — ролик	Дорожный блокиратор, включающий стальное основание, подъемную платформу, приводной вал и шарнирный механизм, отличающийся тем, что между основанием и платформой установлено не менее одной пружины кручения, верхний зацеп каждой из которых упирается в платформу, а нижний — в основание или в поверхность дорожного полотна или покрытия.
12	 Заградительное устройство RU 86289: 1 — основание; 2 — шарнир; 3 — блокирующий элемент; 4 — привод; 5 — шарнир; 6 — кронштейн; 7 — шток; 8 — ось; 9 — кронштейн; 10 — паз	Заградительное устройство, содержащее опорное основание, шарнирно соединенное с блокирующим элементом, привод, отличающееся тем, что он выполнен в виде гидроцилиндра, корпус которого соединен шарнирно с опорным основанием, а шток снабжен осью, установленной с возможностью перемещения в пазу кронштейна, закрепленного на блокирующем элементе, при этом паз кронштейна выполнен под углом $\alpha = 5-35^\circ$ по отношению к оси штока и снабжен сменными вкладышами.

Таблица 2 (продолжение)

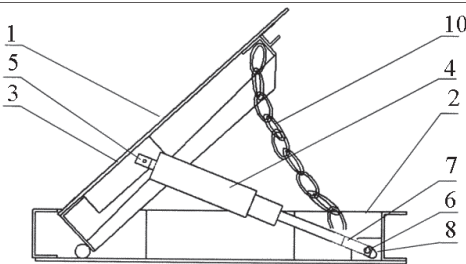
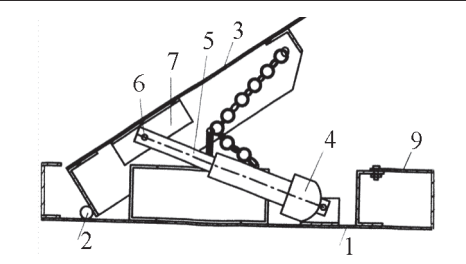
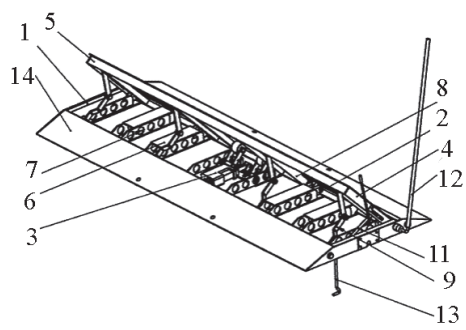
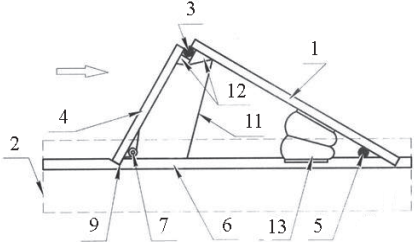
№ п/п	Вид конструкции образца	Краткое описание
13	 Противотаранный дорожный блокиратор RU 176458: 1 — блокиратор; 2 — основание; 3 — блокирующий элемент; 4 — привод; 5 — задний крепеж; 6 — оконечник; 7 — шток; 8 — соединительный узел; 9 — направляющая; 10 — средство фиксации	Противотаранный дорожный блокиратор, содержащий опорное основание; блокирующий элемент, шарнирно соединенный с опорным основанием; линейный электрический привод, задний крепеж которого шарнирно соединен с блокирующим элементом, а конец штока линейного электрического привода шарнирно соединен с опорным основанием; отличающийся тем, что шток линейного электрического привода соединен с опорным основанием посредством соединенного с опорным основанием соединительного узла, выполненного с возможностью разъединения со штоком линейного электрического привода при принудительном поднятии блокирующего элемента.
14	 Дорожный блокиратор RU 142109: 1 — основание; 2 — шарнир; 3 — блокирующее устройство; 4 — привод; 5 — шток; 6 — стержень; 7 — дополнительное приспособление; 9 — защитное устройство	Дорожный блокиратор, содержащий опорное основание, блокирующее устройство, электрический привод со штоком, служащим для приведения блокирующего устройства в рабочее положение, отличающийся тем, что приведение блокирующего устройства в рабочее положение осуществляют посредством жестко установленного на блокирующем устройстве дополнительного приспособления, выполненного с возможностью разъединения со штоком при ударе транспортного средства о блокирующее устройство.
15	 Устройство противотаранное заградительное RU 2659358: 1 — опорная рама; 2 — крышка; 2а — ребра жесткости; 4 — пружина сжатия; 5 — привод; 6 — плата управления; 9 — шарнир; 10 — защитная шторка; 11 — пандус	Устройство противотаранное заградительное, содержащее опорную прямоугольную раму с ребрами жесткости, на которой посредством шарниров консольно закреплена с возможностью подъема посредством электромеханического привода или вручную и выполненная в виде щита крышка с боковыми стенками и ребрами жесткости, отличающиеся тем, что устройство содержит разгрузочные пружины сжатия, установленные равномерно вдоль оси шарниров между опорной рамой и подвижной крышкой, а также плату управления, расположенную рядом с электромеханическим приводом, размещенные в герметичном коробе сбоку опорной рамы, подвижная сторона крышки снабжена складывающейся защитной шторкой, а на оси шарнира, соединяющего привод с крышкой, закреплена пальцевая муфта.

Таблица 2 (окончание)

№ п/п	Вид конструкции образца	Краткое описание
16	 Противотаранное заградительное препятствие RU 101166: 1 — рама; 2 — шарнир; 3 — привод; 4 — щит с боковыми стенками; 5 — барьер; 6 — ребра жесткости; 7 — цилиндрические отверстия; 8 — ребра жесткости; 9 — ограничитель угла подъема; 11 — фиксатор; 12 — рычаг; 13 — анкерные болты; 14 — пандус	Противотаранное заградительное препятствие, содержащее опорную прямоугольную раму, на которой посредством шарниров консольно закреплен с возможностью подъема посредством электромеханического устройства или вручную и выполненный в виде щита с боковыми стенками барьер, отличающийся тем, что между длинными передней и задней стенками рамы в устройстве установлены выполненные в виде короба ребра жесткости с отверстиями в боковых стенках, к которым жестко прикреплены шарниры, на которые посредством осей подвешен барьер, электромеханическое устройство для подъема барьера расположено в центральной части рамы, а барьер снабжен поперечными расположенными на его внутренней стороне ребрами жесткости, соединенными с рамой посредством складных ограничителей подъема барьера над рамой, а в боковой стенке барьера шарнирно закреплен фиксатор, который имеет постоянный подвижный контакт с рамой и упорами фиксатора, расположенными на раме, при этом барьер снабжен жестко соединенной с ним поворотной осью, рифленая часть которой выведена наружу рамы через боковую стенку и служит для ручного управления посредством рычага положением барьера.
17	 Устройство запрещения проезда противотаранного типа RU 2532675: 1 — плита; 2 — корпус, заглубленный в грунт; 3 — шарнир; 4 — наклонный щит; 5 — шарнир; 6 — опорные балки; 7 — закрепленные катки; 9 — опорные вырезы; 11 — ограничительные цепи; 12 — упоры; 13 — силовой оболочковый элемент	Устройство запрещения проезда противотаранного типа содержит подъемную плиту, закрывающую заглубленный в грунт корпус, подъемный пневматический привод, содержащий не менее одного силового оболочкового элемента, отличающееся тем, что к подъемной плите с помощью не менее одного шарнира прикреплен наклонный щит перпендикулярно направлению перекрываемого движения.

что дальнейшее совершенствование изделий должно быть реализовано в соответствии с основными тенденциями развития, а именно:

- усиление конструкции за счет дополнительных приспособлений;

- расширение температурного диапазона применения блокираторов за счет использования специализированных материалов. Немаловажным является использование передовых техно-

логий и инновационных материалов с целью повышения надежности и стойкости блокираторов к внешним воздействиям. Подобное совершенствование конструкции дорожных блокираторов позволит значительно повысить защищенность объектов военной и гражданской критической инфраструктуры от противоправных действий террористической направленности с использованием автомобильного транспорта.

Список источников

1. Смирнов И.Ю., Косяков П.А. Анализ уязвимости объектов и применения противотаранной техники // Алгоритм безопасности. 2019. № 2. С. 12–15.
2. Пучков А.С. К вопросу разработки научно-методического аппарата для обоснования принципов применения средств принудительной остановки транспорта при обеспечении защиты объектов военной и гражданской инфраструктуры от террористических актов // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2023. № 3. С. 80–86.
3. История террора на колесах. URL: http://www.s-kholod.ru/ip_invention_001/incidents_of_ram_attack.html (дата обращения: 26.05.2025).
4. Пучков А.С. К вопросу разработки мобильных противотаранных устройств // Военное обозрение. 2023. № 2. С. 4–15.
5. Пучков А.С., Васильева С.Н. Обзор современных зарубежных и отечественных противотаранных устройств // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2021. № 7–8. С. 114–122.
6. Пучков А.С., Юрченко Н.М., Ревин Н.Н. Технические решения в области мобильных противотаранных устройств производства АО «НПО Спецматериалов» // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2022. № 9–10. С. 106–115.
7. Пучков А.С. Разработка технических решений в области мобильных противотаранных устройств // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2023. № 3–4. С. 109–118.
8. Пучков А.С., Спивак А.И., Грицук М.Ю. и др. Противотаранное заграждение «Покат» нового поколения: разработка и испытания // Актуальные проблемы защиты и безопасности. Труды XXVI Всероссийской научно-практической конференции. Том. 2. 2023. С. 166–169.
9. Пост остановки колесного транспорта «ПОКАТ», НМРБ.63100.0004ТУ. 12 с.

References

1. Smirnov I.Yu., Kosyakov P.A. Analysis of vulnerability of objects and the use of anti-ramming equipment // Security algorithm. 2019. No 2. Pp. 12–15.
2. Puchkov A.S. On the development of a scientific and methodological apparatus for substantiating the principles of using means of forced stopping of transport in ensuring the protection of military and civilian infrastructure facilities from terrorist acts // Bulletin of the Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences. 2023. No 3. Pp. 80–86.
3. History of terror on wheels. URL: http://www.s-kholod.ru/ip_invention_001/incidents_of_ram_attack.html (date of access: 26.05.2025).
4. Puchkov A.S. On the development of mobile anti-ram devices // Military Review. 2023. No 2. Pp. 4–15.
5. Puchkov A.S., Vasilyeva S.N. Review of modern foreign and domestic anti-ram devices // Issues of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2021. No 7–8. Pp. 114–122.
6. Puchkov A.S., Yurchenko N.M., Revin N.N. Technical solutions in the field of mobile anti-ram devices manufactured by JSC NPO Spetsmaterialov // Issues of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2022. No 9–10. Pp. 106–115.
7. Puchkov A.S. Development of technical solutions in the field of mobile anti-ram devices // Issues of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2023. No 3–4. Pp. 109–118.
8. Puchkov A.S., Spivak A.I., Gritsuk M.Yu. et al. New generation anti-ram barrier «Pokat»: development and testing // Actual problems of protection and security Proceedings of the XXVI All-Russian scientific and practical conference. Vol. 2. 2023. Pp. 166–169.
9. Stopping post for wheeled vehicles «POKAT», NMRB.63100.0004TU.

УДК 623: 614.842

doi: 10.53816/23061456_2025_5–6_86

**РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНОГО ОБРАЗЦА МОБИЛЬНОГО ПОЖАРНОГО
РЕЗЕРВУАРА «КОМПЛЕКТ СРЕДСТВ ПОЖАРОТУШЕНИЯ КСП-10»**

**DEVELOPMENT OF A PROMISING SAMPLE OF A MOBILE FIRE TANK «KSP-10
FIRE EXTINGUISHING KIT»**

*Канд. воен. наук А.Н. Каптюх, канд. воен. наук Р.Г. Мамедов,
канд. техн. наук А.А. Демьянов*

Ph.D. A.N. Kaptuh, Ph.D. R.G. Mamedov, Ph.D. A.A. Demyanov

*Научно-исследовательский институт (военно-системных исследований МТО ВС РФ)
ВА МТО им. А.В. Хрулева*

В статье рассмотрены направления развития мобильных средств пожаротушения контейнерного типа для решения задач обеспечения пожарной безопасности, локализации и ликвидации очагов пожара. Представлены тактико-технические характеристики, предназначение, функции, укомплектованность пожарным оборудованием и инструментом образца мобильного пожарного резервуара «Комплект средств пожаротушения КСП-10», а также его применение на объектах силовых структур, в экономическом комплексе, в жилом секторе городов и населенных пунктов Российской Федерации. Представлен перечень объектов возможного применения КСП-10 при транспортировании на автомобиле (прицепе), а также как стационарное изделие.

Ключевые слова: автомобиль, вода, комплект, контейнер, модуль, огнетушитель, пена, резервуар, средства пожаротушения, пожарная безопасность.

The article considers the directions of development of mobile container-type fire extinguishing equipment for solving fire safety problems, localization and elimination of fire foci. The article presents the tactical and technical characteristics, purpose, functions, staffing of fire fighting equipment and tools of the mobile fire tank «KSP-10 fire extinguishing Kit», as well as its use at law enforcement facilities, in the economic complex, in the residential sector of cities and towns of the Russian Federation. The list of objects of possible application of KSP-10 during transportation by car (trailer), as well as as a stationary product is presented.

Keywords: car, water, kit, container, module, fire extinguisher, foam, tank, fire extinguishing equipment, fire safety.

Введение

Проведенный анализ огневого воздействия противника на места размещения войск (сил) в полевых условиях и других пунктах временного расположения, а также на автомобильные (специальные) колонны воинских частей (подразделений),

совершающих марш, в ходе выполнения боевых задач и с учетом опыта специальной военной операции говорит о том, что предусмотренных мобильных средств пожаротушения для обеспечения пожарной безопасности, а также локализации и ликвидации очагов пожара явно недостаточно, а их характеристики очень ограничены.

Основная часть

Важным аспектом в разработке и применении современных высокоэффективных мобильных средств пожаротушения, предусмотренных Программой перевооружения и модернизации вооружения военной и специальной техники (ВВСТ) ВС РФ до 2025 года рассматриваются принципиально новые мобильные средства пожаротушения контейнерного типа, представляющие собой технологически емкие комплексы, которые отличаются надежностью, живучестью, оптимальной компоновкой, оригинальными техническими решениями, расширенной комплектацией пожарно-технического вооружения, включая оборудование для работы в условиях опасного воздействия агрессивных сред и др. [1].

Военной академией материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулева совместно с предприятием ООО «Первая Национальная Группа» г. Санкт-Петербург на основании результатов научно-исследовательской работы «Обоснование требований к конструктивному исполнению и функционированию мобильной пожарной станции в особых условиях» разработан и изготовлен опытный образец перспективного мобильного пожарного резервуара «Комплект средств пожаротушения» (далее — КСП-10) (рисунок), в соответствии с тактико-техническими требованиями, утвержденными Начальником Службы пожарной безопасности ВС РФ.

КСП-10 является изделием модульного типа, изготовленным на базе рамы 20-футового контейнера (пониженной высоты) со встроенными резервуарными емкостями для воды и пенообразователя, водо-пенными коммуникациями, системой подогрева жидкости в резервуарах, укомплектован мотопомпой и пожарным оборудованием. Тактико-технические характеристики КСП-10 представлены в табл. 1.

КСП-10 укомплектован пожарным оборудованием и инструментом в соответствии с Техническим регламентом Евразийского экономического союза «О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности», представленным в табл. 2.

КСП-10 предназначен для хранения и перевозки запаса воды и пенообразователя, средств пожаротушения, обеспечивает выполнение операций тушение очагов пожара водой и воздушно-

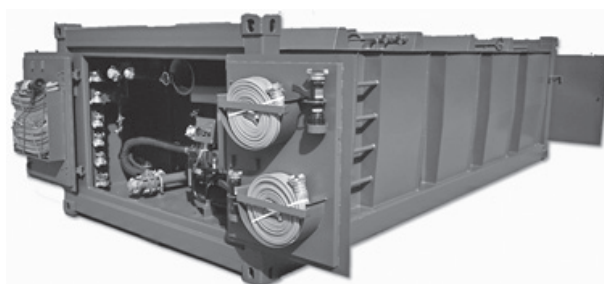


Рис. Мобильный пожарный резервуар
«Комплект средств пожаротушения КСП-10»

механической пеной с прокладкой одной/нескольких магистральных и рабочих рукавных линий или через ствол пожарный лафетный, огнетушителями разного типа и другими средствами пожаротушения, входящими в комплект поставки, заправки резервуара водой из водоема или другого источника, применения в качестве дополнительного мобильного пожарного резервуара при работе с мобильными средствами пожаротушения (пожарными автомобилями) [2–6].

КСП-10 может применяться при транспортировании на автомобиле (прицепе), а также как стационарное изделие:

- на объектах силовых структур РФ в пунктах постоянной дислокации воинских и гражданских формирований;
- в районах временного расположения воинских и гражданских формирований (полевые лагеря);
- на аэродромах (вертодромах), арсеналах, базах, складах;
- ремонтно-восстановительных формированиях ВВСТ;
- в составе автомобильных и специальных колонн на марше;
- при пожарах на объектах, на которых нет установленных стационарных систем борьбы с огнем, или, когда условия и расположение объекта требуют применения мобильных средств пожаротушения, в частности, в труднодоступных местах и в условиях недостатка водоснабжения;
- на территории промышленных объектов (заводы, фабрики, склады) для начального подавления огня, ограничения распространения огня персоналом предприятий до прибытия пожарных служб;
- при пожарах в жилых зданиях, в частности, индивидуальных жилых домах;

Таблица 1

Тактико-технические характеристики КСП-10

№ п/п	Наименование	Значение
1	Номинальные габаритные размеры, мм: длина × ширина × высота	6058 × 2438 × 1675
2	Масса (сухая, снаряженная), кг, не более:	5000
3	Резервуарные емкости, количество, шт.:	2
3.2	Номинальная вместимость, м ³ , не менее, вода/пенообразователь	9/0,3
4	Конструкция корпуса	Кубическая, на раме ISO 20'
5	Материал изготовления	Ст3, с покрытием
6	Мотопомпа	
6.1	Тип	Бензиновая, автономная
6.2	Двигатель, модель	Бензиновый, с пуском стартером
6.3	Топливо: расход, л/ч, не более	Бензин АИ-92, 95
6.4	Емкость топливного бака, л, не менее	10
6.5	Насос Подача в номинальном режиме, л/с, не менее Напор в номинальном режиме, м, не менее	самовсасывающий 20 100
7	Время заполнения резервуаров, мин, не более: – вода (9–9,5 м ³ , из гидранта – пенообразователь (0,4–0,5 м ³)	15 30
8	Количество присоединительных напорных патрубков, шт. Вода / Вода-пена	2/1
9	Численность расчета, чел.	4

Таблица 2

Укомплектованность пожарным оборудованием и инструментом КСП-10

№ п/п	Наименование оборудования и инструмента	Кол-во, шт., компл.
1	Мотопомпа	1
2	Ручной насос для наполнения резервуара пенообразователем	1
3	Рукав пожарный напорный типа РПМ(Д) – 65 – 1,6 – ИМ – УХЛ1 в сборе с головками ГР-65 или ГР-50 (20 м)	10/6
4	Рукав пожарный напорный типа РПМ(Д) – 65 – 1,6 – ИМ – УХЛ1 в сборе с головками ГР-65 или аналог (4 м)	2
5	Рукав напорно-всасывающий 75 мм в сборе ГР-80 или аналог (2 м)	4
6	Ствол пожарный лафетный типа ЛС-20Уэ или аналог	1
7	Ствол пожарный ручной типа РСКУ-70А или типа РСКУ-50А	2/4
8	Генератор пены средней кратности типа ГПС-600 или аналог	2
9	Пеносмеситель с нерегулируемым дозированием пенообразователя типа ПС-2 или аналог	1
10	Гидроэлеватор пожарный типа Г600 или аналог	1
11	Разветвление рукавное трехходовое нормального давления типа РТ-70 или аналог	2
12	Переходные пожарные соединительные головки: типа ГП 80×65, типа ГП 65×50, типа ГП 80×50	2/2/2

Таблица 2 (окончание)

№ п/п	Наименование оборудования и инструмента	Кол-во, шт., компл.
13	Переносной огнетушитель порошковый, с массой огнетушащего порошка от 4 до 5 кг	6
14	Генератор огнетушащего аэрозоля, переносной, типа АГС 15/1 или аналог	2
15	Лопата штыковая / Багор пожарный (цельнометаллический) / Ведро пожарное/ Полотно асбестовое (1,5×2 м)	2/2/2/1
16	Лом пожарный тяжелый, легкий	1/1
17	Колонка пожарная типа КП	1
18	Комплект диэлектрический	1
19	Комплект ЗИП-О на мотопомпу	1

– для тушения возгораний на полях, в лесах, других открытых территориях при угрозе их распространения на населенные пункты;

– при автомобильных пожарах на дорогах, стоянках, закрытых и открытых парковках, в автопарках, при авариях и возгораниях транспорта в особых условиях, например в условиях ведения военных конфликтов при передвижении в составе колонн;

– в особых ситуациях, таких как тушение пожаров на морских судах, воздушных судах, а также на железнодорожных вагонах;

– в ситуациях, когда требуется быстрая реакция на пожар либо недоступно стационарное оборудование для борьбы с огнем;

– при подключении к кольцевой или тупиковой водопроводной сети или иным источникам наружного противопожарного водоснабжения, что обеспечивает непрерывную подачу средства пожаротушения в зону горения.

Выводы

Таким образом, КСП-10 по универсальности конструктивного (мобильного, стационарного) исполнения, наличию огнетушащих веществ, укомплектованности пожарно-техническим вооружением, по возможности выполнять большой объем задач и функций по предназначению способен повысить эффективность функционирования системы пожарной безопасности на объектах силовых структур, в экономическом комплексе РФ, а также в жилом секторе городов и населенных пунктов [7–10].

Список источников

1. О пожарной безопасности: федер. закон Рос. Федерации от 21 декабря 1994 г. № 69-ФЗ: принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 18 нояб. 1994 г. // Рос. Газ. – 1994. – 12 января.

2. Яковенко Ю.Ф. Пожарные автомобили нового поколения // Пожарная безопасность. 2022. URL: <http://www.secuteck.ru/articles2/firesec/pozharnye-avtomobili-novogo-pokoleniya-sovremennaya-situatsiya-i-perspektivy> (дата обращения: 20.01.2025).

3. Демьянов А.А., Попов А.В., Рахманов М.А. Обоснование целесообразности использования автономных модулей пожаротушения в бензовозах и установках дозаправки на складах горюче-смазочных материалов Министерства обороны Российской Федерации с целью повышения пожаро- и взрывобезопасности // В сборнике: Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Пожарная и экологическая безопасность зданий в России и ЕАЭС. СПб, 2023. С. 122–126.

4. Диваков Г.П., Демьянов А.А., Блинов С.А. Методика определения оценочных показателей (критериев) эффективности обеспечения пожарной безопасности в системе материально-технического обеспечения Вооруженных сил Российской Федерации // Военный инженер. 2016. № 1. С. 31–35.

5. Теребнев В.В., Ульянов Н.И., Грачев В.А. Пожарная техника. Кн. 1. Пожарно-техническое вооружение. Устройство и применение: учебник. М.: Центр пропаганды, 2007. 328 с.

6. Об утверждении Положения о ведомственной пожарной охране Вооруженных Сил Российской Федерации: Приказ Министра обороны Российской Федерации от 22.02.2019 № 88.

7. ГОСТ РВ 29.00.002–2005. Система стандартов эргономических требований и эргономического обеспечения. Эргономическое обеспечение. Основные положения. М.: Стандартиформ, 2005. 38 с.

8. ГОСТ В 15.207–2005. Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Основные положения. М.: Стандартиформ, 2006. 17 с.

9. ТР ЕАЭС 043/2017. Технический регламент Евразийского экономического союза «О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения».

References

1. Federal Law No. 69-FZ dated December 21, 1994 «On Fire Safety».

2. Yakovenko Yu.F. New generation fire trucks // Fire safety. 2022. URL: <http://www.secuteck.ru/articles2/firesec/pozharnye-avtomobilnovo-pokoleniyasovremennaya-situatsiya-i-perspektivy> (date of accesses: 25.01.2025).

3. Demyanov A.A., Popov A.V., Rakhmanov M.A. Justification of the expediency of using autonomous fire extinguishing modules in fuel

tankers and refueling units at fuel and lubricants depots of the Ministry of Defense of the Russian Federation in order to increase fire and explosion safety // In the collection: Security service in Russia: experience, problems, prospects. Fire and environmental safety of buildings in Russia and the EAEU. Saint Petersburg, 2023. Pp. 122–126.

4. Divakov G.P., Demyanov A.A., Blinov S.A. Methodology for determining the evaluation indicators (criteria) of the effectiveness of fire safety in the logistics system of the Armed Forces of the Russian Federation // A military engineer. 2016. No 1. Pp. 31–35.

5. Terebnev V.V., Ulyanov N.I., Grachev V.A. Fire fighting technical armament. Device and application: textbook. M.: 2017.

6. Order of the Minister of Defense of the Russian Federation No. 88 dated 22.02.2019 «On Approval of the Regulations on Departmental Fire Protection of the Armed Forces of the Russian Federation».

7. GOST 29.00.002–2005. System of standards for ergonomic requirements and ergonomic support. Ergonomic support. The main provisions. M.: Standartinform, 2005. 38 p.

8. GOST V 15.207–2005. Product development and commissioning system. Military technics. The main provisions. M.: Standartinform, 2006. 17 p.

9. EAEU TR 043–2017. Technical Regulations of the Eurasian Economic Union «On the Requirements for Fire Safety and Fire Extinguishing Equipment».

УДК 623–1/–8

doi: 10.53816/23061456_2025_5–6_91

**НЕОБХОДИМЫЕ УСЛОВИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ПРОЧНОСТЬ
ОТДЕЛЬНЫХ ЧАСТЕЙ СРЕДСТВА СКОВЫВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ,
ВЫПОЛНЕННЫХ ИЗ ПОЛИАМИДА**

**NECESSARY CONDITIONS TO ENSURE THE STRENGTH OF INDIVIDUAL
PARTS OF THE MOTION RESTRAINT MADE OF POLYAMIDE**

Канд. техн. наук С.Н. Коломиец, С.А. Козлов

Ph.D. S.N. Kolomiets, S.A. Kozlov

НПО «СТuС» МВД России

Авторами предложена конструктивная схема устройства для метания сети с полиамидным раструбом однократного применения с находящимся в нем метательным патроном с электрическим капсюлем-воспламенителем. Рассматриваются необходимые условия, обеспечивающие достаточную прочность ствола раструба при выстреле. Для изготовления отдельных деталей устройства и корпуса раструба предлагается использовать полиамид с достаточно высокими прочностными характеристиками и незначительной массой в сравнении с металлом. При этом учитывается, что при выстреле ствол раструба и другие детали устройства будут испытывать значительную деформацию под действием максимального давления пороховых газов. Проведен расчет прочности отдельных деталей устройства. Получены приемлемые расчетные значения характеристик прочности деталей, изготовленных из полиамида, сделан вывод о возможности использования выбранного материала.

Ключевые слова: пусковое устройство, раструб, узел запираания, боевой упор, полиамид, давление, деформация, прочность.

The authors propose a design scheme of a device for throwing a net with a single-use polyamide bell with a propelling cartridge in it with an electric primer-igniter. The necessary conditions are considered that ensure sufficient strength of the bell barrel when fired. For the manufacture of individual parts of the device and the bell body, it is proposed to use polyamide with sufficiently high strength characteristics and insignificant weight in comparison with metal. It is taken into account that when fired, the bell barrel and other parts of the device will experience significant deformation under the action of the maximum pressure of powder gases. The strength of individual parts of the device is calculated. Acceptable calculated values of the strength characteristics of parts made of polyamide are obtained and a conclusion is made on the possibility of using the selected material.

Keywords: starting device, bell, locking unit, combat stop, polyamide, pressure, deformation, strength.

Средство сковывания движения является одним из видов специальных средств, определенных Федеральным законом Российской Федерации от 7 февраля 2011 года № 3-ФЗ «О полиции» [1].

В настоящее время на вооружении органов внутренних дел Российской Федерации находится лишь один тип средства сковывания движения — это изделие «Невод» (устройство для

метания сети), которое состоит из пускового устройства и раструба конической формы, во внутренней полости которого уложена сеть и 16 металлических грузиков. Раструб имеет резьбовое соединение с патронником-вкладышем, в котором размещается строительно-монтажный патрон МПУ-1 [2].

При срабатывании патрона МПУ-1 грузики после вылета из корпуса раструба расправляют сеть в виде купола, которая, встречая на своем пути правонарушителя, охватывает его и запутывается на нем.

Однако изделие «Невод» имеет существенные недостатки, влияющие на безопасность и эффективность его применения.

Так, несмотря на то, что сеть можно многократно использовать, уложив ее в раструб, процесс ее укладки достаточно сложен и требует не менее 40 мин, а в случае ее неправильной укладки при повторном применении изделия «Невод» сеть может не раскрыться, и в этом случае металлические 10-граммовые грузики цилиндрической формы, длиной 50 мм и диаметром 3 мм, вместе с комком сети могут нанести правонарушителю тяжкий вред здоровью (ранение), так как используемый в устройстве патрон МПУ-1 калибра 10×36 мм имеет мощность порохового заряда 1644 Дж [3]. Кроме этого, изделие «Невод» имеет значительную массу (около 2 кг), большие усилия взведения ударного механизма и нажатия на пусковую клавишу, а после выстрела возможно заклинивание гильзы патрона МПУ-1 из-за раскрытия завальцовки.

Для исключения указанных выше недостатков авторами данной статьи предложена конструктивная схема устройства для метания сети с полимерным раструбом однократного применения с унитарным метательным патроном и уложенной в нем сетью (рис. 1).

Пусковое устройство 1 имеет внутреннюю полость (дно), являющуюся упором для дна гильзы унитарного метательного патрона 9. Для обеспечения надежного запирания унитарного метательного патрона при выстреле, при действии максимального давления пороховых газов на стенки ствола камеры высокого давления 13 и дно гильзы, в устройстве предусмотрен узел запирания, состоящий из внутренней полости дна корпуса металлического пускового устройства, с находящимся на его стенке боевым выступом, и продольным Г-образным пазом, заканчивающимся упором (выемкой) в стенке раструба.

Быстроразъемное соединение предусматривает наличие продольного Г-образного паза с упором (выемкой) в стенке раструба и боевого выступа 2 в стенке корпуса пускового устройства 1.

Прочность узла запирания обеспечивается пределом прочности материала стенок полимерного раструба и боевого выступа.

Пусковое устройство (ПУ) имеет электрическую схему пускового механизма инициирования капсюля-воспламенителя унитарного метательного патрона. При этом электрический заряд подается с аккумулятора 4, расположенного в рукоятке пускового устройства 3 по электрическим

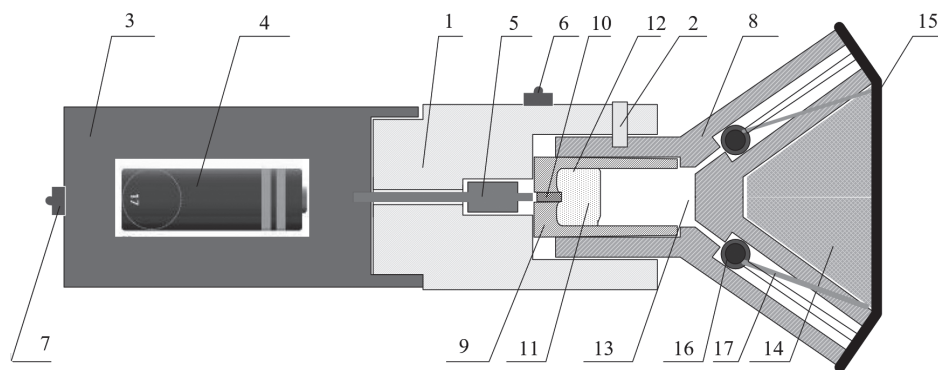


Рис. 1. Устройство для метания сети с полимерным раструбом однократного применения с сетью:
1 — корпус пускового устройства; 2 — металлический боевой выступ; 3 — рукоятка пускового устройства с аккумуляторным отсеком; 4 — аккумулятор; 5 — электрическая контактная группа пускового механизма; 6 — кнопка «Пуск»; 7 — предохранительный выключатель; 8 — стволы полимерного раструба; 9 — унитарный метательный патрон; 10 — электрический капсюль-воспламенитель; 11 — пороховой заряд; 12 — зарядная камера метательного патрона; 13 — камера высокого давления; 14 — полотно сети; 15 — крышка; 16 — травмобезопасные грузики; 17 — эластичные стропы

проводам на электрическую контактную группу 5 через кнопку «Пуск» 6 и предохранительный выключатель 7. Электрическая схема пускового механизма инициирования капсюля-воспламенителя унитарного метательного патрона позволяет значительно сократить время приведения устройства к отстрелу сети, так как не требует затрат времени на ручное взведение ударно-спускового механизма механического типа и его спуска в существующем прототипе.

Все стволы в корпусе раструба соединены с камерой высокого давления 13. Полотно сети 14 уложено во внутренней полости раструба и закрыта крышкой 15. Грузики 16 уложены на дно стволиков 8 раструба и фиксируются за счет упругой их посадки, закреплены эластичными стропами 17, которые проходят через специальные пазы в стволике и фиксируются с концами сети 14. Оптимальная длина паза от дульной части составляет $1/3$ длины стволика. Наиболее оптимальной является длина стропа, равная 3 диаметрам раструба.

Рукоятка пускового устройства 3, изготовленная из высокопрочной полимерной пластмассы — полиамида марки TECAMID 6 (ПА 6), методом литья под давлением, позволяет без дополнительных действий по взведению и спуску ударно-спускового механизма осуществлять инициирование капсюля-воспламенителя 10 метательного патрона 9 от электрического разряда, передаваемого от аккумулятора 4 через контактную группу 5, предохранительный переключатель 7 и кнопку «Пуск».

Боевой выступ 2 обеспечивает быстрое присоединение и фиксацию полимерного раструба 8 и корпуса пускового устройства 1, а также надежное запираание унитарного метательного патрона 9. Соединение указанных элементов конструкции происходит путем совмещения боевого выступа на пусковом устройстве с продольным Г-образным пазом на поверхности корпуса полимерного раструба и дальнейшим его поступательным движением при действии усилия руки вперед с последующим поворотом на 90 градусов до упора с целью фиксации.

Грузики 16 круглой формы имеют оболочку из полимерного пенного материала толщиной меньше радиуса грузика, которая снижает их травматическое действие, обеспечивает их фиксацию в стволиках за счет их упругой посадки и обтюра-

цию пороховых газов в стволиках при выстреле. Также грузики имеют сквозные центральные отверстия, через которые происходит их соединение посредством эластичных строп с концами сети, через продольные пазы в стенках стволиков.

При этом упругий пенный материал обеспечивает безопасность и обтюрацию пороховых газов в стволиках при выстреле.

Для отстрела сети из указанного устройства могут быть использованы различные по мощности метательные патроны, такие как строительно-монтажные патроны различных типов, а также охлажденные патроны пистолета бесствольного ПБ-4СП.

При изготовлении корпуса раструба и ручки ПУ из полиамида TECAMID 6 (ПА 6), имеющего высокую механическую и ударную прочность, а также хорошие характеристики демпфирования и свойства скольжения, должна быть обеспечена прочность отдельных частей устройства — корпуса ствола раструба, узла запираания ПУ и боевого упора на нем.

При переходе с одного типа метаемого патрона на другой тип необходимо проведение расчета на прочность указанных выше отдельных и наиболее нагруженных максимальным давлением частей устройства, в связи с тем что меняется максимальное давление $P_{\max}$ в канале ствола и масса метаемого элемента.

В дальнейшем авторами предлагается методика расчета на прочность отдельных высоконагруженных элементов пускового устройства и раструба с находящимся внутри него холостым метательным патроном пистолета бесствольного ПБ-4СП. Для подтверждения необходимых условий, при которых указанные отдельные части устройства выдерживают возникающее максимальное давление пороховых газов в гильзе метательного патрона 18×45ТП при выстреле, требуется проведение расчета их прочности.

Основные физико-химические и диэлектрические свойства полиамида марки TECAMID 6 (ПА 6) представлены в табл. 1 [4].

Расчет прочности корпуса ствола раструба

Расчет на прочность корпуса ствола раструба внешним диаметром d_2 и внутренним диаметром d_1 (рис. 2) проводился по второй теории прочности (Ламе — Гадолина), которая нашла

Таблица 1

Физико-механические и диэлектрические свойства полиамида ПА 6

Показатель	Значение
Плотность, г/см ³	1,13–1,14
Температура плавления, °С, не ниже	215
Предел текучести при растяжении, МПа, не менее	65
Твердость, МПа, не менее	100
Модуль упругости при изгибе, ГПа	1,9–2,0
Разрушающее напряжение при изгибе, МПа	60–70
Разрушающее напряжение при растяжении, МПа, не менее	50
Прочность при разрыве, МПа	56–65
Динамический модуль Юнга, МПа	22·10 ²
Электрическая прочность, кВ/мм	21–23
Температура морозостойкости, °С	минус 45

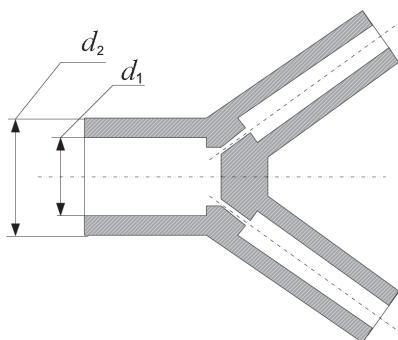


Рис. 2. Конструкция ствола раструба

широкое применение при расчете стволов стрелкового оружия у нас в стране и за рубежом, так как учитывает сложнапряженное состояние стенок ствола. Основные механические характеристики материала ствола раструба приведены в табл. 2. За характеристику принималась наибольшая из нормальных деформаций ε , [5].

Таблица 2

Механические характеристики материала ствола раструба

Материал ствола раструба	Механические свойства (не менее)			
	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ	ψ
	МПа		%	
ПА 6	48	50	10–12	45–50

Для ствола (моноблока) раструба наибольшей является тангенциальная деформация на внутренних поверхностях патронника. Поэтому условие прочности в общем виде будет определяться максимальной радиальной деформацией стенок патронника ствола раструба при выполнении условия для ствола с жестким запиранием через винтовой штифт запорного механизма:

$$E \times \varepsilon_t \leq [\sigma],$$

где E — модуль упругости первого рода материала ствола — полиамида ПА 6;

ε_t — тангенциальная (нормальная) деформация стенок патронника ствола;

$[\sigma]$ — предел прочности (допускаемое напряжение) для стенок материала ствола раструба;

$$\frac{1}{3} P_{\max} \frac{4r_2^2 + r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \leq [\sigma],$$

где $P_{\max}$ — максимальное давление в канале ствола раструба;

r_1 — внутренний радиус патронника;

r_2 — наружный радиус патронника ствола раструба.

Расчетные характеристики прочности корпуса ствола раструба представлены в табл. 3.

Расчет прочности узла запирания ПУ

При выстреле из ствола раструба метательным патроном 18×45ТП прочность стенок гильзы патрона будет обеспечиваться высокой жесткостью узла запирания корпуса ПУ и прочностью стенок его патронника [6]. При этом в расчетной части требуется произвести оценку прочности узла запирания корпуса пускового устройства, выполненного из алюминия АМГ-6, при действии осевой нагрузки от дна гильзы на дно казенника ПУ. При этом «зеркалом» является дно казенника ПУ.

Охлажденный метательный патрон 18×45ТП, находясь в патроннике раструба, упирается дном гильзы в переднюю торцевую поверхность казенника ПУ (рис. 3), а краем гильзы в стенку патронника ствола раструба.

В узел запирания входят: ПУ с одним боевым упором и патронник с патроном.

Таблица 3

Расчетные характеристики прочности корпуса ствола раструба

Характеристика	Значение
Максимальное давление в канале ствола $P_{\max}$, МПа (кг/мм ²)	21 (2,14)
r_1 — внутренний радиус патронника, мм	9
r_2 — наружный радиус патронника, мм	18,001
Расчетное максимальное тангенциальное напряжение $[\sigma]$ кг/мм ²	4,75
Предел прочности при разрыве σ_B , кг/мм ²	50

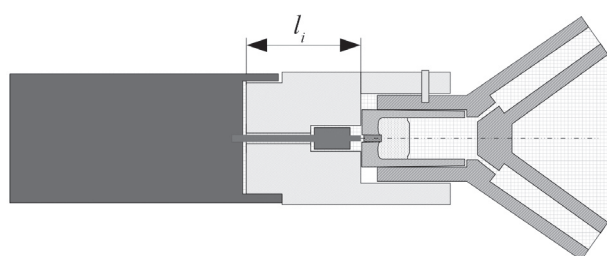


Рис. 3. Конструкция узла запирающего ПУ

При выстреле в процессе горения пороха внутри гильзы создается максимальное давление пороховых газов $P_{\max}$. При этом в сторону, противоположную от направления стрельбы, действует при выстреле осевая нагрузка от дна гильзы к поверхности дна казенника ПУ.

Механические характеристики узла запирающего ПУ представлены в табл. 4.

Осевая нагрузка при этом рассчитывается по формуле:

$$Q_{\max} = P_{\max} \frac{(\pi d_2)^2}{4},$$

где $P_{\max}$ — максимальное давление пороховых газов;

d_2 — внешний диаметр гильзы.

Выражение, характеризующее жесткость узла запирающего пускового устройства, имеет вид:

$$\eta = \frac{b^2 P_{\max}}{\lambda_{\max}},$$

где b — отношение внутреннего диаметра гильзы к внешнему;

$\lambda_{\max}$ — максимальная упругая деформация узла запирающего ПУ.

Максимальная упругая деформация узла запирающего ПУ:

$$\lambda_{\max} = \frac{Q_{\max}}{E} \sum \frac{l_i}{S_i},$$

где E — модуль упругости материала детали узла (дна казенника);

l_i — толщина дна ПУ (длина узла запирающего);

S_i — площадь поперечного сечения дна гильзы.

Упругая деформация узла запирающего оказывает решающее влияние на прочность при достаточно больших давлениях пороховых газов. Она зависит от жесткости узла запирающего и характеризуется коэффициентом жесткости:

$$\eta' = \frac{Q_{\max}}{\lambda},$$

где $Q_{\max}$ — осевая нагрузка, действующая на дно казенника ПУ;

Таблица 4

Механические характеристики узла запирающего ПУ

Характеристика	Значение
Длина узла запирающего казенника пускового устройства l_i , мм	10
Модуль упругости материала E (алюминий) (модуль Юнга), кгс/мм ²	6791,30
Диаметр гильзы d_1 наружный, мм	18
Диаметр гильзы d_2 внутренний, мм	16
Диаметр d_3 боевого упора, мм (материал сталь 40), мм	5,5

λ — соответствующая осевой нагрузке деформация узла.

ПУ способно выдерживать возникающее максимальное давление $P_{\max}$ при выстреле без значительной деформации и использовать для стрельбы охлажденный метательный патрон 18×45ТП с выбранной принципиальной схемой запирания устройства на один боевой упор, выполненный из стали 40Х.

Расчет прочности боевого упора пускового устройства

Используем схему запирания в ПУ на один боевой упор, требуется произвести расчет на прочность и на срез боевого упора в рассматриваемом соединении элементов раструба и ПУ (рис. 4).

При расчете на растяжение элементов соединения проводится расчет прочности на растяжение, при этом учитывается площадь поперечного сечения стержня боевого упора [6].

Под действием осевой максимальной нагрузки от дна гильзы $Q_{\max}$, в сечении боевого упора возникает нормальное напряжение на растяжение [7]:

$$\sigma_p = \frac{Q_{\max}}{S},$$

где $Q_{\max}$ — осевая нагрузка, действующая на дно казенника ПУ;

S — площадь поперечного сечения упора в точке контакта с выступом на поверхности ствола раструба.

Условие прочности выражается неравенством:

$$\sigma_p \leq [\sigma_p], \quad (1)$$

где $[\sigma_p]$ — допускаемое напряжение на растяжение (материал — сталь 40Х).

Площадь поперечного сечения боевого упора имеет вид:

$$S = \frac{\pi d_3^2}{4},$$

где d_3 — диаметр боевого упора.

В результате полученных расчетных характеристик предела прочности $[\sigma_p]$ выполняется условие (1), что говорит о высоких прочностных характеристиках материала, используемого для изготовления боевого упора, при действии на него осевой нагрузки $Q_{\max}$, табл. 6 и 7.

Вывод

Результаты проведенных расчетов свидетельствуют о том, что раструб и отдельные детали пускового устройства, выполненные из полиамида (ПА 6), при выстреле будут гарантированно выдерживать максимальное давление пороховых газов и действие осевой нагрузки от дна гильзы без разрушения.

Использование полиамида в конструкции деталей устройства позволит добиться уменьшения общей массы изделия и улучшить эргономику при его использовании.

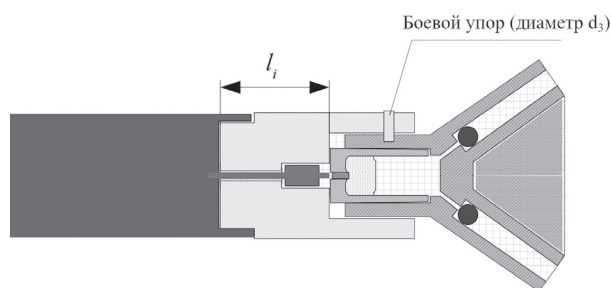


Рис. 4. Составные элементы узла запирания

Таблица 5

Расчетные характеристики казенника ПУ

Характеристика	Значение
Осевая нагрузка (действующая сила) на дно казенника пускового устройства $Q_{\max}$, кгс	544,28
Площадь поперечного сечения дна гильзы, мм ²	254,34
Коэффициент b	0,88
Максимальная упругая деформация узла запирания $\lambda_{\max}$, мм	0,031
Жесткость узла запирания η , кг/мм ³	534,58
Коэффициент жесткости η'	17,5

Таблица 6

Характеристики для расчета на прочность боевого упора

Характеристика	Значение
Диаметр боевого упора d_3 , мм	5
Предел прочности $[\sigma_p]$ для стали 40Х, кгс/мм ²	66,79
Площадь поперечного сечения боевого упора, мм ²	19,62
Осевая нагрузка (действующая сила) на дно пускового устройства (казенника) $Q_{\max}$, кгс	200,96

Таблица 7

Расчетные механические характеристики боевого упора

Характеристика	Значение
Нормальное напряжение σ_p , г/мм ²	10,24

Список источников

1. О полиции: федер. Закон Рос. Федерации от 7 февраля 2011 г. № 3-ФЗ: принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 28 января 2011 г.: одобр. Советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 2 февраля 2011 г. // Рос. Газ. – 2011. – 8 февраля.
2. Средство сковывания движений биологических объектов «Невод». Технические условия НПФТ.043000.000 ТУ. 8 с.
3. Патроны монтажные Д4 6,8×18 мм для монтажного пистолета. URL: www.avtoprom.net/патрон_монтажный_мпу_1 (дата обращения: 10.07.24).
4. Полиамид 6 (ПА 6). URL: <https://anid.ru/poliamid/6?ysclid=mbp5ix7yjsx745000952> (дата обращения: 11.06.24).
5. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов: учебник для вузов. 9-е изд., перераб. М. Наука, гл. ред. физ.-мат. лит. 1986. 512 с.
6. Серебряков М.Е. Физический закон горения во внутренней баллистике. М.: Оборонгиз, 1940. 214 с.
7. Бетехтин С.А., Винницкий А.М., Горохов М.С. Газодинамические основы внутренней баллистики. М.: Оборонгиз, 1957. 151 с.

References

1. On Police: federal law. Law of the Russian Federation. Federation of 7.02.2011 № 3-FZ: adopted by the State Duma of the Federal. Sobr. Ros. Federation on 28.01.2011: approved by the State Duma of the Federal Assembly of the Russian Federation. Federation Council of the Fed. Sobr. Ros. Federation on 2.02.2011 // Ros. Gaz. 2011.02.8.
2. A means of restraining the movements of biological objects «Nevod». Technical specifications of NPFT.043000.000 TU. 8 p.
3. Mounting cartridges D4 6,8×18 mm for mounting gun. URL: www.avtoprom.net/mounting_cartridge_mounting_mpu_1 (date of reference: 10.07.24).
4. Polyamide 6 (PA 6). URL: <https://anid.ru/poliamid/6?ysclid=mbp5ix7yjsx745000952> (date of reference: 11.06.24).
5. Feodosiev V.I. Resistance of materials: textbook for universities. 9th ed., revision. M.: Nauka, chief ed. of physical-mat. litt. 1986. 512 p.
6. Serebryakov M.E. The physical law of gorenje in internal ballistics. Moscow: Oborongiz, 1940. 214 p.
7. Betekhtin S.A., Vinnitskiy A.M., Gorokhov M.S. Gasdynamic foundations of internal ballistics. Moscow: Oborongiz, 1957. 151 p.

УДК 614.84

doi: 10.53816/23061456_2025_5–6_98

**ТЕСТОВЫЙ ОЧАГ КАК ОСНОВНОЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ НА ОСОБО ВАЖНЫХ
ВОЕННЫХ И ГРАЖДАНСКИХ ОБЪЕКТАХ**

**TEST HEARTH AS THE MAIN METHOD FOR DETERMINING
THE EFFECTIVENESS OF FIRE ALARMS
AT PARTICULARLY IMPORTANT MILITARY AND CIVILIAN FACILITIES**

А.В. Прищенко, д-р техн. наук Н.М. Сильников

A.V. Prishchenko, D.Sc. N.M. Silnikov

НПО Спецматериалов

В статье рассматривается метод тестового очага как ключевой подход к оценке эффективности пожарной сигнализации на объектах специального назначения. Подробно описываются принципы создания и применения тестовых очагов, имитирующих условия реального возгорания. Анализируется, как этот метод помогает проверять скорость реагирования системы, точность датчиков и общую надежность сигнализации. Подчеркивается значимость регулярного проведения таких тестов для обеспечения высокого уровня пожарной безопасности особо важных военных и гражданских объектов и повышения их защищенности.

Ключевые слова: тестовый очаг, пожарная сигнализация, эффективность, военные и гражданские объекты, метод оценки, пожар, безопасность, датчики, реагирование системы, испытания, защита.

The article considers the test hearth method as a key approach to evaluating the effectiveness of fire alarm systems at special-purpose facilities. The principles of creating and using test fires that simulate the conditions of a real fire are described in detail. It analyzes how this method helps to check the system's response speed, sensor accuracy, and overall alarm reliability. The importance of regularly conducting such tests is emphasized in order to ensure a high level of fire safety at particularly important military and civilian facilities and increase their security.

Keywords: test center, fire alarm system, efficiency, military and civilian facilities, assessment method, fire, safety, sensors, system response, testing, protection.

Введение

В условиях возрастающей сложности и разнообразия объектов специального назначения вопросы обеспечения пожарной безопасности становятся особенно актуальными. Эффективная работа систем пожарной сигнализации играет ключевую роль в предотвращении и минимизации

последствий возгораний на таких объектах. Одним из основных методов оценки работоспособности и надежности этих систем является использование тестового очага.

Тестовый очаг представляет собой специально организованный источник возгорания, который имитирует реальные условия пожара. Этот метод позволяет всесторонне проверить функ-

ционирование пожарной сигнализации, включая скорость реагирования датчиков, точность определения места возгорания и эффективность передачи сигнала тревоги. Применение тестового очага дает возможность выявить слабые места в системе пожарной безопасности и своевременно принять меры по их устранению.

В данной статье мы рассмотрим принципы организации и проведения испытаний с использованием тестового очага, а также проанализируем их значимость для обеспечения высокого уровня пожарной безопасности на особо важных военных и гражданских объектах.

Основная часть

Тестовый очаг пожара представляет собой стандартизированную модель горения определенных материалов, при которой в контролируемом помещении создаются заданные параметры среды. Данный метод является ключевым при проведении испытаний и оценки эффективности работы систем пожарной сигнализации.

В соответствии с действующими стандартами (ГОСТ Р 53325–2009) выделяют шесть типов тестовых очагов пожара, каждый из которых характеризуется специфическим сочетанием сопутствующих факторов.

Основной задачей системы пожарной сигнализации является автоматическое обнаружение пожара за время, необходимое для включения систем оповещения о пожаре в целях организации безопасной эвакуации людей в условиях конкретного объекта [1–3, 9–11].

В большинстве случаев при применении автоматической пожарной сигнализации (АПС) защищаемые помещения следует оборудовать дымовыми пожарными извещателями, таким образом принципиальное значение имеет способность пожарного извещателя обнаружить дым в условиях развивающегося пожара. Даже если объект защищен пожарными извещателями другого типа, распространение дыма рассматривается как один из основных факторов риска при эвакуации людей.

Наиболее достоверное представление о чувствительности пожарного извещателя и его способности обнаруживать дым от различных тестовых очагов дают огневые испытания по ГОСТ Р 53325–12 «Техника пожарная. Техни-

ческие средства пожарной автоматики. Общие технические требования. Методы испытаний», которые проводятся в специальном помещении для огневых испытаний [4–6, 12].

Для проведения огневых испытаний используют следующие виды тестовых очагов пожара (далее - ТП), обозначаемые ТП-1, ТП-2, ТП-2А, ТП-2Б, ТП-3, ТП-3А, ТП-3Б, ТП-4, ТП-5, ТП-5А, ТП-5Б, ТП-6, ТП-9. Их качественные характеристики приведены в таблице.

Для оценки чувствительности пожарных извещателей к дыму используются тестовые очаги ТП-2 (ТП-2А), ТП-3 (ТП-3А), ТП-4, ТП-5.

Данные испытания дают объективную оценку эффективности срабатывания пожарных извещателей. Проведение подобных испытаний в условиях реального объекта затруднено или невозможно из-за опасности применения открытого огня и сложности задания параметров тестового очага в зависимости от размеров помещения, профиля потолка и т.д.

В настоящее время с 15 сентября 2021 года введен в действие ГОСТ Р 59638–2021 «Системы пожарной сигнализации. Руководство по проектированию, монтажу, техническому обслуживанию и ремонту. Методы испытаний на работоспособность» [7, 8].

В данном документе изложено, что проверка только электронных компонентов извещателей пожарных (ИП), не соответствует положениям настоящего стандарта в части контроля функционирования автоматических ИП. Контроль функционирования автоматических ИП должен подтверждать, что факторы пожара способны достичь чувствительного элемента автоматического ИП из защищаемого пространства, а не только возможность чувствительного элемента (электронного компонента) сформировать сигнал.

Контроль функционирования точечных дымовых ИП осуществляют указанным производителем способом с помощью дыма или аэрозоля, приведенных в технической документации на ИП, с контролем отображения соответствующего тревожного или тестового извещения на приборе приемно-контрольном пожарном (ППКП) [9].

В настоящее время имеющиеся приборы и устройства тестирования дымовых пожарных извещателей обеспечивают возможность проверки факта функционирования дымового пожарного извещателя путем точечного воздействия на него

Качественные характеристики тестовых очагов пожара

Обозначение ТП	Тип горения	Качественные характеристики ТП			
		интенсивность тепловыделения	восходящий поток	наличие дыма	наличие монооксида углерода
ТП-1	Открытое горение древесины	Высокая	Сильный	Есть	Очень слабое
ТП-2	Пиролизное тление древесины	Слабая	Слабый	Есть	Есть
ТП-2А	Пиролизное тление древесины	Слабая	Слабый	Есть	Есть
ТП-2Б	Пиролизное тление древесины	Слабая	Слабый	Есть	Есть
ТП-3	Тление со свечением хлопка	Слабая	Очень слабый	Есть	Сильное
ТП-3А	Тление со свечением хлопка	Слабая	Очень слабый	Есть	Сильное
ТП-3Б	Тление со свечением хлопка	Слабая	Очень слабый	Есть	Сильное
ТП-4	Горение полимерных материалов	Высокая	Сильный	Есть	Слабое
ТП-5	Горение легко- воспламеняющейся жидкости с выделением дыма	Высокая	Сильный	Есть	Слабое
ТП-5А	Горение легко- воспламеняющейся жидкости с выделением дыма	Высокая	Сильный	Есть	Слабое
ТП-5Б	Горение легко- воспламеняющейся жидкости с выделением дыма	Высокая	Сильный	Есть	Слабое
ТП-6	Горение легко- воспламеняющейся жидкости	Высокая	Сильный	Нет	Очень слабое
ТП-9	Тление без свечения хлопка	Слабая	Слабый	Есть	Есть

облака дымовой аэрозоли. При этом оптические свойства имитирующего дым аэрозоля формируется из специального баллончика или путем испарения специальной жидкости не изучены, и их корреляция с тестовыми очагами пожара не производилась.

При этом проводимый в настоящий момент контроль функционирования пожарного изве-

щателя указанным производителем ИП способом, с помощью дыма и аэрозоля, приведенным в технической документации на ИП, не позволяет оценить оптическую плотность среды непосредственно в помещении и не дает возможность оценить влияние дыма от реального очага пожара на возможность эвакуации в момент срабатывания извещателя.

Вывод

Тестовый очаг является незаменимым методом для определения эффективности пожарной сигнализации на объектах специального назначения. Он позволяет в условиях, максимально приближенных к реальным, проверить работоспособность системы, скорость реагирования датчиков и точность локализации источника возгорания. Регулярное проведение таких испытаний способствует выявлению и устранению возможных недостатков в системе пожарной безопасности, что в итоге повышает общий уровень защиты особо важных военных и гражданских объектов от пожаров.

Использование тестового очага не только помогает подтвердить соответствие системы пожарной сигнализации установленным требованиям, но и служит важным инструментом для оптимизации и улучшения мер пожарной безопасности. Это особенно важно для объектов специального назначения, где даже незначительные сбои в работе системы могут привести к серьезным последствиям.

Список источников

1. Прищенко А.В., Сильников Н.М. Исследование зависимости параметров пожара и удельной оптической среды от концентрации продуктов горения для объектов военного назначения // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2025. № 3–4 (201–202). С. 161–164.

2. Прищенко А.В., Васильев М.А., Зайцев А.И. Оценка эффективности функционирования световых оповещателей в условиях задымленности на складах силовых структур // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2021. № 3–4 (153–154). С. 173–176.

3. Прищенко А.В., Овчаренко М.С. Анализ современного состояния вопроса по обеспечению пожарной безопасности в дошкольных образовательных учреждениях // Вестник Студенческого научного общества. 2019. Т. 2. № 10. С. 101–103.

4. Танклевский Л.Т., Таранцев А.А., Танклевский А.Л. Разработка нормативного документа в части формирования требований к автоматичес-

ким установкам сдерживания пожара // Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXXIII Международной научно-практической конференции, посвященной Году науки и технологий. 2021. С. 363–369.

5. Васильев М.А., Аракчеев А.В., Бабинов И.А., Доронин А.С. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: Сборник научных трудов IX Всероссийской научно-практической конференции. Санкт-Петербург. 2017. С. 205–210.

6. Прищенко А.В. Оценка эффективности пожарной сигнализации в организации // В сборнике: Интеллектуальный потенциал молодых ученых как драйвер развития АПК. Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и обучающихся. Санкт-Петербург. 2023. С. 448–452.

7. Зайцев А.И., Прищенко А.В., Лушкина В.А. Анализ причин возникновения неисправности оборудования в противопожарных системах // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2022. № 5–6 (167–168). С. 156–161.

8. Прищенко А.В., Красикова Е.А. Разработка устройства, обеспечивающего безопасную эвакуацию рабочих и служащих предприятий при пожаре // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2020. № 11–12 (149–150). С. 166–169.

9. Байков А.И., Елькин А.Б. Системы пожарной сигнализации. Принципы и средства построения. Нижний Новгород: Нижегородский гос. тех. универ. им. Р.Е. Алексеева, 2011. 110 с.

10. Буркова Е.В. Система охранно-пожарной сигнализации: учеб. пособие. Оренбург: гос. ун-т, 2019. 134 с.

11. Синилов В.Г. Системы охранной, пожарной и пожарно-охранной сигнализации: учебник. 6-е изд. М.: Издательский центр «Академия», 2011. 512 с.

12. Щипицын С.М. Эффективность обнаружения пожароопасной ситуации. URL: <http://www.vinsit.ru/info/articles/securitysystem/320/> (дата обращения: 18.06.2025).

References

1. Prishchenko A.V., Silnikov N.M. Investigation of the dependence of fire parameters and specific optical medium on the concentration of

gorenje products for military installations // Issues of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2025. No 3–4 (201–202). Pp. 161–164.

2. Prishchenko A.V., Vasiliev M.A., Zaitsev A.I. Evaluation of the effectiveness of light sounders in conditions of smoke in warehouses of law enforcement agencies // Issues of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2021. No 3–4 (153–154). Pp. 173–176.

3. Prishchenko A.V., Ovcharenko M.S. Analysis of the current state of the issue of fire safety in preschool educational institutions // Bulletin of the Student Scientific Society. 2019. Vol. 2. No 10. Pp. 101–103.

4. Tanklevsky L.T., Tarantsev A.A., Tanklevsky A.L. Development of a regulatory document regarding the formation of requirements for automatic fire control installations // Actual problems of fire safety: proceedings of the XXXIII International Scientific and Practical Conference dedicated to the Year of Science and Technology. 2021. Pp. 363–369.

5. Vasiliev M.A., Arakcheev A.V., Babikov I.A., Doronin A.S. // Safety in emergency situations: Collection of scientific papers of the IX All-Russian Scientific and practical Conference, St. Petersburg. 2017. Pp. 205–210.

6. Prishchenko A.V. Evaluation of the effectiveness of fire alarm systems in organizations //

In the collection: Intellectual potential of young scientists as a driver of agricultural development. Materials of the international scientific and practical conference of young scientists and students. Saint-Petersburg, 2023. Pp. 448–452.

7. Zaitsev A.I., Prishchenko A.V., Lushkina V.A. Analysis of the causes of equipment malfunction in fire protection systems // Issues of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2022. No 5–6 (167–168). Pp. 156–161.

8. Prishchenko A.V., Krasikova E.A. Development of a device that ensures the safe evacuation of workers and employees of enterprises in case of fire // Issues of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2020. No 11–12 (149–150). Pp. 166–169.

9. Baykov A.I., Yelkin A.B. Fire alarm systems. Principles and means of construction. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Technical University. R.E. Alekseev University, 2011. 110 p.

10. Burkova E.V. Security and fire alarm system: textbook. stipend. Orenburg: State University, 2019. 134 p.

11. Sinilov V.G. Security, fire and fire alarm systems: textbook. 6th ed. Moscow: Publishing Center «Academy», 2011. 512 p.

12. Shchipitsyn S.M. Effectiveness of fire hazard detection. URL: <http://www.vinsit.ru/info/articles/securitysystem/320/> (date of access: 06.18.2025).

УДК 623.46

doi: 10.53816/23061456_2025_5–6_103

ВОПРОСЫ ОПТИМИЗАЦИИ АДАПТИВНОЙ ИНФРАКРАСНОЙ НАВОДЯЩЕЙ ГОЛОВКИ ВРАЩАЮЩИХСЯ СНАРЯДОВ

ADAPTIVE INFRARED OPTIMIZATION ISSUES THE GUIDING HEAD OF ROTATING PROJECTILES

Канд. техн. наук Г.В. Алиева

Ph.D. G.V. Alieva

Национальное аэрокосмическое агентство, г. Баку, Азербайджанская Республика

С целью стабилизации траектории полета управляемых снарядов часто используется вращательное движение снарядов. Вращение снаряда создает значительные трудности для сканирующей системы снаряда, осуществляющей наведение на цель. Для решения указанной проблемы используется метод сканирования пространства путем установки линейки фоточувствительных устройств в радиальном направлении на плоскости формирования изображения сканирующей системы головки наведения вращающегося снаряда. Сформулированы и решены две оптимизационные задачи реализации адаптивного управления фокусным расстоянием оптики снаряда: управление фокусным расстоянием, в зависимости от дистанции до объекта; управление фокусным расстоянием, в зависимости от ширины детектора на дальнем секторе диска обнаружения ухода от траектории. Определено, что в первом случае требуется реализация прямой зависимости между функцией и аргументом адаптивного уравнения, а во втором случае — обратной зависимости.

Ключевые слова: наведение на цель, оптимизация, адаптивное управление, фокусное расстояние, наводящая головка.

In order to stabilize the flight path of guided projectiles, the rotational motion of the projectiles is often used. The rotation of the projectile creates significant difficulties for the projectile's scanning system, which aims at the target. To solve this problem, the space scanning method is used by installing a line of photosensitive devices in the radial direction on the imaging plane of the scanning system of the guidance head of a rotating projectile. Two optimization problems for implementing adaptive control of the focal length of projectile optics are formulated and solved: (a) control of the focal length, depending on the distance to the object; (b) control of the focal length, depending on the width of the detector in the far sector of the trajectory departure detection disk. It is determined that in the first case, a direct relationship between the function and the argument of the adaptive equation is required, and in the second case, an inverse relationship.

Keywords: targeting, optimization, adaptive control, focal length, pointing head.

Известно, что вращательное движение снарядов, управляемых в инфракрасном (ИК) диапазоне часто используется с целью стабилизации траектории полета снаряда [1–4]. Вращение

снаряда создает значительные трудности для сканирующей системы снаряда, осуществляющей наведение на цель. Для решения указанной проблемы используется метод сканирования

пространства. Этот принцип реализуется путем установки линейки фоточувствительных устройств в радиальном направлении на плоскости формирования изображения сканирующей системы головки наведения вращающегося снаряда. Вариант такой установки линейки фотодетекторов показан на рис. 1 [5].

Основной недостаток такого решения заключается в том, что сила сигнала, получаемого с такого детектора, зависит от расстояния детекторного элемента в линейке до оптической оси. Это приводит к уменьшению отношения сигнал/шум для более удаленных элементов. Для решения данной проблемы используются двумерные детекторы с таким распределением элементов, при котором можно было бы скомпенсировать ухудшение отношения сигнал/шум, используя метод интегрирования с временной задержкой. На рис. 2 дана иллюстрация такого решения проблемы. При таком решении компенсация ослабления осуществляется за счет интегрирования сигналов нескольких детекторов с некоторой задержкой во времени [6].

Согласно [7], вероятность обнаружения цели определяется по методу Джонсона. В этом методе выделены три качественных уровня обнаружения:

- детектирование;
- распознавание;
- идентификация.

Детектирование означает появление объекта в наблюдаемом изображении. Распознавание

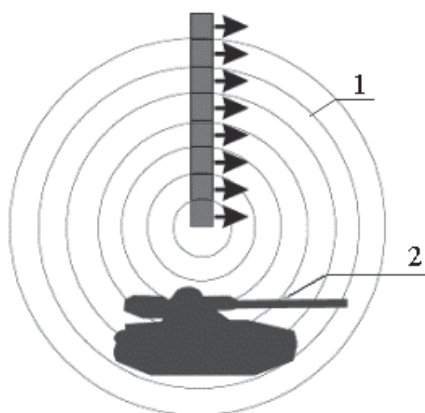


Рис. 1. Иллюстрация радиальной установки фоточувствительной линейки на плоскости изображения наводящей головки вращающегося снаряда: 1 — фоточувствительная головка; 2 — цель

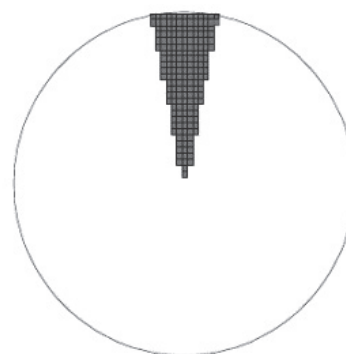


Рис. 2. Иллюстрация 2D-детектора, установленного на плоскости изображения головки ИК-наведения

предусматривает точное определение типа объекта. Идентификация предполагает выявление основных характеристик объекта (тип, скорость движения, класс и др.).

Согласно методу Джонсона, наблюдаемый объект заменяется на тест в виде четырех полос и далее расстояние между наблюдаемым объектом и штриховым изображением увеличивается в таких пределах, где штрихи еще можно различить.

Для принятия решения по вышеприведенным уровням обнаружения подобных двумерных объектов требуется некоторое количество циклов повторения теста. Соответствующие данные приведены в таблице.

Согласно [8], требуемый размер детектора определяется по формуле

$$l = \frac{\sqrt{hw} \cdot f \cdot L}{2n}, \quad (1)$$

где h — высота;
 w — ширина;
 n — количество циклов теста;
 f — фокусное расстояние;
 L — расстояние до объекта.

Таблица

Обнаружения двумерного объекта

Классы обнаружения	Количество циклов теста
Детектирование	0,75
Распознавание	3,0
Идентификация	6,0

Вопросы вероятности обнаружения и вычисления термального и пространственного разрешения системы наведения вращающегося снаряда исследованы в работе [8]. В настоящей работе исследуется возможность оптимального выбора таких показателей, как f , L , l для достижения обнаружения минимальной величины эквивалентной площади объекта.

Материалы и методы

В формуле (1) определим эквивалентную поверхностную площадь S объекта в виде

$$S = h \cdot w. \quad (2)$$

С учетом формул (1) и (2) получим

$$l = \frac{\sqrt{S} \cdot f \cdot L}{2n}. \quad (3)$$

Из формулы (3) находим

$$S = \frac{4n^2 \cdot l^2}{f^2 \cdot L^2}. \quad (4)$$

Рассмотрим конструкцию адаптивного снаряда, в котором предусмотрены следующие возможности:

- изменение расстояния до цели L ;
- изменение показателя l ;
- изменение фокусного расстояния f .

Требуется проведение такой перестановки адаптивных функций управления

$$f = \varphi(L); \quad (5)$$

$$f = \psi(l), \quad (6)$$

при которых усредненная величина S по времени полета снаряда достигла бы минимума, то есть снаряд мог бы обнаружить еще более мелкие объекты.

В общем случае показатели S , l , f , L могут быть представлены в качестве функций времени подлета к цели, следовательно, имеем

$$S(t) = \frac{(4n) \cdot l(t)^2}{f(t)^2 \cdot L(t)^2}. \quad (7)$$

Интегрируя выражение (7) по t , находим

$$\frac{1}{t_m} \int_0^{t_m} S(t) dt = \frac{1}{t_m} \int_0^{t_m} \frac{(4n) \cdot l(t)^2}{f(t)^2 \cdot L(t)^2} dt, \quad (8)$$

где t_m — максимальная величина t .

Далее приняв $S(t)$, $l(t)$, $f(t)$ и $L(t)$ в качестве линейных функций времени, можно получить выражение для нахождения средней поверхностной площади:

$$\frac{1}{t_m} \int_0^{t_m} S(t) dt = S_{cp}. \quad (9)$$

С учетом формулы (5) выражение (8) перепишем в виде

$$S_{cp} = \frac{1}{t_m} \int_0^{t_m} \frac{(4n) \cdot l^2}{\varphi(L)^2 \cdot L^2} dL. \quad (10)$$

Аналогичным образом, с учетом функции (6) получим

$$S_{cp} = \frac{1}{l_m} \int_0^{l_m} \frac{(4n)^2}{\psi(l) \cdot L^2} dl. \quad (11)$$

С учетом вышеизложенного можно сформулировать две задачи оптимизации адаптивного устройства наведения на цель.

Определение оптимального вида функции $\varphi(L)$, при которой S_{cp} достигает минимума, то есть становится возможным обнаруживать более мелкие объекты.

Определение оптимального вида функции $\psi(l)$, при которой S_{cp} также достигает минимума.

Для решения первой из вышеизложенных задач примем ограничительное условие

$$\int_0^{L_m} \varphi(L) dL = C_1. \quad (12)$$

Для второй оптимизационной задачи примем аналогичное ограничительное условие

$$\int_0^{l_m} \psi(l) dl = C_2. \quad (13)$$

Смысл ограничительных условий (12) и (13) заключается в ограниченности технологических

возможностей реализации адаптивного управления величиной фокусного расстояния.

С учетом выражений (10) и (12) целевой функционал F_1 вариационной оптимизации имеет вид

$$F_1 = \frac{1}{L_m} \int_0^{l_m} \frac{4n \cdot l^2}{\varphi(L)^2 \cdot L^2} dL + \lambda_1 \left[\int_0^{l_m} \varphi(L) dL - C_1 \right], \quad (14)$$

где λ_1 — множитель Лагранжа.

С учетом выражений (11) и (13) аналогичный целевой функционал имеет вид

$$F_2 = \frac{1}{l_m} \int_0^{l_m} \frac{4n \cdot l^2}{\psi(l)^2 \cdot l^2} dl + \lambda_2 \left[\int_0^{l_m} \psi(l) dl - C_2 \right]. \quad (15)$$

Рассмотрим решения оптимизационных задач (14) и (15). Согласно [9, 10], решение такого типа вариационных задач конкретно для F_1 имеет вид

$$\frac{d \left\{ \frac{4n \cdot l^2}{L_m \varphi(L)^2 L^2} + \lambda_1 \varphi(L) \right\}}{d\varphi(L)} = 0. \quad (16)$$

Для F_2 аналогичное выражение имеет вид

$$\frac{d \left\{ \frac{4n \cdot l^2}{l_m \psi(l)^2 l^2} + \lambda_2 \psi(l) \right\}}{d\psi(l)} = 0. \quad (17)$$

Из выражения (16) получаем

$$-\frac{8n \cdot l^2}{L_m L^2 \cdot \varphi(L)^3} + \lambda_1 = 0. \quad (18)$$

Из выражения (18) находим

$$\varphi(L) = \sqrt[3]{\frac{8n \cdot l^2}{\lambda_1 \cdot L_m \cdot L^2}}. \quad (19)$$

Аналогичным образом, из условия (17) получим

$$-\frac{4n \cdot l^2}{l_m \cdot \psi^3(l) \cdot l^2} + \lambda_2 = 0. \quad (20)$$

Из условия (20) находим

$$\psi(l) = \sqrt[3]{\frac{4n \cdot l^2}{l_m \cdot L^2 \cdot \lambda_2}}. \quad (21)$$

Оба решения, то есть выражения (19) и (21) обеспечивают минимум целевых функционалов F_1 и F_2 , то есть могут привести к обнаружению более мелких объектов. Вместе с тем существует принципиальная разница между решениями выражений (19) и (21), заключающаяся в том, что в первом случае фокусное расстояние должно пропорционально расти с увеличением l , а во втором случае требуется обратная зависимость f от L .

При этом вычисление множителей Лагранжа может быть осуществлено по стандартной схеме, используя пары выражений (12) и (19) для вычисления λ_1 , а также выражения (13) и (21) для вычисления λ_2 .

Обсуждение

Таким образом, сформированы и решены задачи оптимизации предлагаемого адаптивного узла инфракрасного наведения вращающегося снаряда на цель.

С учетом метода Джонсона обнаружения и идентификации целей, в таком устройстве сформулированы две оптимизационные задачи реализации адаптивного управления фокусным расстоянием оптики снаряда:

- определение вида оптимальной функции зависимости фокусного расстояния от расстояния до объекта, при котором возможно обнаружение объектов наименьшей площади;

- определение вида оптимальной функции зависимости фокусного расстояния от ширины детектора, при котором возможно обнаружение объектов наименьшей площади.

Определено, что в первом случае требуется реализация прямой зависимости между функцией и аргументом адаптивного уравнения, а во втором случае — обратной зависимости.

Заключение

Для достижения возможности обнаружения и идентификации мелких объектов в ИК-управляемых вращающихся снарядах предложены адаптивные управления:

а) управление фокусным расстоянием, в зависимости от дистанции до объекта;

б) управление фокусным расстоянием, в зависимости от ширины детектора на дальнем секторе диска обнаружения ухода от траектории.

Определено, что обнаружение наименьших объектов в первом случае может быть реализовано при наличии прямой связи между функцией аргументов вводимого адаптивного управления, а во втором случае — обратной связи.

Список источников

1. R.M. Botez, V. Chelaru, P. Parvu and C. Gheorghe. Calculus Model for a Rolling Guided Missile // *Journal of Vibration and Control* 2001; 7(6); 863-889. URL: <http://jvc.sagepub.com/cgi/content/abstract/7/6/863> (дата обращения: 15.02.2025).

2. SR Mohan R.M. Calculus Model for a Rolling Guided Missile DRDO: monographs/Special publications series / *Fundamentals of guided missiles*. Defence research and Development Organisation Ministry of Defence, New Delhi – 110 011. 2016. 25 p.

3. R. Hudson and J. Hudson. *Infrared Detectors*. Dowden, Hutchinson & Ross, distributed by Halsted Press (1975). 392 p.

4. The infrared and electro-optical systems handbook. *Infrared Information Analysis Center*, SPIE Optical Engineering Press (1993). 74 p.

5. Piotrowski J., Szabra D. IR detectors of homing head for rotating missiles of smart munition.

6. Piotrowski J., Szabra D. Conception of advanced IR detector for homing head of rotating missiles. *PTU*, 84, pp. 31–36 (2002).

7. Holst G.C. *Electro-Optical Imaging System Performance*. 2003. URL: https://archive.org/details/electroopticalim0000hols_3ed (дата обращения: 15.02.2025).

8. Piotrowski J., Swiderski W., Szabra D. *Infrared homing for rotating missiles*. URL: https://www.researchgate.net/publication/305183605_Infrared_homing_head_for_rotating_missiles (дата обращения: 15.02.2025).

9. Эльсгольц Л.Э. *Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление*. М.: Наука, 1974. 432 с.

10. Задорожний В.Г. *Методы вариационного анализа*. М.: Высшая школа, 2006. 342 с.

References

1. R.M. Botez, V. Chelaru, P. Parvu, and C. Gheorghe. Calculus Model for a Rolling Guided Missile // *Journal of Vibration and Control* 2001; 7(6); 863-889. URL: <http://jvc.sagepub.com/cgi/content/abstract/7/6/863> (accessed on 15.02.2025).

2. SR Mohan R.M. Calculus Model for a Rolling Guided Missile DRDO: monographs/Special publications series/ *Fundamentals of guided missiles*. Defence research and Development Organisation Ministry of Defence, New Delhi – 110 011. 2016. 25 p.

3. R. Hudson and J. Hudson. *Infrared Detectors*. Dowden, Hutchinson & Ross, distributed by Halsted Press (1975). 392 p.

4. The infrared and electro-optical systems handbook. *Infrared Information Analysis Center*, SPIE Optical Engineering Press (1993). 74 p.

5. Piotrowski J., Szabra D. IR detectors of homing head for rotating missiles of smart munition.

6. Piotrowski J., Szabra D. Conception of advanced IR detector for homing head of rotating missiles. *PTU*, 84, pp. 31–36 (2002).

7. Holst G.C. *Electro-Optical Imaging System Performance*. 2003. URL: https://archive.org/details/electroopticalim0000hols_3ed (accessed on 15.02.2025).

8. Piotrowski J., Swiderski W., Szabra D. *Infrared homing for rotating missiles*. URL: https://www.researchgate.net/publication/305183605_Infrared_homing_head_for_rotating_missiles (accessed on 15.02.2025).

9. Elsholts L.E. *Differential equations and calculus of variations*. Moscow: Nauka, 1974. 432 p.

10. Zadorozhny V.G. *Methods of variational analysis*. Moscow: Higher School, 2006. 342 p.

УДК 623.483

doi: 10.53816/23061456_2025_5–6_108

**ПОВЫШЕНИЕ ОПЕРАТИВНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОБРАЗЦОВ
АРТИЛЛЕРИЙСКОГО ВООРУЖЕНИЯ НА НАПРАВЛЕНИИ ДЕЙСТВИЯ
ГРУППИРОВКИ ВОЙСК (СИЛ)**

**INCREASING THE EFFICIENCY OF RESTORATION OF ARTILLERY WEAPONS
IN THE DIRECTION OF ACTION OF A GROUP OF TROOPS (FORCES)**

Канд. техн. наук П.В. Филатов

Ph.D. P.V. Filatov

Филиал Военной академии материально-технического обеспечения им. А.В. Хрулева (г. Пенза)

Рассмотрен вопрос повышения оперативности восстановления образцов артиллерийского вооружения (АВ) в рамках существующей системы управления восстановлением артиллерийских орудий с учетом имеющихся средств обмена информацией. Проведен анализ организации управления восстановлением образцов АВ. Предлагается совершенствование существующей системы в два этапа. На первом этапе разработать информационно-управляющую систему поддержки принятия решений (СППР) на восстановление образцов АВ с локализацией управления на трех уровнях системы восстановления — бригадном, армейском и уровне группировки войск (сил). На втором этапе создать единый центр управления восстановлением, развернутый на базе Управления технического обеспечения группировки войск (сил).

Ключевые слова: система управления восстановлением, артиллерийское вооружение, система поддержки принятия решений, информационно-управляющая система.

The issue of increasing the efficiency of the restoration of artillery weapons samples within the framework of the existing artillery recovery management system, taking into account the available means of information exchange, is considered. The analysis of the organization of artillery weapons sample recovery management is carried out. It is proposed to improve the existing system in two stages. At the first stage, to develop an information and management decision support system for the restoration of artillery weapons samples with localization of management at three levels of the recovery system — brigade, army and group of forces (forces). At the second stage, create a single recovery management center, deployed on the basis of the Directorate of Technical Support of the group of Forces.

Keywords: recovery management system, artillery weapons, decision support system, information management system.

Своевременное восстановление работоспособности вышедших из строя образцов АВ в ходе операции на стратегическом направлении (СН) — одна из главных проблем технического обеспечения (ТехО), возложенная на службу ракетно-артиллерийского вооружения (РАВ).

При изучении особенностей организации восстановления АВ на направлениях Группировки войск (сил) (ГрВ(с)) в современных локальных войнах и вооруженных конфликтах был сделан вывод о формировании новых принципов построения системы управления восстановлени-

ем (СУВ) [1] образцов АВ, сложившихся в настоящее время под воздействием современных средств поражения и тактики их применения противником. Данные принципы охватывают все основные процессы восстановления АВ — организацию технической разведки, эвакуации и ремонта поврежденных образцов.

Рассмотрим отдельно организацию функционирования системы восстановления в каждом из этих режимов.

1. Организация технической разведки. Согласно классической схеме [2] техническая разведка районов размещения эвакуационного фонда проводится силами и средствами эвакуационных подразделений, временными формированиями, выделяемыми от ремонтных подразделений и воинских частей. К ним относятся:

- ремонтно-эвакуационные группы (РЭГ);
- эвакуационные группы (ЭГ);
- комплексные эвакуационные группы (КЭГ).

В ходе последних локальных войн и вооруженных конфликтов, когда образцы АВ применяются в основном автономно (не в составе штатных подразделений), командный состав боевых подразделений лучше владеет обстановкой и чаще всего сам заинтересован в обнаружении и скорейшей эвакуации неисправной (пораженной) техники. Поэтому вся информация о наличии, размещении и техническом состоянии ремонтного фонда поступает на пункты управления ТехО с различных направлений и концентрируется в технических частях ремонтных батальонов, где происходит оценка возможности восстановления объектов (в зависимости от тяжести повреждений, наличия специалистов-ремонтников, в том числе в выездных ремонтных бригадах (ВРБ) промышленности, и наличия ЗИП на складе).

С введением с 1 марта 2024 года в штат отдельного ремонтно-восстановительного батальона (комплексного ремонта) (*орвб(кр)*) отделения технической разведки численностью 8 человек (автомобиль «Тигр-М СпН» АСН-233115) позволило расширить возможности батальона по ведению технической разведки [3].

2. Организация эвакуации. Эвакуация поврежденных образцов АВ из «серой зоны» проводится силами подвижных средств эвакуации (ПСЭ) ремонтных подразделений боевых частей

[4], которые сосредотачивают ремонтный фонд в своих тыловых районах, где силами ремонтных подразделений этих частей производится первичная дефектация с занесением данных в план восстановления вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) воинской части. В дальнейшем этот план пересылается в *орвб(кр)*, где производится оценка возможности выполнения ремонта силами ремонтных подразделений (учитываются возможности ремонтных подразделений по наличию специалистов-ремонтников, свободных машиномест, ЗИП).

Ремонтный фонд, после согласования с заместителем командующего армией по вооружению, в указанное время отправляется на техническую позицию батальона силами и средствами отправителя (боевой части).

В случае отсутствия у отправителя ПСЭ, по предварительному согласованию, перемещение осуществляется силами и средствами отдельного автомобильного батальона (многоосных тяжелых колесных тягачей — МТКТ) бригад МТО. Седельные автотягачи с полуприцепами-тяжеловозами (3-ППТ-65) рассредоточены по стоянкам и «площадкам подскока» в районах ответственности и, в случае необходимости, готовы осуществить перевозку ремонтного фонда из тылового района боевой части на техническую позицию ремонтной воинской части и обратно.

По прибытии изделия в ремонт оно сразу же подается на ремонтный участок в производственное помещение, представляющее собой цеховое здание, хранилище или бокс (укрытие) (рис. 1).

Стоянка неисправной техники под открытым небом, а также скопление ремонтного фонда или готовой продукции не допускается. Такой порядок отличен от классического, когда ремонтная рота (эвакуации и ремонтного фонда) разворачивает своими силами сборный пункт поврежденных машин (СППМ), и в дальнейшем на нем разворачиваются остальные ремонтные подразделения батальона. Принятый порядок обусловлен прежде всего наличием у противника эффективных средств разведки (СР) (спутниковая орбитальная группировка, разведывательные БПЛА), а также средств поражения большой дальности.

Отдельного внимания требует вопрос эвакуации техники из-под огня и из районов,

находящихся под воздействием средств поражения противника. Как правило, эвакуация осуществляется в ночное время с помощью КЭГ. Сначала — с помощью бронированной ремонтно-эвакуационной машины (БРЭМ-1М) до места поражения противника), потом тралом до тылового района боевой части или на технические позиции ремонтно-восстановительного органа (РВО) (*орвб(кр)*, *орвб(в)*, *орэн*).

Ремонтно-восстановительные органы разворачиваются в основном на территории бывших промышленных объектов — МТС, автомобильных заводов, автошкол ДОСААФ (рис. 2).

3. Организация ремонта имеет следующие тенденции:

1) широкое использование имеющейся промышленной базы, причем не только в качестве укрытия, но и в качестве технологической базы (поиск и реанимация станочного оборудования, ремонт и использование стационарных грузо-

подъемных устройств, закупка станков и конструирование дополнительного технологического оборудования).

На большинстве объектов имеется промышленная электрическая сеть номиналом 380 и 220 вольт. В случае ее отсутствия личный состав использует имеющиеся штатные дизельные электростанции ЭД-30 (АД-30);

2) использование ремонтными воинскими частями цеховых помещений для размещения производственных участков, с применением штатного технологического и грузоподъемного оборудования, не восстанавливая имеющееся или разрабатывая и производя новое из подручных материалов;

3) стремление ремонтных частей и подразделений расширить объем выполняемых работ, занимаясь литейным производством, сложным ремонтом двигателей внутреннего сгорания (ДВС), бортовых передач (БП), топливных насосов высокого давления (ТНВД), коробок

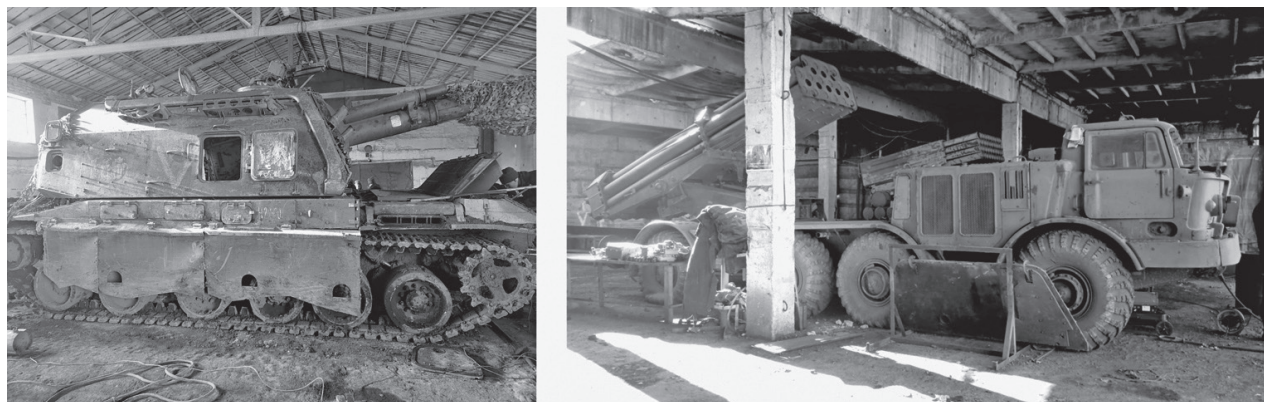


Рис. 1. Организация участка по ремонту артиллерийского вооружения



Рис. 2. Техническая позиция ремонтной роты вооружения, развернутая на базе бывшего промышленного предприятия

передач. Изготовление дополнительных защитных противодронных сеток и экранов;

4) недостаток самых востребованных номенклатур ЗИП приводит к созданию обменных пунктов агрегатов, в которых сосредотачиваются исправные узлы, блоки и агрегаты, демонтированные с ВВСТ безвозвратных потерь (БВП), а также снятые и затем отремонтированные. Это позволяет осуществлять срочный ремонт агрегатов методом (рис. 3);

5) на базе ремонтных подразделений и воинских частей происходит обмен техническим опытом специалистов-ремонтников с других воинских частей. Ценятся специалисты-электрики и специалисты по ремонту ДВС, трансмиссии и топливной аппаратуры;

6) широко применяются ВРБ от ремонтных частей и подразделений.

Из-за особенности их работы на переднем крае командованием армий принято решение об их перемещении на легковых автомобилях повышенной проходимости. Перемещение ВРБ осуществляется с необходимым оборудованием на легковых автомобилях повышенной проходимости типа УАЗ-39034 и УАЗ-330365. Штатный автомобиль (ЗИЛ-131, Урал-43203) обладает повышенными демаскирующими признаками (заметность для средств разведки, повышенный шум при перемещении, низкая маневренность в сочетании с большими габаритами).

В интересах ремонта техники РАВ, как правило, создаются две ВРБ из состава ремонтной роты (вооружения):

– первая из состава ремонтного отделения (диагностики и технического обслуживания) ремонтного взвода (артиллерийского вооружения) в составе 4 военнослужащих;

– вторая из состава ремонтного отделения (боевых машин ПТРК) ремонтного взвода (БМ ПТРК и оптических приборов) в составе 2 военнослужащих.

Применяемые для перемещения ВРБ автомобили оборудованы защитными экранами, изготовленными из сварной сетки, и комплексными средствами РЭБ (оборудование для борьбы с БПЛА квадрокоптерного типа и FPV-дронами типа «Гроза» и «Гроза-FPV» в совмещенном виде с дополнительными блоками), а также штатными маскировочными сетями.

Использование ВРБ на таких автомобилях позволяет:

– сократить сроки прибытия личного состава к месту проведения работ;

– упростить маскировку подвижных средств технического обслуживания и ремонта (ПСТОР) и технологического оборудования с использованием защитных свойств местности;

– повысить возможности по подъезду непосредственно к орудиям и боевым машинам, находящимся на позиции;

– сократить сроки покидания места проведения работ в случае воздействия огневых средств противника;

– исключить демаскирующие факторы, связанные с использованием штатных ПСТОР (звук от перемещения, внешние контуры, высота профиля, звук от работы собственного генератора);

7) на технических позициях *орвб(кр)*, *орвб(в)* и *орэп* освоена замена ствольно-затворных групп основных самоходных и буксируемых образцов АВ. На некоторых образцах происходит перекомпоновка ствольно-затворных групп заменой труб. Для этих целей силами ремонтных воинских частей изготавливаются

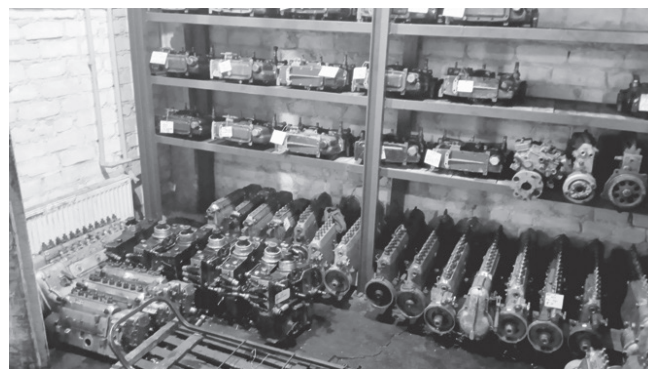


Рис. 3. Создание обменных пунктов агрегатов

специальные стенды (рис. 4) для размещения башен изделий 2С1 «Гвоздика» и 2С3М «Акация». Замена ствольно-затворных групп на изделиях семейства 2С19 «Мста-С» в полевых условиях находится в процессе освоения.

Организация управления восстановлением образцов АВ осуществляется должностными лицами (ДЛ) службы РАВ через заместителей командиров (командующих) по вооружению всех уровней.

При этом запрос на использование сил и средств старшего начальника (по необходимости) производится последовательно снизу-вверх. Схема информационных связей между элементами действующей системы управления восстановлением образцов АВ представлена на рис. 5.

Повышения оперативности восстановления образцов АВ в рамках существующей СУВ на направлении действия ГрВ(с) с учетом имеющихся средств обмена информацией можно достичь в следующих двух вариантах построения (этапах ее развития):

1-й этап. Разработка информационно-управляющей системы поддержки принятия решений на восстановление образцов АВ с локализацией управления на трех уровнях системы восстановления — бригадном, армейском и уровне ГрВ(с).

2-й этап. Совершенствование разработанной информационно-управляющей системы поддержки принятия решений на восстановление образцов АВ с созданием единого центра управления восстановлением, развернутом на базе Управления технического обеспечения ГрВ(с).

В первом варианте развития СУВ предлагаемая схема организации функционирования и информационного обмена между структурными

элементами СУВ АВ с учетом штатных и перспективных средств связи и обмена информацией имеет вид, который представлен на рис. 6.

Вся зона боевых действий на направлении ГрВ(с) делится на зоны ответственности — бригады, армии и ГрВ(с). Внутри каждой зоны в части, касающейся СУВ, имеются управляющие и исполнительные элементы.

К управляющим элементам СУВ относятся Центры управления восстановлением (ЦУВ), возглавляемые заместителями командиров (командующих) по вооружению, развернутые на тыловых пунктах управления соответствующих звеньев — бригады, армии и ГрВ(с).

Основной задачей ЦУВ является сбор, обработка поступающей информации об элементах системы восстановления в своей зоне ответственности и принятие оперативных решений на проведение комплекса мероприятий по технической разведке, эвакуации и ремонту неисправных (поврежденных) образцов АВ. А в случае недостаточности собственных сил и средств — организация привлечения сил и средств старшего начальника.

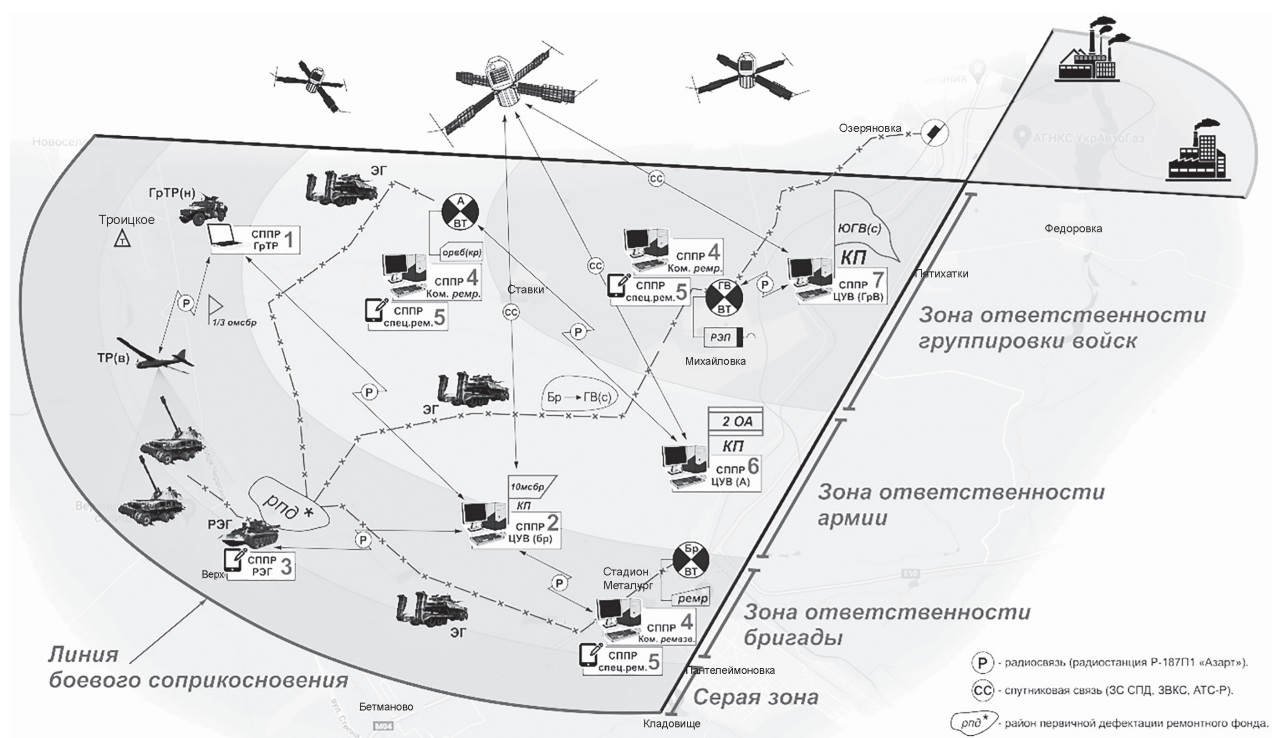
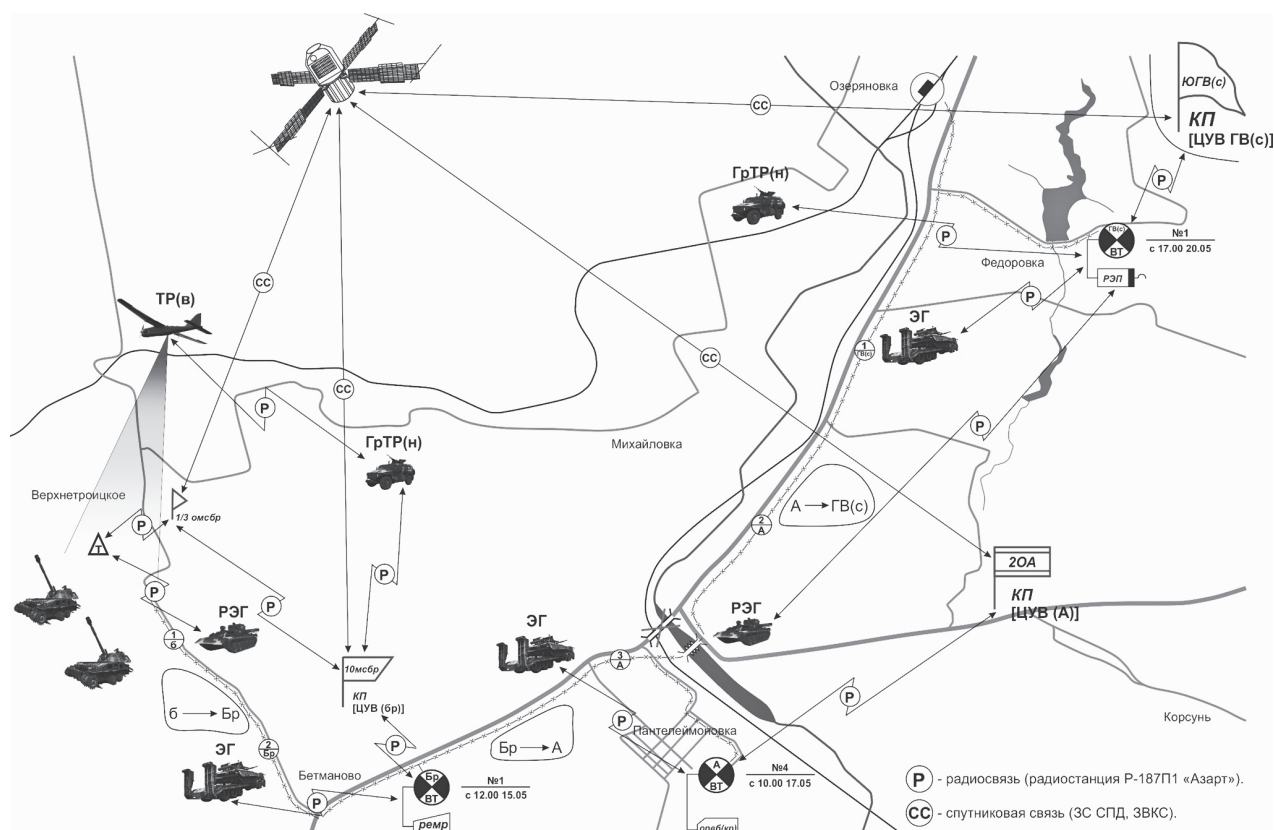
К исполнительным элементам СУВ относятся ремонтно-восстановительные подразделения и воинские части, части материально-технического обеспечения, имеющие в своем составе ПСЭ, а также назначенные из их состава подвижные группы эвакуации и технической разведки.

Информационный обмен между уровнями СУВ осуществляется по существующим и перспективным каналам связи, рассмотренным выше и представленным на рис. 5 и 6.

Для оптимизации процесса восстановления предлагается внедрить в СУВ информационно-



Рис. 4. Организация замены ствольно-затворной группы на изделиях АВ



управляющую СППР, обеспечивающую сопровождение процесса восстановления на семи уровнях: от первого — поддержка работы группы технической разведки, до седьмого — поддержка принятия решений заместителем командующего группировкой по вооружению.

Рассмотрим функционирование СППР на каждом уровне подробнее.

1-й уровень. Повышение оперативности работы группы технической разведки достигается введением в ее состав БПЛА с имеющимися на борту оптическими средствами разведки и воздушного лазерного сканирования (ВЛС). С целью сокращения средней продолжительности технической разведки поврежденного АВ, а именно средней продолжительности обнаружения, опознавания и определения технического состояния пораженного образца, предложен алгоритм автоматизированной обработки данных беспилотной воздушной съемки, реализуемый с помощью специального программного обеспечения (СПО) в составе программно-аппаратного комплекса, разработанного с применением нейросетевой технологии [5], и позволяющего определять состояние эвакуопригодности образца [6], координаты объекта эвакуации с применением геоинформационной платформы и акцентно визуализировать отклонения в его техническом состоянии.

Полученная геоинформация об объекте эвакуации передается и обрабатывается на 2-м уровне системы.

2-й уровень. Центр управления восстановлением бригады, оснащенный СППР, принимает информацию от групп технической разведки об объектах эвакуации, техническом состоянии объектов и их доступности (формируется эвакуационная обстановка). Основываясь на актуальной базе данных наличия, технического состояния объектов, маршрутов эвакуации и возможностях ПСЭ подразделений технического обеспечения бригады, система подготавливает для лица, принимающего решения (ЛПР) варианты решений на организацию эвакуации обнаруженных образцов АВ [7].

После принятия решения на эвакуацию сформированная КЭГ (ЭГ, РЭГ) перемещается по выбранному маршруту в район первичной дефектации (РПД), находящийся вблизи объекта эвакуации и вне зоны действия основных средств поражения противника.

3-й уровень. Эвакуация образца АВ с места его выхода из строя происходит, как правило, в ночное время силами ПСЭ (БРЭМ-1М, БТС и т.д.) в зависимости от складывающейся боевой обстановки. Перемещение эвакуационного фонда осуществляется до РПД, где с использованием элементов СППР (в диалоговом режиме) осуществляется первичная диагностика с определением объема и трудоемкости ремонтных операций. Работа на третьем уровне основана на созданной базе данных неисправностей и отказов по прецедентам, анализа причин их возникновения и способов устранения с использованием накопленного опыта и статистических данных.

Полученные данные об объеме и трудоемкости предстоящих ремонтных работ передаются на второй уровень системы, где, основываясь на анализе данных о техническом состоянии и производственных возможностях ремонтных подразделений и частей, для ЛПР вырабатываются альтернативные варианты мест и способов восстановления образца АВ.

В случае если ремонт образца АВ невозможен в ремонтных подразделениях и воинских частях бригадного уровня, ЦУВ бригады передает данные о техническом состоянии объекта ремонта и запрашивает привлечение сил и средств армейского (6-го) уровня [8]. Обмен информацией осуществляется по спутниковым каналам связи. Если требуется вмешательство сил и средств ремонтно-восстановительных органов ГрВ(с) или представителей ВРБ промышленности, то информация о техническом состоянии образца АВ передается на 7-й уровень, где по исходным данным, а также по имеющимся базам данных о производственных возможностях ремонтно-восстановительных органов ГрВ(с) и ВРБ предприятий промышленности подготавливаются решения о привлечении вышеупомянутых сил и средств либо об отправке ремонтного фонда в глубокий тыл на предприятия промышленности.

4-й уровень. СППР этого уровня предлагается внедрить в ремонтно-восстановительных частях всех уровней ответственности. СППР данного уровня, основываясь на получении диагностической информации [9] и базе данных о возможностях сил и средств ремонтных подразделений части, трудоемкости ремонта поступившего ремонтного фонда, обеспечивают

подготовку предложений о назначении специалистов-ремонтников на выполнение технологических операций с учетом их квалификации и достижения минимальной продолжительности ремонта образцов, находящихся в ремонтном подразделении. Одной из возможностей СППР является формирование и выдача суточного производственного задания каждому специалисту и контроль его выполнения в автоматизированном режиме. В основу решения этой задачи положен разработанный метод информационно-аналитической поддержки управления восстановлением АВ, обеспечивающий повышение коэффициента технической готовности образцов за счет сокращения времени восстановления путем рационального распределения специалистов-ремонтников ремонтных органов по выполняемым технологическим операциям на участках ремонта с учетом стохастичности процесса восстановления.

5-й уровень. Уровень информационного сопровождения технологических операций ремонта образцов АВ является самым низшим — начальным уровнем СППР. Поддержка выполнения ремонтных операций на объекте ремонтного фонда осуществляется за счет разработки так называемых «визуализированных операций».

ных карт» (ВОК) технического обслуживания и ремонта образцов АВ. ВОК представляют собой пошаговую инструкцию выполнения заданной технологической операции, представленную в виде трехмерной модели, реализованной как на бумажном носителе, как и в качестве интерактивного электронного технического руководства (ИЭТР). Алгоритм автоматизации формирования ВОК позволяет производить ее формирование по результатам технического диагностирования объекта ремонта.

6-й уровень. Центр управления восстановлением армии, оснащенный СППР, по структуре и функциям аналогичен ЦУВ бригады, однако имеет более обширную базу данных за подчиненные ремонтно-восстановительные органы, а также данные о наличии ЗИП во всех нижестоящих уровнях восстановления. Осуществляет сбор, анализ и управление подчиненным *орвб(кр)* в части обеспечения технической разведки, эвакуации и ремонта образцов АВ.

7-й уровень. Центр управления восстановлением ГрВ(с), оснащенный СППР, по структуре и функциям аналогичен ЦУВ бригады и армии, однако имеет более обширную базу данных за подчиненные ремонтно-восстановительные

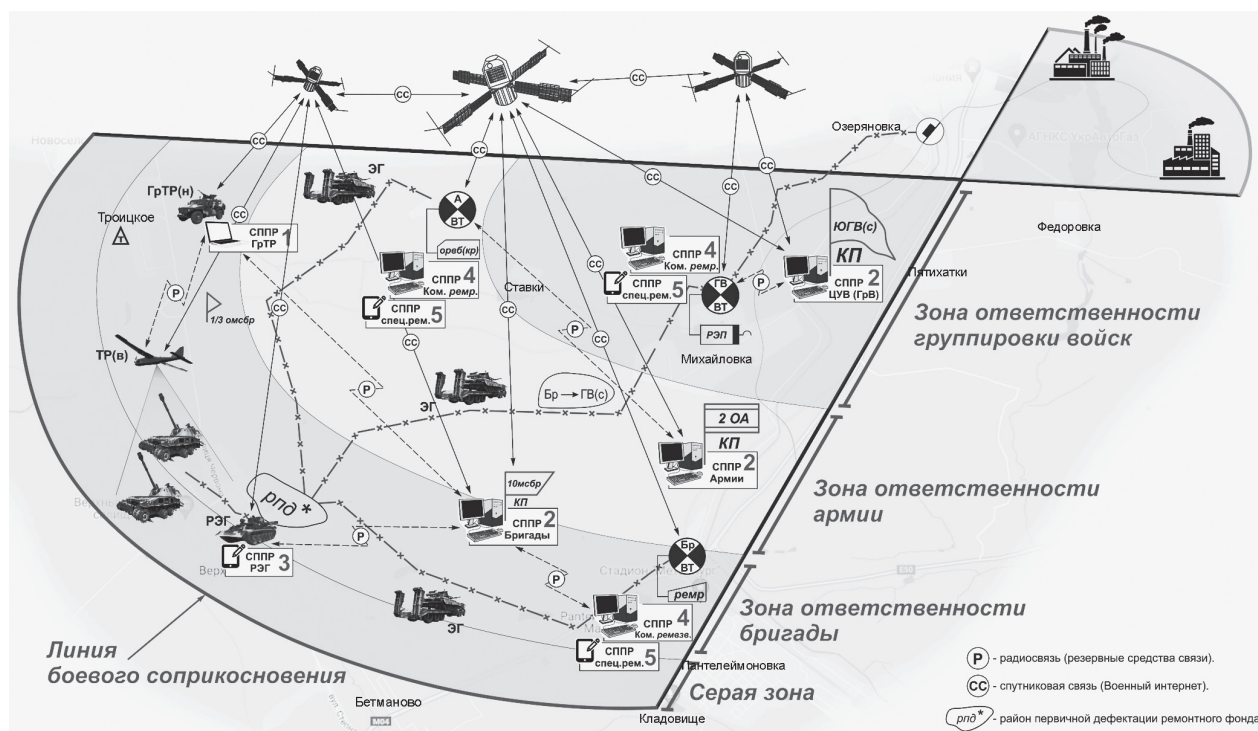


Рис. 7. Организация информационного обмена между структурными элементами информационно-управляющей системы восстановления АВ на 2-м этапе развития

органы, а также данные о наличии ЗИП во всех нижестоящих уровнях восстановления. Осуществляет сбор, анализ и управление подчиненными *орвб(в)*, *орэп* и ПСЭ бригады МТО в части обеспечения технической разведки, эвакуации и ремонта образцов АВ.

Дополнительно по согласованию с Главным ракетно-артиллерийским управлением (ГРАУ) Министерства обороны (МО) Российской Федерации (РФ) ЦУВ ГрВ(с) организует отправку ремонтного фонда на предприятия промышленности.

В настоящее время основной проблемой реализации рассмотренного варианта модели функционирования СУВ путем совершенствования информационно-управляющей СППР восстановления образцов АВ является отсутствие защищенных устойчивых каналов связи, позволяющих осуществлять информационный обмен (фото-, видео-, геоинформации) в режиме реального времени.

Решение проблемы маскированной передачи визуальной информации в виде снимков элементов вооружения по открытым каналам связи [10], обеспечивающей конфиденциальность информационного обмена на основе псевдослучайных последовательностей и бинарных ортогональных преобразований без сложных криптографических алгоритмов, позволяет реализовать 2-й этап совершенствования информационно-управляющей СППР СУВ образцов АВ, сущность которого представлена ниже.

Схема организации функционирования и информационного обмена между структурными элементами СУВ АВ с учетом перспективных средств связи и обмена информацией представлена на рис. 7.

Основной функционал элементов модели функционирования СУВ остается прежним. Отличительной особенностью, представленной СППР, от предыдущей (рис. 6) является сокращение ЦУВ с трех до одного, разворачиваемого на пункте боевого управления ГрВ(с). Пункты управления уровней армия — бригада переквалифицируются в исполнительные элементы СУВ.

Благодаря использованию защищенных каналов связи появляется возможность обмена информацией внутри СУВ, проведения ее сбора, обработки и поддержки принятия оперативных решений.

Таким образом, внедрение предлагаемой информационно-управляющей СППР в СУВ образцов АВ позволит добиться повышения оперативности восстановления образцов АВ на направлении действия группировки войск (сил).

Список источников

1. Волков В.В., Занчуковский А.В., Шаяхметов И.М. Анализ структуры системы восстановления вооружения, военной и специальной техники и процессов ее функционирования // Актуальные исследования. 2024. № 7 (189). С. 41–44.
2. Наставление по обеспечению боевых действий соединений и частей Сухопутных войск. В 3 ч. Ч. 1. Техническое обеспечение / ГАБТУ Минобороны России. М.: Воениздат, 2014. 200 с.
3. Об утверждении Руководства по материальной части и организации производственного процесса отдельного ремонтно-восстановительного батальона (комплексного ремонта): приказ заместителя Министра обороны Российской Федерации от 07.08.2018 № 555.
4. Тарасенко П.Н., Цыганков В.Н. Перспективные подвижные средства восстановления вооружения и военной техники // Новости науки и технологий. 2009. № 2 (11). С. 26–32.
5. Абросимов В.К., Горский А.С. Методический подход к решению задач классификации систем (технологий) искусственного интеллекта в интересах Вооруженных Сил Российской Федерации // Вооружение и экономика. 2021. № 4 (58). С. 41–48.
6. Соболев Е.Г., Ильин А.В., Шуляева И.И. Эвакупригодность бронетанкового вооружения и техники // Наука и военная безопасность. 2024. № 2 (37). С. 26–31.
7. Соболев Е.Г. Методические аспекты комплексной оценки эксплуатационно-технических свойств объектов ВВТ // Стратегическая стабильность. 2012. № 4 (61). С. 59–66.
8. Алчинов В.И. Информационное обеспечение управления эксплуатацией восстанавливаемых систем. Пенза: Изд-во Пенз. гос университета, 2015. 272 с.
9. Филатов П.В., Полянсков А.В., Ошкин А.А. Особенности диагностирования буксируемых артиллерийских орудий в полевых условиях. Часть II // Материально-техническое

обеспечение Вооруженных Сил Российской Федерации. 2023. № 11. С. 69–76.

10. Гринченко Н.Н. Методы и алгоритмы обработки маскированных изображений при передаче информации по каналам в специальных системах управления: дисс. ... канд. техн. наук. Пенза: Пензенский государственный университет, 2025. 278 с.

References

1. Volkov V.V., Zanchukovsky A.V., Shayakhmetov I.M. Analysis of the structure of the armament recovery system, military and special equipment and its functioning processes // Current research. 2024. No 7 (189). Pp. 41–44.

2. Manual on ensuring the combat operations of formations and units of the Ground Forces. In 3 p. Technical support / GABTU of the Ministry of Defense of Russia. Moscow: Voenizdat, 2014. 200 p.

3. On approval of the Manual on the material and organization of the production process of a separate repair and restoration battalion (complex repairs): Order of the Deputy Minister of Defense of the Russian Federation dated 08/07/2018 No. 555.

4. Tarasenko P.N., Tsygankov V.N. Promising mobile means of restoring weapons and military equipment // News of Science and Technology. 2009. No 2 (11). Pp. 26–32.

5. Abrosimov V.K., Gorsky A. S. Methodological approach to solving problems of classification of artificial intelligence systems (technologies) in the interests of the Armed Forces of the Russian Federation // Armament and Economics. 2021. No 4 (58). 41 p.

6. Sobolev E.G., Ilyin A.V., Shulyaeva I.I. The feasibility of armored weapons and equipment // Science and military security. 2024. No 2 (37). Pp. 26–31.

7. Sobolev E.G. Methodological aspects of a comprehensive assessment of the operational and technical properties of weapons and military equipment facilities // Strategic stability. 2012. No 4 (61). Pp. 59–66.

8. Alchinov V.I. Information support for the management of the operation of recoverable systems. Penza: Penza Publishing House. State University, 2015. 272 p.

9. Filatov P.V., Polyanskov A.V., Oshkin A.A. Diagnostic features of towed artillery guns in the field. Part II // Logistical support of the Armed Forces of the Russian Federation. 2023. No 11. Pp. 69–76.

10. Grinchenko N.N. Methods and algorithms for processing masked images when transmitting information through channels in special control systems: diss. ... Candidate of Technical Sciences. PSU, Penza, 2025. 278 p.

УДК 623-9

doi: 10.53816/23061456_2025_5–6_118

**ОРГАНИЗАЦИЯ ДВОЙНОГО ФУНКЦИОНАЛЬНОГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МОЩНОСТЕЙ
СИСТЕМЫ РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ**

**ORGANIZATION OF A DUAL FUNCTIONAL REDUNDANCY OF THE SYSTEM'S
PRODUCTION CAPACITY REPAIR AND RESTORATION BODIES**

Канд. техн. наук С.А. Бирюков

Ph.D. S.A. Biruykov

Военная академия материально-технического обеспечения им. А.В. Хрулева

В рамках настоящей статьи, на примере мотострелковой или танковой дивизий, являющихся основными оперативными единицами при планировании предстоящих действий, рассмотрен процесс восстановления вооружения, военной и специальной техники по уровням иерархии. Предложены новые требования к резервированию производственных мощностей ремонтно-восстановительных органов и возможные способы их резервирования для обеспечения живучести организационно-технических систем военного назначения, которые обусловлены возможностью применения на любых иерархических уровнях за счет простоты понимания и ограниченного количества анализируемой информации при принятии решения на их применение. При этом, для принятия решения рассматривается функциональное резервирование, ограничиваемое оценкой эффективности применения ремонтно-восстановительных органов в условиях воздействия противника при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Ключевые слова: ремонтно-восстановительный орган, функциональная живучесть, резервирование.

Within the framework of this article, using the example of motorized rifle or tank divisions, which are the main operational units in planning upcoming actions, the process of restoring weapons, military and special equipment by hierarchy levels is considered. New requirements for reserving the production capacities of repair and rehabilitation facilities and possible ways of reserving them to ensure the survivability of military organizational and technical systems are proposed, which are due to the possibility of using them at any hierarchical levels due to the ease of understanding and the limited amount of analyzed information when deciding on their use. At the same time, functional redundancy is considered for decision-making, limited by evaluating the effectiveness of the use of repair and restoration bodies under enemy influence with an established maintenance and repair system.

Keywords: repair and restoration organ; functional survivability, redundancy.

В настоящее время парадигма резервирования каналов и резервных линий связи, а также технических устройств реализована в сложных образцах

техники, линиях коммуникации и в промышленных коммуникациях [1]. В разрезе проблематики исследования живучести организационно-технических

систем военного назначения возникает противоречие в том, что эта парадигма сложно реализуема в архитектуре функционирования системы ремонтно-восстановительных органов (СРВО) входящих в группировку войск, которая предполагает строгую материальную отчетность при реализации процесса восстановления вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ), тем самым запрещая резервные каналы передачи трафика неисправных образцов ВВСТ. Однако живучесть системы, которая может обеспечиваться дублированием ремонтно-восстановительных органов, что в свою очередь возможно только в функционально-полной системе, была и остается базовым требованием руководящих документов. Поэтому для использования системного резервирования в организационно-технических системах военного назначения СРВО необходимы специальные подходы, позволяющие определить возможные пути преодоления противоречия между стандартными алгоритмами решения поставленных задач, определенных при планировании боевых действий, и задач, возникающих в результате резкого изменения оперативной обстановки.

Цель резервирования элементов системы ремонтно-восстановительных органов группировки войск

Резервирование ремонтно-восстановительных подразделений и частей, являющихся элементами СРВО группировки войск (ГВ), осуществляется с целью исключения сценария, который ведет к гибели всей системы. В настоящее время отдельный или линейный ремонтно-восстановительный орган (РВО) выполняет задачи по восстановлению неисправных ВВСТ воинской части, соединения или объединения, в состав которого он входит. При этом РВО находятся на значительном удалении от района выполнения задач боевыми подразделениями и подразделениями боевого обеспечения, а также входит в общую систему восстановления ВВСТ как единственный элемент, способный в кратчайшие сроки выполнить задачу по предназначению. При этом отказ РВО приведет к остановке процесса восстановления и запустит алгоритм восстановления неисправных образцов ВВСТ силами старшего начальника, что повлечет снижение вероятности оперативного восстановления образцов, обеспе-

чивающих боевую готовность [5]. Если же рассматриваемый РВО резервирован другим РВО, который не находится в прямом подчинении старшего начальника, в случае отказа первого элемента система, лишенная двойного резервирования, неминуемо возвращается в исходное состояние. Двойное резервирование становится спасительным оплотом, позволяя системе сохранить свою функциональность, пока происходит восстановление поврежденного компонента.

Резервирование организационно-технической системы позволит достигнуть следующих целей:

- сохранение работоспособности в условиях воздействия противника;
- регулирование нагрузки на СРВО;
- повышение устойчивости к сценариям, ведущим к прямым и каскадным повреждениям.

В строгой иерархической СРВО, подразумевающей монорезервирование силами старшего начальника, производственные мощности которых ограничены, объемы восстанавливаемых образцов ВВСТ ниже, чем в двойно-резервированной системе путем увеличения количества реализуемых алгоритмов функционирования в быстроменяющейся оперативной обстановке. Для гарантированной реализации количественной оценки функциональной живучести [3] в заданный промежуток времени реализуется метод построения гарантированного критерия живучести системы ремонтно-восстановительных органов группировки войск, рассматриваемых как сложная биномиальная структура. В условиях постоянного воздействия противника своевременная корректировка действий приведет к более приемлемым последствиям.

Базовые требования к живучести систем

С целью формирования парадигмы двойного резервирования производственных мощностей СРВО необходимо произвести анализ существующих требований к живучести систем и объектов, а также определить, к каким подсистемам существующей системы технического обеспечения Вооруженных сил Российской Федерации они применимы.

Во-первых, основные требования к живучести элементов СРВО отражены в руководящих документах.

Во-вторых, наряду с этим в нормативной базе и государственных стандартах определены требования, обеспечивающие способность изделия выполнять свои функции в условиях влияния окружающей среды, сопрягаемых и других объектов, а также при возможных повреждениях и в аварийных ситуациях, в подразделе 6.1.4.5 «Требования живучести и стойкости к внешним воздействиям» [4]:

- восстановления и поддержания работоспособности изделия после эксплуатационного повреждения;

- воздействия климатических условий (колебаний и предельных значений температуры, влажности воздуха и атмосферного давления, солнечной радиации, атмосферных конденсированных осадков, агрессивных сред, пыли, воды и т.д.);

- стойкости к воздействию механических нагрузок (вибрационных, ударных, скручивающих, ветровых и др.);

- износостойкости (в том числе к абразивному действию песка и пыли, к воздействию снега, обледенения и др.);

- устойчивости к влиянию внешних физических полей (магнитного, электрического);

- устойчивости к моющим средствам, топливу, маслам, биологическим факторам.

В отличие от гражданской продукции, объекты военного назначения подчиняются строгим государственным стандартам, где живучесть определяется не только влиянием окружающей среды, но и потенциальным воздействием противника или экстремальными условиями эксплуатации.

Таким образом, в подразделе 5.1.4.4 «Требования живучести и стойкости к внешним воздействиям» [5] установлены требования, обеспечивающие способность изделия выполнять свои функции в условиях воздействия противника, влияния окружающей среды (ОС), сопрягаемых и других объектов, а также при боевых повреждениях и в аварийных ситуациях. Номенклатуру, характеристики внешних воздействующих факторов и содержание требований по стойкости устанавливают с учетом требований [6].

Проанализировав изложенное, можно сделать вывод о том, что нормативные правовые акты Российской Федерации не рассматривают требования к живучести сложных организационно-технических систем. Исходя из этого, основываясь на особенностях работы СРВО, а также выполнении сис-

темой определенного функционала, необходимо сформулировать требования к живучести СРВО.

Для реализации этой частной задачи предлагается провести связь с информационными сетями, которые в настоящее время достигли высоких результатов в эффективности передачи информации и дублировании каналов связи, что позволяет не перегружать элементы системы в целом, а проводить перераспределение потоков.

Одним из краеугольных требований к информационным сетям является исключение петель, проблемных замкнутых маршрутов в топологии. Представьте себе лабиринт, где между отправителем и получателем данных нет единственного пути, а лишь его множасьщиеся отражения. Появление такого замкнутого контура — равносильно открытию неуправляемого потока трафика, обрекая сеть на лавинообразную перегрузку. В традиционных информационных системах возникновение подобных петель предотвращают различными способами.

Один из наиболее эффективных — это создание протоколов резервирования, следящих за дублированными каналами связи, с целью недопущения хаоса коллизий. В случае аварийной ситуации они перераспределяют трафик, направляя его в обход разрушенной секции. Протокол резервирования — гарант того, что в каждый момент времени существует лишь один, логически выверенный путь доставки информации, несмотря на физическое изобилие каналов. Из множества путей выбирается тот, который обладает наибольшей пропускной способностью, а остальные являются резервными.

На основе изложенного, можно сформулировать новые требования к живучести сложной организационно-технической системы, представленной в рассматриваемой проблематике СРВО.

1. Наличие резервных логистических линий восстановления неисправного ВВСТ с определенным допустимым значением количественной оценки живучести СРВО.

2. Резервирование должно базироваться на стандартизированном методе или алгоритме обеспечения функциональной живучести СРВО. Только так можно гарантировать унификацию выполнения задач.

Для реализации новых требований к живучести СРВО рассмотрим возможные методы резервирования элементов системы.

**Обоснование
функционального резервирования
производственных мощностей системы
ремонтно-восстановительных органов
группировки войск**

Независимо от сферы применения и целевого назначения систем, во множестве вариантов резервирования выделяются пять основополагающих видов: структурное, временное, функциональное, информационное и нагрузочное [7]. Они имеют пять эманаций избыточности, каждая из которых соответствует своему виду резервирования. К этой квинтэссенции необходимо добавить шестой элемент — алгоритмическую избыточность, пересекающуюся с функциональной, как одну из ее разновидностей.

Структурное и временное резервирование, по сути своей, представляют собой введение в архитектуру системы дополнительных элементов, наделенных способностью зеркально отражать функции основных в случае поражения основного элемента. Эти виды резервирования рассматриваться не будут — так как СРВО является строго определенной количеством элементов, определенных штатной численностью объединений, соединений и частей, выполняющих задачи на оперативных или тактических направлениях.

Информационное резервирование обеспечивается созданием нескольких семантических надежных источников информации, что не позволяет адекватно рассмотреть установленную проблематику исследования, необходимую для достижения цели.

Нагрузочное резервирование напрямую зависит от нормативного использования или применения образца, или системы без учета внешних воздействий, тем самым является основой резервирования теории надежности.

Формулируя вывод о возможности применения резервирования к СРВО, можно утверждать, что функциональное резервирование является оптимальным применительно к рассматриваемой системе, так как гипотетически она функционально избыточна.

Функциональное резервирование имеет место в многофункциональных системах, к которым относятся СРВО, так как восстановление производится нескольких видов ВВСТ (ракетно-артиллерийского, бронетанкового и военной

автомобильной техники), в которой отдельные элементы или подмножества элементов обладают способностью принимать на себя функции поврежденных элементов обусловленную схожестью организационно-штатной структуры, на время восстановления поврежденных элементов, без существенного снижения производственных мощностей системы в целом. При таком подходе к функциональному резервированию не требуется дополнительное создание резервных элементов в отличие от структурного резервирования.

Функциональное резервирование СРВО обеспечивается:

1. Установлением дополнительных связей между элементами и подмножествами системы;
2. Оперативностью и гибкостью перенастройки элементов и подмножеств на выполнение заданной функции.

Характеристики функционального резервирования СРВО.

1. Кратность резервирования, определяемая числом алгоритмов, которыми может быть достигнуто выполнение задачи по функциональному предназначению и количественной оценке СРВО.

2. Сфера применения определяется как общим, так и групповым, покомпонентным дублированием. Общий резерв позволяет компенсировать сбои в любом элементе системы.

Общий резерв способен парировать отказы в любом из элементов системы. Данный способ характерен для уровня заместителя командующего группировкой войск по вооружению и будет представлен далее ввиду большого количества факторов, рассматриваемых в других исследованиях.

Групповой резерв предупреждает отказ только в элементах рассматриваемой группы (подмножества) элементов. В разрезе рассматриваемой проблематики групповое резервирование может быть применено к соединению.

Особенностью резервирования, представленного на рис. 1, является создание вертикальных резервных линий, отображающих принцип того, что старший начальник дублирует производственные мощности подчиненных, что ставит под угрозу возможности восстановления ВВСТ при повреждении нескольких элементов системы восстановления дивизии.

Дисциплина резервирования устанавливает порядок использования избыточных производственных мощностей.



Рис. 1. Существующая система резервирования производственных мощностей мотострелковой (танковой) дивизии

Функциональный резерв используется после того, как исчерпан ресурс производственных мощностей СРВО тактического, оперативного или стратегического уровня, в связи с тем, что переход на другой способ восстановления неисправного ВВСТ связан с ухудшением эффективности резервных элементов. Поскольку дисциплина резервирования — это один из факторов, влияющих на СРВО, для достижения уровня живучести, обеспечивающего бесперебойное функционирование системы, то необходим поиск оптимальной дисциплины резервирования.

Иерархия резервирования создается в соответствии задачам, выполняемым ремонтно-восстановительным органом.

В связи с этим в разрезе рассматриваемой проблематики существуют 3 иерархических уровня резервирования: стратегический, оперативный и тактический.

Требования к функциональному резервированию производственных мощностей СРВО.

1. Условия применения СРВО ГВ и множества подсистем, входящих в нее.

2. Ограничение на совокупные затраты на средства обеспечения живучести (СОЖ).

3. Допустимое снижение эффективности функционирования системы.

4. Реализация способов резервирования.

5. Степень взаимозаменяемости элементов системы.

Способ двойного функционального резервирования производственных мощностей СРВО

Установленный нормативными правовыми актами, приказами и наставлениями, регламентирующими работу отдельных ремонтно-восстановительных органов и системы в целом, порядок, определенный вертикальным резервированием, представленным на рис. 1, ограничивается производственными мощностями ремонтно-восстановительных органов старшего начальника, которые не в состоянии обеспечить оперативность восстановления неисправных ВВСТ при определенных сценариях воздействия противника (рис. 2).

При данном варианте недопустимо даже минимальное время, отводимое на восстановление боеготовности элементов, подвергшихся воздействию противника. В случае реализации этого варианта развития событий, путем решения задачи будет являться применение нового подхода к вопросу доступности к избыточным



Рис. 2. Вариант критического снижения производственных мощностей мотострелковой (танковой) дивизии

производственным мощностям ремонтно-восстановительных органов, не подвергшимся воздействию противника. Основой предлагаемого подхода является наличие минимум двух одновременно активных соединений между двумя элементами системы таким образом, что при выходе из строя одного из них восстановление неисправных ВВСТ производится не менее чем по двум резервным каналам. Старший начальник с помощью протокола резервирования принимает решение на активацию второго (горизонтального) канала резервирования производственных мощностей при невозможности функционировать первому (вертикальному) каналу резервирования (рис. 3).

Данный способ резервирования отличается от существующего наличием двух параллельных линий резервирования с топологией, установленной должностным лицом, не имеющей ограничений кольцами и другими структурами. Две параллельные подсистемы СРВО могут быть не зарезервированы.

Вывод: принципиальное преимущество двойного резервирования производственных мощностей системы ремонтно-восстановительных органов заключается в отсутствии не-

обходимого значительного запаса времени переключения с основной на резервную линию. Высокий уровень доступности двойного резервирования соблюдается при условии, что рассматриваемые РВО, объединенные в СРВО, не могут отказать одновременно, также не требуется затрат на оборудование, инфраструктуру и сетевые компоненты дублирующих элементов, рис. 4.

Способ бесшовного двойного функционального резервирования производственных мощностей СРВО

Бесшовное двойное функциональное резервирование (БДФР) — дальнейшее развитие идеи двоичного функционального резервирования (ДФР). Применение ДФР приемлемо для оперативного и стратегического уровня, однако опыт специальной военной операции показал, что линейные подразделения ремонтной роты мотострелкового (танкового) полка располагаются в районах со значительным удалением друг от друга, поэтому резервирование целесообразно проводить по признаку восстановления определенных видов ВВСТ, что в свою очередь являет-

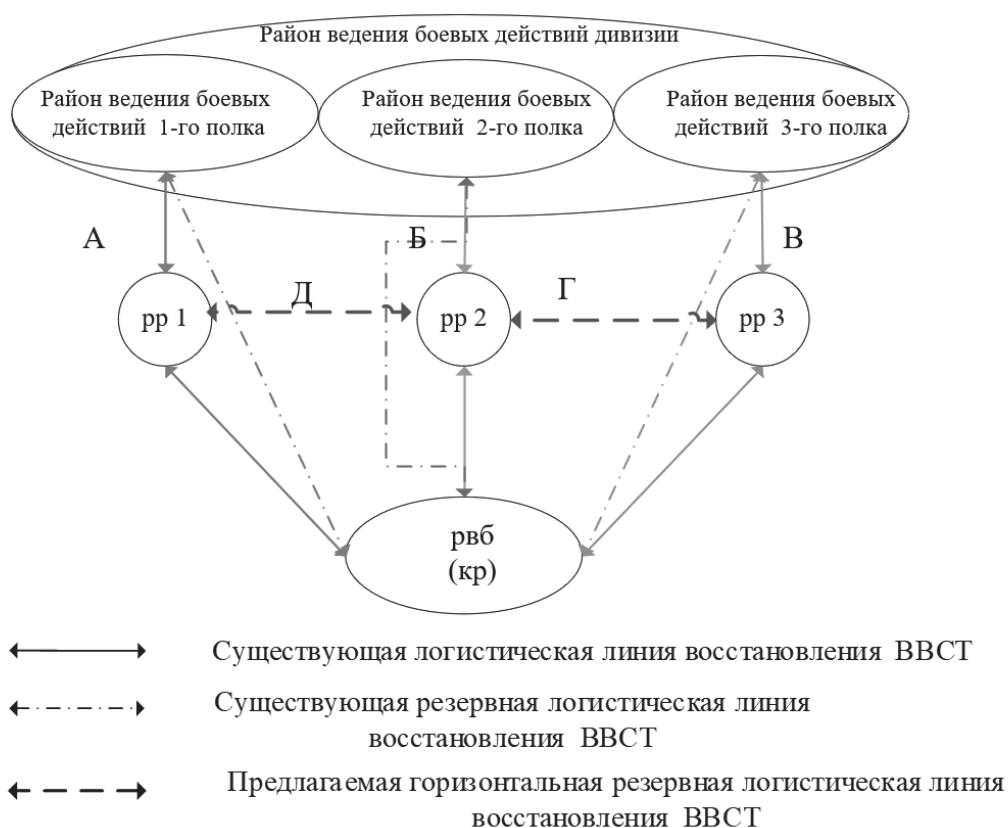


Рис. 3. Способ двойного функционального резервирования производственных мощностей мотострелковой (танковой) дивизии

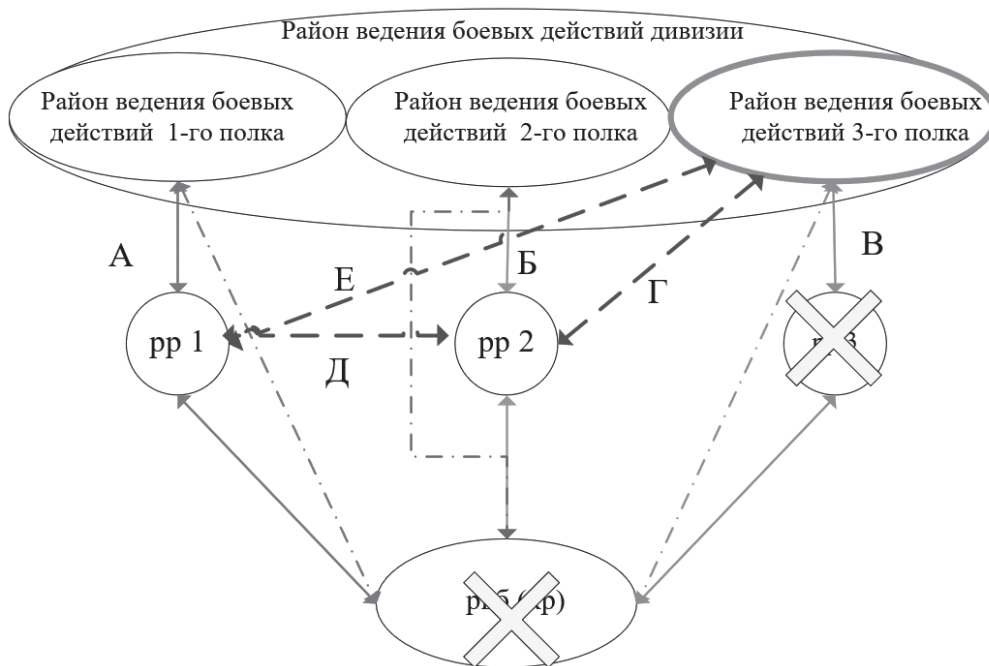


Рис. 4. Вариант применения двойного функционального резервирования производственных мощностей мотострелковой (танковой) дивизии при критическом воздействии на ремонтно-восстановительные органы

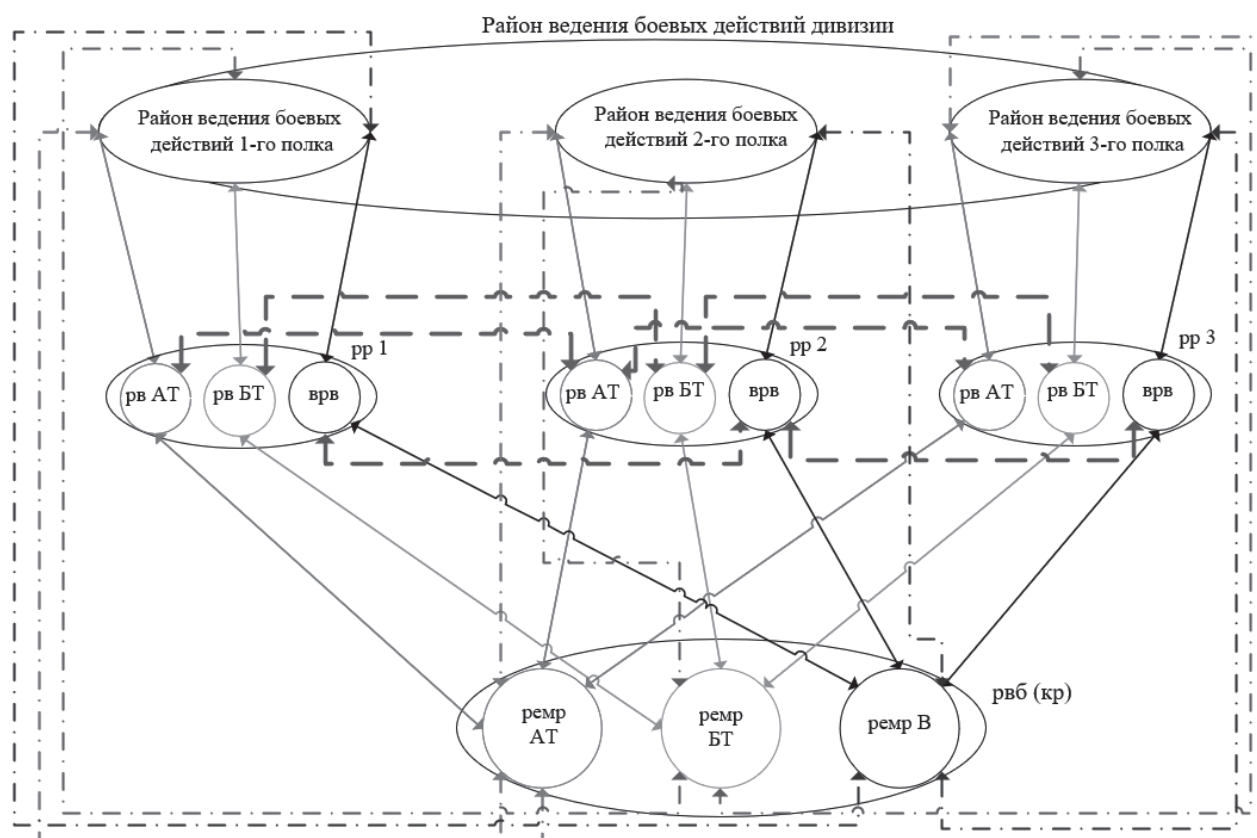


Рис. 5. Вариант применения бесшовного двойного функционального резервирования производственных мощностей мотострелковой (танковой) дивизии

ся сущностью БДФР. В отличие от ДФР способ БДФР разработан для кольцевой топологии рассматриваемой подсистемы. При этом используется несколько сетевых линий резервирования у РВО тактического звена, в виде цепочки, замкнутой в кольцо (рис. 5).

При этом в подсистему восстановления ВВСТ *мсд (мд)* включены следующие элементы: ремонтные роты 1, 2 и 3 полков, состоящие из ремонтного взвода автомобильной техники (*рв АТ*), ремонтного взвода бронетанковой техники (*рв БТ*) и взвода ремонта вооружения, а также ремонтно-восстановительный батальон, состоящий из ремонтной роты автомобильной техники (*ремр АТ*), ремонтной роты бронетанковой техники (*ремр БТ*) и роты ремонта вооружения (*ремр В*).

В предлагаемом варианте способа БДФР организована взаимосвязь между ремонтно-восстановительными подразделениями следующим образом: неисправная АТ 1 *мсп (тп)* восстанавливается *рв АТ*, который вертикально резервируется

ремр АТ *рвб*, горизонтальное резервирование производится *рв АТ 2 мсп (тп)* и *рв АТ 3 мсп (тп)*; неисправная БТ 1 *мсп (тп)* восстанавливается *рв БТ*, который вертикально резервируется *ремр БТ рвб*, горизонтальное резервирование производится *рв БТ 2 мсп (тп)* и *рв БТ 3 мсп (тп)*; неисправное ремонтно-артиллерийское вооружение (РАВ) 1 *мсп (тп)* восстанавливается *врв*, который вертикально резервируется *ремр В рвб*, горизонтальное резервирование производится *врв 2 мсп (тп)* и *врв 3 мсп (тп)*, рис. 5.

Аналогично резервируются производственные мощности 2 и 3 *мсп (тп)*, что подтверждает кольцевую топологию рассматриваемой подсистемы в общем СРВО ГВ.

Выводы

В связи с огромным количеством и постоянной эволюцией форм и способов ведения войны, на практике не существует идеальной сетевой топологии и идеального способа

резервирования, удовлетворяющего всем существующим требованиям к резервированию элементов систем военного назначения. Правильный выбор топологии подсистемы и способа резервирования зависит от многих факторов, таких как расположение на местности, удаление от линии боевого соприкосновения, наличие специалистов-ремонтников.

Способы ДФР и БДФР являются новыми и перспективными. Они применимы на всех уровнях управления и обеспечивают функционирование СРВО в рассматриваемом периоде времени.

Список источников

1. ГОСТ Р 27.102–2021. Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения. М.: Российский институт стандартов, 2021. 40 с.
2. Бирюков С.А., Макаров А.Д., Мингалев А.Ю. Организация постановки научной задачи исследования // Известия Международной академии аграрного образования. 2021. № 53. С. 55–57.
3. Бирюков С.А. Функциональная живучесть системы ремонтно-восстановительных органов группировки войск на основе имеющейся избыточности: научная статья // Актуальные проблемы военно-научных исследований. 2025. № 1 (33). С. 109–116.
4. ГОСТ 15.016–2016. Система разработки и постановки продукции на производство. Техническое задание. Требования к содержанию и оформлению. М.: Стандартинформ, 2017. 30 с.
5. ГОСТ 21964–76. Внешние воздействующие факторы. Номенклатура и характеристика. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1989. 31 с.
6. ГОСТ РВ 20.39.304–98. Комплексная система общих технических требований. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военно-

го назначения. Требования стойкости к внешним воздействующим факторам. М.: Стандартинформ, 2015, 54 с.

7. Р 50-54-82-88. Надежность в технике. Выбор способов и методов резервирования. Рекомендации. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1988. 94 с.

References

1. GOST R 27.102–2021. Reliability in technology. Reliability of the object. Terms and definitions. Moscow: Russian Institute of Standards, 2021. 40 p.
2. Biryukov S.A., Makarov A.D., Mingalev A.Y. Organization of the formulation of a scientific research task: a scientific article // Proceedings of the International Academy of Agrarian Education. 2021. No 53. Pp. 55–57.
3. Biryukov S.A. Functional survivability of the system of repair and restoration organs of a group of troops based on redundancy systems: a scientific article // Actual problems of military scientific research. 2025. No 1 (33). Pp. 109–116.
4. GOST 15.016–2016. System of development and placement of products into production. Technical task. Requirements for content and design. Moscow: Standardinform, 2017. 30 p.
5. GOST 21964–76. External influencing factors. Nomenclature and characterization. Moscow: USSR State Committee for Standards, 1989. 31 p.
6. GOST RV 20.39.304–98. Comprehensive system of general technical requirements. Apparatus, instruments, devices and equipment for military use. Requirements of resistance to external influencing factors. Moscow: Standardinform, 2015, 54 p.
7. Р 50-54-82-88. Reliability in technology. Selection of redundancy methods and techniques. Recommendations. Moscow: USSR State Committee for Standards, 1988. 94 p.

УДК 623.483

doi: 10.53816/23061456_2025_5–6_127

**НАЗНАЧЕНИЕ СПЕЦИАЛИСТОВ-РЕМОНТНИКОВ НА ВЫПОЛНЕНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ РЕМОНТА ОБРАЗЦОВ
АРТИЛЛЕРИЙСКОГО ВООРУЖЕНИЯ С УЧЕТОМ КВАЛИФИКАЦИИ
И МИНИМАЛЬНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ РАБОТ**

**APPOINTMENT OF REPAIR SPECIALISTS TO PERFORM TECHNOLOGICAL
OPERATIONS FOR REPAIRING ARTILLERY WEAPONS SAMPLES, TAKING
INTO ACCOUNT THE QUALIFICATIONS AND MINIMUM DURATION OF WORK**

Канд. техн. наук П.В. Филатов

Ph.D. P.V. Filatov

Филиал Военной академии материально-технического обеспечения им. А.В. Хрулева (г. Пенза)

Рассмотрено решение многокритериальной задачи поддержки оперативного управления ремонтом артиллерийских орудий в ремонтно-восстановительном органе (РВО). Разработан метод информационно-аналитической поддержки управления восстановлением артиллерийского вооружения, обеспечивающий повышение коэффициента сохранения эффективности образцов за счет сокращения времени восстановления путем рационального распределения специалистов службы ракетно-артиллерийского вооружения и выполняемых ими технологических операций на участках РВО с учетом стохастичности процесса восстановления. Для реализации метода разработаны: функциональная и математическая модели; алгоритм решения оптимизационной задачи; методика формирования и визуализации технологического графика и маршрутно-технологических карт.

Ключевые слова: ремонт артиллерийских орудий, оперативное управление, метод информационно-аналитической поддержки.

The solution of the multi-criteria task of supporting the operational management of the repair of artillery guns in the repair and restoration authority is considered. A method of information and analytical support for the management of the restoration of artillery weapons has been developed, which ensures an increase in the coefficient of conservation of the effectiveness of samples by reducing the recovery time through the rational distribution of specialists from the missile and artillery armament service and their technological operations in the repair and restoration authority sites, taking into account the stochasticity of the restoration process. To implement the method, we have developed: functional and mathematical models; an algorithm for solving an optimization problem; a methodology for forming and visualizing a technological graph and route-technological maps.

Keywords: repair of artillery guns, operational management, information and analytical support method.

Правильное сочетание и расположение в пространстве основных факторов производства ремонта артиллерийского вооружения (АВ)

является главным условием рациональной организации восстановления образцов в ремонтном подразделении.

Для этого, во-первых, необходимо правильно распределить весь ремонтный фонд, установить специализацию подразделений — участков (постов) ремонта, а также кооперацию внутри них и между отдельными специалистами-ремонтниками. Особо тщательной проработки требуют вопросы кооперации и взаимодействия между специалистами, ремонтирующими разные типы образцов АВ, разные части одних и тех же комплексных артиллерийских орудий (АО), таких как, например, специальной артиллерийской части орудий и их средств подвижности.

Во-вторых, установить пропорциональность между звеньями (частями) технологического процесса и специалистами РВО, а также правильное сочетание труда ремонтников с орудиями и предметами труда, то есть взаимодействие специалистов между собой и материальными, вещественными факторами производства ремонта.

В-третьих, необходимо обеспечить непрерывность процесса производства ремонта, не допускать простоя специалистов и орудий труда (оборудования), а также «пролеживания» предметов труда (объектов ремонта).

В ходе анализа последних локальных войн и вооруженных конфликтов стало очевидным, что показатель стоимости ремонта не может быть главным при планировании мероприятий восстановления ремонтного фонда. Такой критерий не может приниматься за основной, так как за выполнением любой задачи стоят человеческие жизни. В качестве основного критерия, определяющего эффективность планируемых мероприятий восстановления артиллерийских орудий, должен выступать показатель времени, который необходимо обратить в минимум. Другим показателем эффективности в условиях противодействия противника необходимо считать вероятность успешного восстановления (АО) за заданное время, который при управлении восстановлением необходимо обратить в максимум. Также желательно, чтобы потери средств восстановления были бы минимальными. Кроме того, целесообразно максимально сократить время простоя специалистов для обеспечения оперативности ремонта всех АО, находящихся в подразделении. Стоимость ремонта не следует исключать, а целесообразно учитывать ее в качестве дополнительного пока-

зателя разрабатываемых планов ремонта после всех изложенных. Стоимость ремонта необходимо минимизировать. Такая множественность показателей эффективности восстановления, из которых одни желательно обратить в максимум, а другие — в минимум, характеризует информационно-аналитическое обеспечение организации ремонта АВ как сложную задачу исследования операций.

Задача поддержки оперативного управления ремонтом АВ в РВО является многокритериальной или векторной задачей, а наличие в ней случайных величин, таких как вероятность восстановления за заданное время, вероятные потери при ремонте, случайное время восстановления, делает ее стохастической.

Для решения указанной задачи разработан метод информационно-аналитической поддержки управления восстановлением АВ, обеспечивающий повышение коэффициента сохранения эффективности образцов за счет сокращения времени восстановления путем рационального распределения специалистов службы ракетно-артиллерийского вооружения (РАВ) и выполняемых ими технологических операций (ТОп) на участках РВО с учетом стохастичности процесса восстановления. Сущность метода состоит в следующем:

- 1) в разработке функциональной модели системы оперативного управления проведением ремонтных работ;
- 2) в разработке математической модели восстановления образцов АВ;
- 3) в создании алгоритма решения оптимизационной задачи распределения работ по критерию времени восстановления в стохастической постановке для выбора наилучшего плана организации технологического процесса производства ремонта;
- 4) в разработке методики формирования и визуализации технологического графика (ТГ) и маршрутно-технологических карт (МТК) выполнения операций восстановления АВ специалистами РВО.

Функциональная модель системы оперативного управления проведением ремонтных работ с АВ описывает совокупность выполняемых системой и ее элементами функций. Взаимодействие между специалистами службы РАВ осуществляется через должностных лиц, а именно:

начальника службы РАВ, командира РВО, командира ремонтной роты вооружения (командира ремонтного взвода вооружения).

В результате обобщения описания элементов системы оперативного управления проведением ремонтных работ с образцами и их связей построена функциональная модель системы управления восстановлением АВ (рис. 1).

Для формирования математической модели восстановления образцов АВ необходимо найти такую совокупность параметров системы восстановления АВ, при которых коэффициент технической готовности артиллерийских формирований направления группировки войск (сил) ГрВ(с) будет максимальным, причем затраты средств и времени не должны превышать заданных значений, то есть

$$(K_{\text{ТГ}} \rightarrow \max), C_{\text{В}} \leq C_{\text{В}}^{\text{ТР}}, T_{\text{В}} \leq T_{\text{расп}}.$$

В военное время эффективность использования образцов АВ оценивается коэффициентом сохранения эффективности [1] за время боевой операции t_{60} . Это время может измеряться продолжительностью фронтовой (армейской) операции. В этом случае плановые технические обслуживания (ТО-1, ТО-2) и ремонты (СР, КР) не проводятся, хранение также отсутствует. Поэтому коэффициент сохранения эффективности для военного времени определяется по формуле

$$K_{\text{эф}} = K_{\text{ТГ}}(t_{60}) \cdot P_{\text{оз}}(t_{60}), \quad (1)$$

где $K_{\text{ТГ}}(t_{60})$ — коэффициент технической готовности;

$P_{\text{оз}}(t_{60})$ — вероятность успешного функционирования (боевого использования) АВ в интервале времени от t до t_3 .

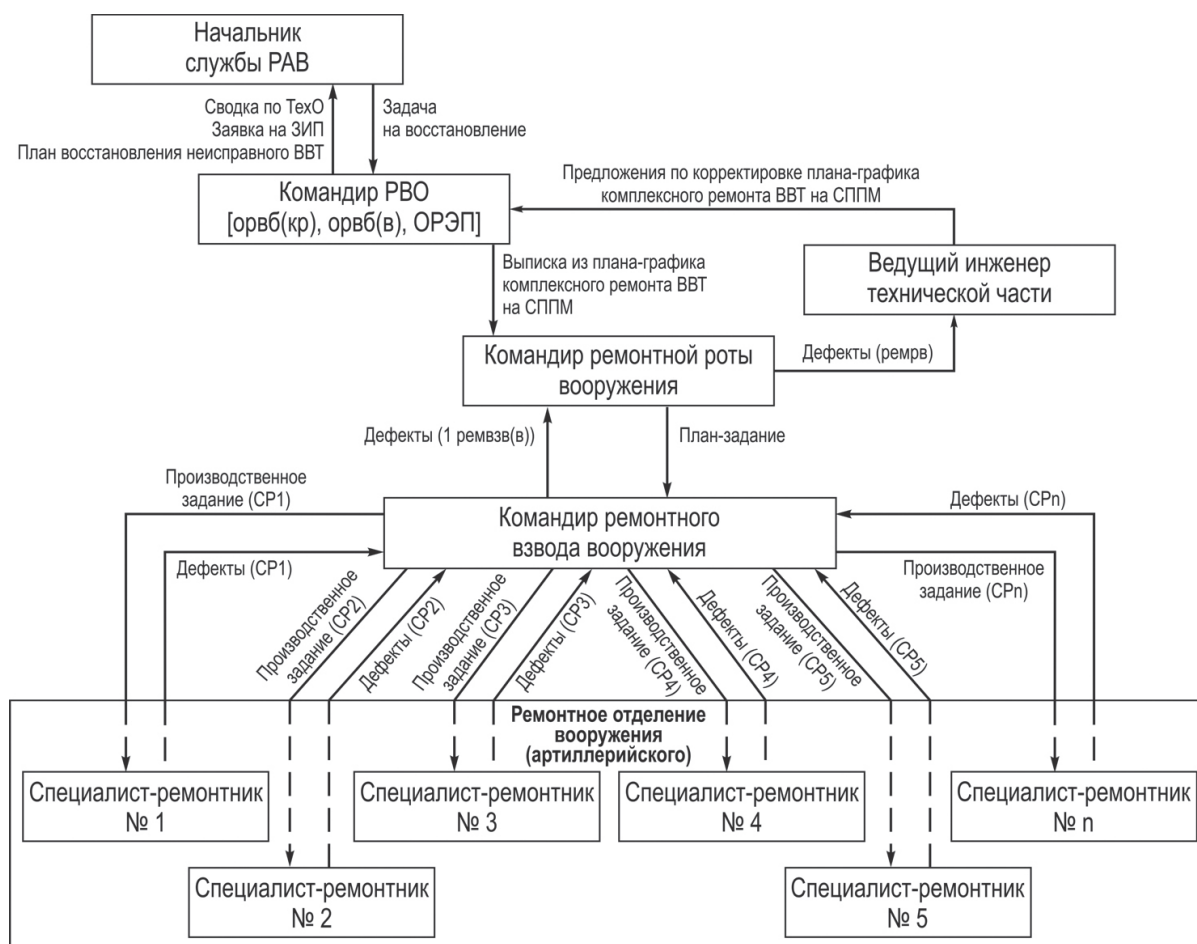


Рис. 1. Функциональная модель системы управления восстановлением артиллерийского вооружения в орвб(кр)

Коэффициент технической готовности [2] определяется по формуле

$$K_{\text{ТГ}} = K_{\text{ПП}} \cdot K_{\text{Г}},$$

где $K_{\text{ПП}}$ — коэффициент планируемого применения образцов АВ определенной номенклатуры;

$K_{\text{Г}}$ — коэффициент готовности.

Частными критериями коэффициента технической готовности, зависящими от эффективности системы управления восстановлением АВ, являются:

– коэффициент планируемого применения образцов АВ $K_{\text{ПП}}$;

– коэффициент готовности $K_{\text{Г}}$.

Согласно [2] коэффициент планируемого применения вооружения — это доля определенного периода эксплуатации, в течение которого образцы вооружения не должны находиться на плановых видах технического обслуживания (ТО-1, ТО-2) или ремонта (СР, КР). Коэффициент планируемого применения определяется по формуле

$$K_{\text{ПП}} = 1 - \frac{T_{\text{ТО}} + T_{\text{В}}}{T_{\text{СР}}},$$

где $T_{\text{ТО}}$ — время технического обслуживания образцов АВ;

$T_{\text{В}}$ — время восстановления АВ;

$T_{\text{СР}}$ — время средней наработки на отказ.

Время технического обслуживания образцов при подготовке к применению определяется выражением

$$T_{\text{ТО}} = t_{\text{инф}} + t_{\text{реш}} + t_{\text{п}},$$

где $t_{\text{инф}}$ — время получения информации;

$t_{\text{реш}}$ — время принятия решения;

$t_{\text{п}}$ — время подготовки АВ к стрельбе (контрольного осмотра перед стрельбой).

Коэффициент готовности определяется по формуле

$$K_{\text{Г}}(t_{\text{бo}}) = \frac{\hat{T}(t_{\text{бo}})}{\hat{T}(t_{\text{бo}}) + \hat{T}_{\text{В}}(t_{\text{бo}})}, \quad (2)$$

где $\hat{T}(t_{\text{бo}})$ — средняя наработка на отказ (повреждение) за время $t_{\text{бo}}$. Здесь учитываются экс-

плуатационные отказы и боевые повреждения, полученные за время $t_{\text{бo}}$;

$\hat{T}_{\text{В}}(t_{\text{бo}})$ — среднее время восстановления всех отказов (повреждений) за время $t_{\text{бo}}$ (здесь могут быть ТР и СР).

Показатель $P_{\text{оз}}(t_{\text{бo}})$ в формуле (1) учитывает вероятность восстановления $P_{\text{В}}(t_{\text{бo}})$ изделий за $t_{\text{бo}}$ и определяется по зависимости

$$P_{\text{оз}}(t_{\text{бo}}) = P(t_{\text{бo}}) + Q(t_{\text{бo}}) \cdot P_{\text{В}}(t_{\text{бo}}).$$

Здесь $P(t_{\text{бo}})$ и $Q(t_{\text{бo}})$ — вероятности безотказной работы и отказа (повреждения) за время операции $t_{\text{бo}}$; $P_{\text{В}}(t_{\text{бo}})$ — вероятность восстановления за время операции $t_{\text{бo}}$.

Величина наработки на отказ (повреждение) в формуле (2) определяется по статистической зависимости

$$T(t_{\text{бo}}) = \frac{t_{\Sigma}}{r(t_{\Sigma})},$$

где t_{Σ} — суммарная наработка (календарное время) за время операции $t_{\text{бo}}$;

$r(t_{\Sigma})$ — общее количество всех отказов (повреждений) за время t_{Σ} .

Цель функционирования системы управления восстановлением АВ сводится к сокращению продолжительности времени восстановления $T_{\text{В}}$. В связи с этим выразим коэффициент технической готовности через продолжительность времени подготовки и восстановления:

$$K_{\text{ТГ}} = \left(1 - \frac{t_{\text{инф}} + t_{\text{реш}} + t_{\text{п}} + T_{\text{В}}}{T_{\text{СР}}} \right) \cdot \frac{T}{T + T_{\text{В}}}. \quad (3)$$

Из выражения (3) следует, что уменьшение времени на подготовку и восстановление позволяет увеличить коэффициент технической готовности и, соответственно, коэффициент сохранения эффективности АВ во время проведения операции.

Структура математической модели, разработанной на основе функциональной модели, имеет вид, представленный на рис. 2.

В соответствии с рассмотренными показателями сформулирована задача информационно-аналитической поддержки восстановления АВ за минимальное время.

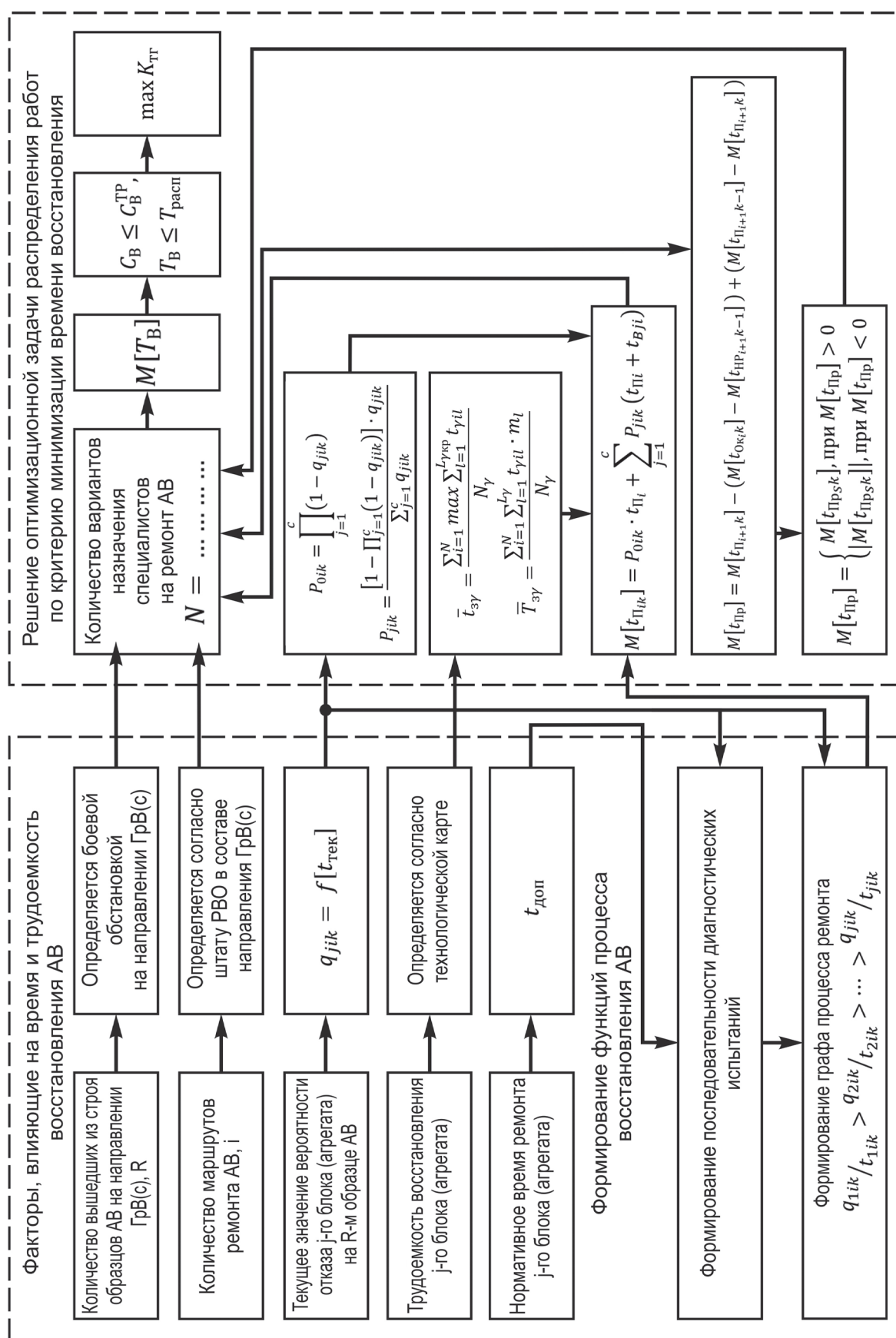


Рис. 2. Структура математической модели системы восстановления артиллерийского вооружения

С учетом условий сформулированной задачи значения показателей, оказывающих влияние на время восстановления, которое в свою оче-

редь влияет на коэффициент технической готовности артиллерийских подразделений, можно выразить:

$$\left\{ \begin{array}{l} K_{\text{ТГ}} \rightarrow \max; \\ T_{\text{в}} = f(K_i, i, k, t_{\text{П}i}, q_{jik}, t_{\text{В}ji}) \rightarrow \min; \\ \text{при} \\ K_i \text{ — количество специалистов на } i\text{-м маршруте ремонта } K_i = 1; \\ i \text{ — количество маршрутов ремонта, } i = 1, \dots, 5; \\ k \text{ — количество ремонтируемых орудий, } k = 1, \dots, 4; \\ t_{\text{П}i} > 0 \text{ — время выполнения операции на } i\text{-м маршруте;} \\ q_{jik} \geq 0 \text{ — текущее значение вероятности отказа элемента орудия;} \\ t_{\text{В}ji} \text{ — время восстановления узла (блока).} \end{array} \right.$$

Задача распределения специалистов по технологическим операциям ремонта АВ может быть сведена к задаче о назначениях линейного программирования [3] — разновидности классической транспортной задачи, хотя она и не имеет ничего общего с транспортировкой грузов.

Задача о назначениях формулируется следующим образом [4]. Имеется m групп исполнителей ($i = 1, \dots, m$), по S_i специалистов в каждой группе и n ремонтируемых изделий АВ (категорий работ) ($j = 1, \dots, n$) по D_j технологических операций в каждой. Производительность специалиста i -й группы определяется коэффициентом производительности (КПр), зависящим от занимаемой штатной должности: для командира ремонтного взвода, заместителя командира ремонтного взвода и командиров ремонтных отделений КПр = 1,0; для старшего мастера КПр = 0,95; для мастера КПр = 0,9; для слесаря КПр = 0,7; для водителя КПр = 0,5. Продолжительность t_{ij} выполнения одной технологической операции j -го изделия АВ зависит от коэффициента производительности КПр специалиста i -й группы и трудоемкости ремонта всего изделия Tr_j :

$$t_{ij} = \frac{Tr_j}{D_j \cdot \text{КПр}_i}.$$

Предполагается, что количество исполнителей в точности равно количеству работ (технологических операций):

$$\sum_{i=1}^m S_i = \sum_{j=1}^n D_j,$$

а каждая технологическая операция должна быть обязательно выполнена.

Известна стоимость затрат c_{ij} на выполнение каждой группой специалистов технологических операций на каждом изделии АВ. Таблица (матрица) стоимостей затрат c_{ij} задана:

$$\left\| \begin{array}{cccc} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{m1} & c_{m2} & \dots & c_{mn} \end{array} \right\|.$$

Требуется составить такой план расстановки специалистов, при котором все технологические операции на каждом изделии АВ были бы выполнены, и при этом общая стоимость всех затрат была минимальна. В ходе последних локальных войн и вооруженных конфликтов в качестве основного критерия, определяющего эффективность планирования восстановления образцов, выступает показатель времени, который также необходимо обратить в минимум. При этом должны учитываться два условия:

— число специалистов из каждой группы, назначенных на выполнение работ на различных изделиях, должно быть равно размеру группы;

– число работ на каждом изделии АВ, распределенных между специалистами, должно быть равно общему количеству работ на этом изделии АВ.

Наилучшим планом назначения специалистов по работам (количество назначенных специалистов из каждой группы на ремонтируемое изделие АВ описывается переменной x_{ij}) будет считаться такой план, при котором математическое ожидание (МОЖ) времени окончания всех ремонтных работ было бы минимальным. Такая задача, где оптимальным считается план с минимальным временем T , называется задачей о назначении по критерию времени [5].

Требуется найти такие назначения переменной x_{ij} , чтобы выполнялись балансовые условия

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n x_{ij} = S_i, (i=1, \dots, m); \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} = D_j, (j=1, \dots, n), \end{cases} \quad (4)$$

и, кроме того, обращалось бы в минимум МОЖ времени окончания всех работ $M[T_B]$. Дополнительно, на значения самих назначений на работы x_{ij} накладывается очевидное ограничение

$$x_{ij} \geq 0. \quad (5)$$

Выразим МОЖ суммарного времени восстановления образцов АВ в РВО $M[T_B]$ через МОЖ времен выполнения работ (технологических операций) t_{ij} и значения переменной x_{ij} . Так как все работы заканчиваются в момент, когда кончается самая длительная из них в маршрутах ремонта, то МОЖ времени восстановления $M[T_B]$ есть максимальное из всех МОЖ времен t_{ij} , стоящих в ячейках, содержащих ненулевые работы

$$M[T_{\hat{A}}] = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot t_{ij}, \quad x_{ij} > 0, \quad (6)$$

где знак $x_{ij} > 0$ показывает, что берется максимальное не из всех t_{ij} , а только из тех маршрутов ремонта, для которых работы отличны от нуля.

Необходимо составить такой план назначений на работы x_{ij} , для которого МОЖ суммарного времени восстановления АВ $M[T_B]$ обращается в минимум:

$$M[T_{\hat{A}}] = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot t_{ij} \rightarrow \min, \quad x_{ij} > 0. \quad (7)$$

Из всех решений, удовлетворяющих условию (7), необходимо выбрать такое, чтобы общая стоимость всех работ C не превышала заданного значения C_{3AD} , то есть

$$C < C_{3AD}. \quad (8)$$

Под стоимостью работ может подразумеваться не только их денежное выражение, а, например, количество материальных средств, необходимое для производства ремонтных работ.

Вероятность выявления скрытых дефектов P_{Def} при ремонте узлов и агрегатов изделий АВ должна быть максимальной, то есть

$$P_{Def} \rightarrow \max. \quad (9)$$

Поставленная задача не является задачей линейного программирования, так как величина T_B не является линейной функцией переменных x_{ij} .

Анализ выражения целевой функции и ограничений (4), (6), (7), (8), (9) и граничных условий (5) позволил классифицировать сформулированную задачу о назначениях как задачу нелинейного программирования с векторной целевой функцией в стохастической постановке.

Алгоритм решения оптимизационной задачи распределения работ по критерию времени восстановления в стохастической постановке подробно рассмотрен в [6]. Кроме того, разработанный алгоритм реализован в виде программы для ЭВМ [7].

В рамках реализации рассматриваемого метода разработан алгоритм [8] формирования МТК восстановления АВ с учетом вероятностей выявления скрытых дефектов конкретных элементов образца АВ и времени их устранения (рис. 3), обеспечивающий сокращение общего времени восстановления.

Алгоритм имеет следующую последовательность действий.

1. Ввод исходных данных.

Исходными данными являются:

– количество маршрутов ремонта i ;

– время выполнения t -й ТОп на i -м маршруте

те — $t_{ТОп_i}$;



Рис. 3. Алгоритм формирования МТК с учетом вероятностей выявления скрытых дефектов

– текущее значение вероятности выявления скрытого дефекта j -го блока на i -ом маршруте k -го образца — t_{Bji} ;

– среднее значение времени восстановления j -го блока (системы) на i -м маршруте k -го образца — q_{jik} .

2. Деление ТОп на группы, в зависимости от влияния на них факта обнаружения и устранения скрытого дефекта в процессе выполнения последующих ТОп.

Первая группа — операции, которые не требуют повторного выполнения, то есть при выявлении скрытого дефекта после его устранения необходимо выполнить ТОп, при выполнении которой был выявлен дефект; работы, которые были выполнены ранее, повторному выполнению не подлежат.

Вторая группа — операции, которые требуют повторного выполнения, то есть при выявлении дефекта, после его устранения необходимо заново выполнить все ТОп, которые были завершены ранее.

3. Определение очередности выполнения ТОп на основе значений вероятностей выявления скрытого дефекта. Очередность данных работ устанавливается строго в порядке убывания отношения вероятности обнаружения дефекта к времени устранения

$$\frac{q_{1ik}}{t_{1ik}} > \frac{q_{2ik}}{t_{2ik}} > \dots > \frac{q_{jik}}{t_{jik}}.$$

4. Формирование МТК выполнения работ с указанием очередности выполнения ТОп. При этом ТОп, относящиеся к первой группе, проводятся в первую очередь, а затем относящиеся ко второй группе, и очередность данных операций устанавливается в порядке убывания отношений вероятностей отказа к времени их устранения (рис. 4).

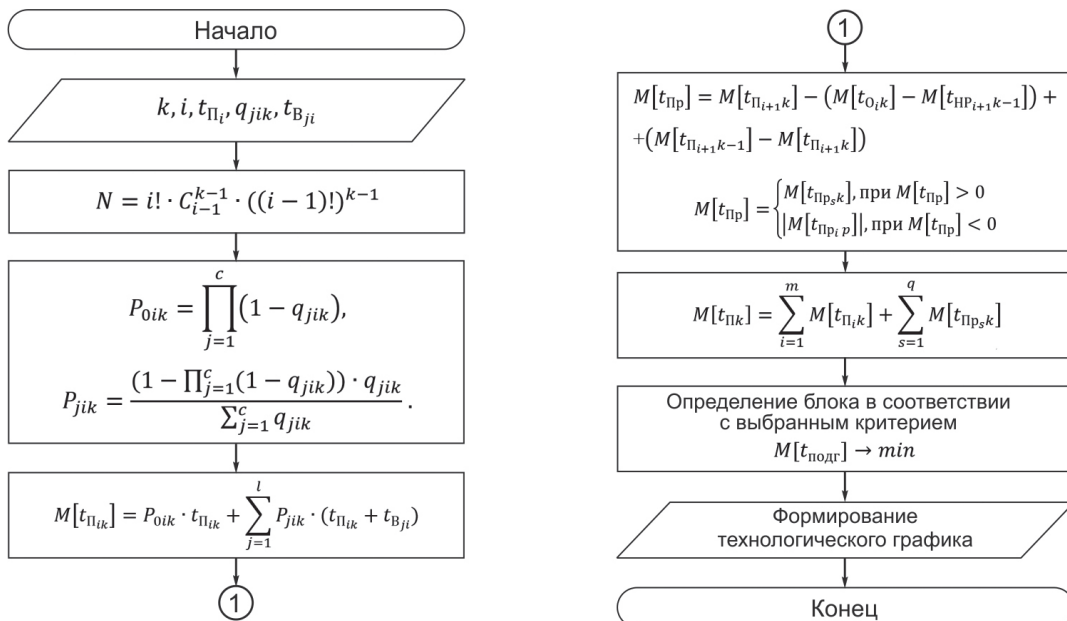


Рис. 4. Алгоритм формирования ТГ с учетом вероятностей отказов и времени их восстановления

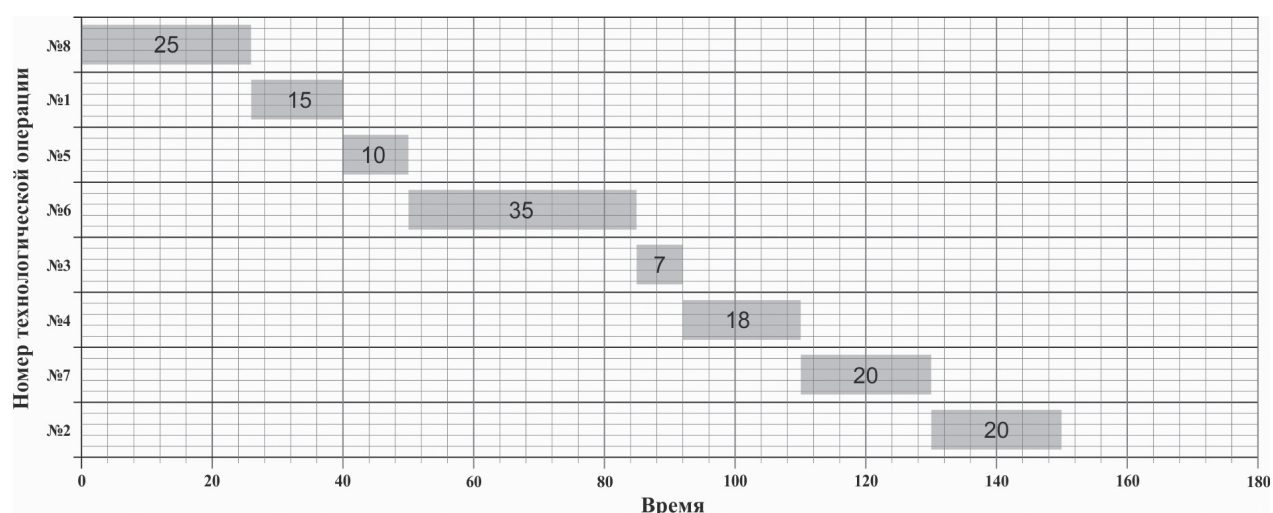


Рис. 5. Очередность выполнения ТОп специалистами РО с учетом вероятности выявления скрытых дефектов на первом изделии

Пример построения технологического графика (ТГ) в виде графика Ганта [9] приведен на рис. 5.

Учет вероятности выявления скрытого дефекта и степени влияния факта его обнаружения и устранения в процессе выполнения технологических операций позволяет определить рациональную последовательность выполнения работ специалистами ремонтного органа (РО) по критерию минимум времени выполнения в случае выявления скрытого дефекта.

Таким образом использование разработанного метода информационно-аналитической поддержки управления восстановлением АВ для решения многокритериальной задачи поддержания оперативного управления ремонтом АВ в РВО обеспечивает повышение коэффициента сохранения эффективности [10] образцов АВ за счет сокращения времени восстановления путем рационального распределения специалистов службы РАВ, ремонтных органов и выполняемых ими технологических операций на участках ремонта с учетом стохастичности процесса восстановления.

Систему поддержки принятия решений (СППР) на основе разработанного метода предлагается внедрить в ремонтно-восстановительных частях всех уровней ответственности. СППР данного уровня, основываясь на получении диагностической информации и базе данных о возможностях сил и средств ремонтных

подразделений части, трудоемкости ремонта поступившего ремонтного фонда, обеспечивают подготовку предложений о назначении специалистов-ремонтников на выполнение технологических операций с учетом их квалификации и достижения минимальной продолжительности ремонта образцов, находящихся в ремонтном подразделении. Одной из возможностей СППР является формирование и выдача суточного производственного задания каждому специалисту и контроль его выполнения в автоматизированном режиме.

Список источников

1. Чухнин В.Н. Теоретические основы надежности вооружения: учеб. пособие. Пенза: ПАИИ, 2004. 246 с.
2. ГОСТ Р 56111–2014. Номенклатура показателей эксплуатационно-технических характеристик. М.: Стандартинформ, 2015. 15 с.
3. Мадера А.Г. Математические модели и принятие решений в управлении: Руководство для топ-менеджеров: учебник. М.: Ленанд, 2022. 688 с.
4. Фролова Г.Н., Каньшина З.И., Подолько Е.А. Методы оптимальных решений: учеб.-метод. пособие. Благовещенск: ДальГАУ, 2015. 56 с.
5. Мадера А.Г. Количественные методы разработки и принятия решений в менеджменте:

Компьютерное моделирование в Microsoft Excel: практикум. М.: Ленанд, 2024. 120 с.

6. Филатов П.В., Алчинов В.И. Алгоритм решения оптимизационной задачи распределения работ по критерию минимизации времени восстановления // Труды МВАА. 2024. № 2. С. 232–237.

7. Решение задачи нелинейного программирования о назначениях по критерию времени в стохастической постановке: свид. о гос. рег. программ для ЭВМ 2025612240 Рос. Федерация; заяв. 28.11.2024; опубл. 28.01.2025.

8. Филатов П.В. Алгоритмы формирования маршрутных технологических карт и технологических графиков восстановления артиллерийского вооружения с учетом выявления скрытых дефектов и времени их устранения // Труды МВАА. 2025. № 1. С. 214–219.

9. Кларк У. Графики Ганта. Учет и планирование работы: учебник. 5-е изд. М.: Техника управления, 1995. 142 с.

10. ГОСТ 27.002–2015. Надежность в технике. Термины и определения. М.: Стандартиформ, 2016. 25 с.

References

1. Chukhnin V.N. Theoretical foundations of weapons reliability: textbook. Penza: PAI, 2004. 246 p.

2. GOST R 56111–2014. Nomenclature of indicators of operational and technical characteristics. Moscow: Standartinform, 2015. 15 p.

3. Madera A.G. Mathematical models and decision-making in management: A guide for top managers: textbook. Moscow: Lenand, 2022. 688 p.

4. Frolova G.N., Kanshina Z.I., Podolko E.A. Methods of optimal solutions: textbook manual. Blagoveshchensk: DalGAU, 2015. 56 p.

5. Madera A.G. Quantitative methods of development and decision-making in management: Computer modeling in Microsoft Excel: practical. Moscow: Lenand, 2024. 120 p.

6. Filatov P.V., Alchinov V.I. Algorithm for solving the optimization problem of work distribution according to the criterion of minimizing recovery time // Proceedings of the MWAA. 2024. No 2. Pp. 232–237.

7. Solution of nonlinear programming problem about appointments by time criterion in stochastic formulation: certificate of state registration of computer programs 2025612240 Ros. Federation; application. 28.11.2024; published 28.01.2025.

8. Filatov P.V. Algorithms for the formation of route technological maps and technological schedules for the restoration of artillery weapons, taking into account the identification of hidden defects and the time for their elimination // Proceedings of the MWAA. 2025. No 1. Pp. 214–219.

9. Clark W. Gantt graphs. Accounting and work planning: textbook. 5th ed. Moscow: Control Engineering, 1995. 142 p.

10. GOST 27.002–2015. Reliability in technology. Terms and definitions. Moscow: Standartinform, 2016. 25 p.

УДК 621.387

doi: 10.53816/23061456_2025_5–6_137

МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА ТЕМНОВЫХ ЭЛЕКТРОНОВ В ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ФОТОПРИЕМНИКАХ

METHOD FOR CALCULATING THE NUMBER OF DARK ELECTRONS IN SOLID-STATE PHOTODETECTORS

Канд. техн. наук Р.С. Володин, канд. техн. наук А.Л. Камышев, канд. техн. наук Е.А. Федяй

Ph.D. R.S. Volodin, Ph.D. A.L. Kamyshev, Ph.D. E.A. Fedyai

Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского

Рассмотрены физические процессы, определяющие образование темновых электронов в твердотельных фотоприемниках. Представлена методика, позволяющая определить количество темновых электронов в твердотельных фотоприемниках. Определены температурные режимы и диапазоны, при которых происходит образование темновых электронов, как за счет ионизации примеси, так и за счет термогенерации. Приведены количественные оценки числа темновых электронов, величины накопленного заряда и темнового тока от таких параметров, как температура, ширина запрещенной зоны материала и длительность временного интервала накопления. Показано, что снижение уровня темновых электронов и соответствующего тока до минимальных значений при фиксированном времени накопления достигается за счет оптимизации типа фотоприемника и рабочих температур.

Ключевые слова: твердотельные фотоприемники, чувствительность фотоприемника, темновые электроны, темновой ток, ионизация примесных атомов, термогенерация, ширина запрещенной зоны примесных полупроводников, время накопления.

The physical processes determining the formation of dark electrons in solid-state photodetectors are considered. A technique is presented that allows one to determine the number of dark electrons in solid-state photodetectors. Temperature regimes and ranges are determined at which dark electrons are formed, both due to impurity ionization and due to thermal generation. Quantitative estimates of the number of dark electrons, the value of the accumulated charge and the dark current from such parameters as temperature, the width of the forbidden band of the material and the duration of the accumulation time interval are given. It is shown that a decrease in the level of dark electrons and the corresponding current to minimum values at a fixed accumulation time is achieved by optimizing the type of photodetector and operating temperatures.

Keywords: solid-state photodetectors, photodetector sensitivity, dark electrons, dark current, ionization of impurity atoms, thermal generation, band gap of impurity semiconductors, accumulation time.

Введение

В настоящее время оптико-электронные приборы и системы используются при решении са-

мых разнообразных задач, возникающих в различных отраслях народного хозяйства, науки, техники, а также при обеспечении обороноспособности страны. При проектировании оптико-

электронных приборов одной из часто возникающих проблем является выбор фотоприемного устройства. На выбор того или иного типа фотоприемника (ФП), как правило, влияет большое количество факторов и параметров, определяемых назначением ФП, условиями его функционирования, технико-экономическими требованиями, доступностью для разработчика того или иного вида приемника и многое другое [1].

В космической технике одним из важнейших параметров ФП является его чувствительность. Повышение чувствительности ФП достигается, как повышением реакции ФП на полезный сигнал, так и снижением помеховой составляющей. Существенной из таких составляющих является темновой ток, обусловленный темновыми электронами.

Проблеме темновых электронов и темнового тока посвящено большое количество работ, к числу которых можно отнести, например [2–4]. Однако в указанных работах и ряде других в недостаточной мере изложены физические процессы, лежащие в основе происхождения темновых электронов и порождаемого ими темнового тока. В недостаточной мере также отражены возможности получения количественных оценок темновых электронов и величин темнового тока для конкретных практических приложений. Для устранения указанных недостатков предлагается методика расчета количества темновых электронов в твердотельных фотоприемниках.

Основная часть

Чувствительность ФП является одной из главных характеристик.

Известно, что повышение чувствительности ФП достигается как повышением реакции ФП на полезный сигнал, так и снижением помеховой составляющей.

Одной из помеховых составляющих является темновой ток, обусловленный темновыми электронами.

Если полезный сигнал в ФП связан с образованием электронно-дырочных пар под действием падающих на ФП квантов света, то темновые электроны и порождаемый ими темновой ток появляются в отсутствии квантов света и определяются действием тепла.

Их можно представить в виде двух составляющих:

– диффузную, обусловленную ионизацией примесных атомов;

– дрейфовую, обусловленную термогенерацией валентных электронов.

Так как темновые электроны образуются в обеих составляющих за счет действия тепла на ФП и носят случайный характер, то в соответствии с [5, 6], их число, генерируемое за время накопления t_n , можно описать распределением Пуассона, при котором их дисперсия равна среднему значению.

В приведенных ниже расчетах определяются средние значения темновых электронов и темнового тока.

Диффузная составляющая темнового тока определяется ионизацией примесных атомов и происходит при низких температурах, когда выполняется условие

$$kT \leq E_n - \frac{E_d}{2},$$

где k — постоянная Больцмана;

E_n — энергетический уровень дна зоны проводимости;

E_d — энергетический уровень донорной примеси.

Концентрация электронов в зоне проводимости может быть определена как [7, 8]

$$n_e = 2N_e \exp\left(\frac{-\left(E_n - \frac{E_d}{2}\right)}{kT}\right),$$

где N_e — плотность энергетических уровней в зоне проводимости, определяемая из выражения

$$N_e = \left(\frac{2\pi mkT}{h^2}\right)^{3/2},$$

где h — постоянная Планка;

m — масса электрона.

Дрейфовая составляющая темнового тока возникает при высокой температуре, когда выполняется условие

$$kT \geq E_n - E_f,$$

где E_f — уровень Ферми собственного полупроводника.

В этом случае происходит термическое возбуждение электронов валентной зоны и возникает собственная концентрация электронов в зоне проводимости, которая определяется выражением

$$n_i = 2N_e \exp\left(\frac{-(E_n - E_f)}{kT}\right).$$

Тогда при $kT \geq E_n - E_f$ суммарная концентрация электронов в зоне проводимости может быть представлена как

$$n = n_e + n_i = 2N_e \exp\left(\frac{-(E_n - E_d)}{2kT}\right) + 2N_e \exp\left(\frac{-(E_n - E_f)}{kT}\right).$$

Для определения температуры T_i , при которой происходит полная ионизация атомов примеси (истощение примеси) и превышение которой ($T > T_i$) приводит к термогенерации собственных электронов n_i , принимают, что уровень Ферми совпадает с уровнем донорной примеси [6, 7].

Тогда T_i определится как

$$T_i = \frac{E_n - E_f}{k \ln\left(\frac{2N_e}{n_e}\right)}.$$

ФП используются в различных областях, отличающихся с точки зрения количества темновых электронов прежде всего температурой, при которой приходится работать ФП. Так ФП, используемые в высокотемпературных телевизионных системах, должны работать при температурах, превышающих сотни градусов Цель-

сия [9–11]. ФП, используемые в инфракрасных системах обнаружения объектов на предельных дальностях, должны работать при сверхнизких температурах, измеряемых десятками градусов Кельвина [12].

Оценим концентрацию темновых электронов в зоне проводимости при различных температурах и различной ширине запрещенной зоны примесных полупроводников, используемых в ФП.

Возьмем для расчета пример:

– пусть температура ФП будет 70 К;

– ширина запрещенной зоны $\Delta E = 0,2$ эВ.

Тогда концентрация темновых электронов определится как

$$n_e = 2N_e \exp\left(\frac{-(E_n - E_d)}{2kT}\right), \quad (1)$$

где $N_e = \left(\frac{2\pi mkT}{h^2}\right)^{3/2} = 1,4 \cdot 10^{24} \text{ м}^{-3}$.

Подставим конкретные значения в общую формулу (1) получим концентрацию темновых электронов в зависимости от ширины запрещенной зоны. Для этого данные для n_e , полученные при различных ΔE при $T = 70$ К, сведем в табл. 1.

Оценим концентрацию темновых электронов в зависимости от температуры. Для этого значения для n_e , полученные при различных T при $\Delta E = 0,2$ эВ, сведем в табл. 2.

Полученные значения концентрации темновых электронов определяются ионизацией примесных атомов.

Для определения концентрации темновых электронов, обусловленных термической генерацией валентных электронов, определим

Таблица 1

Данные расчетов концентрации темновых электронов в зависимости от ширины запрещенной зоны

ΔE , эВ	0,1	0,2	1,0
n_e , м^{-3}	$9,3 \cdot 10^{18}$	$3,2 \cdot 10^{14}$	0

Таблица 2

Данные расчетов концентрации темновых электронов в зависимости от температуры

T , К	40	70	120	300
n_e , м^{-3}	$7,2 \cdot 10^8$	$3,2 \cdot 10^{14}$	$2,7 \cdot 10^{16}$	$5,1 \cdot 10^{22}$

температуру, при которой это происходит, используя выражение

$$T \geq (E_{\text{н}} - E_f) / k,$$

при $E_{\text{н}} - E_f = 0,5$ эВ получим $T \geq 560$ К.

Оценим температуры, приводящие к генерации валентных электронов для различных собственных полупроводников, отличающихся шириной запрещенной зоны. Данные расчетов сведем в табл. 3.

Рассмотрим пример расчета количества темновых электронов и темнового тока для варианта использования ФП в инфракрасных (ИК) оптических системах.

Размер площадки матричного ФП (пикселя) определим, исходя из размера пятна изображения. Принимая, что диаметр пятна d согласован с размером площадки b , то есть $b = d$, а диаметр пятна в первом дифракционном максимуме определяется из выражения

$$d = 1,24 \lambda / D,$$

где λ — длина волны падающего на ФП излучения;

D — диаметр объектива.

Определим размер площадки в линейной мере, принимая $\lambda = 10$ мкм, $D = 0,3$ м:

$$b = 2dF = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ м} = 24,8 \text{ мкм},$$

где F — фокусное расстояние объектива, принимаемое равным 0,3 м.

Толщину площадки принимаем равной ее линейному размеру $h = b$.

Таблица 3

Данные расчетов оценки температуры

ΔE , эВ	0,7	1,0	1,5
T , К	410	560	870

Тогда объем одного пикселя, принимая $b = 30$ мкм,

$$V = b^3 = 27 \cdot 10^{-15} \text{ м}^3.$$

Определим количество носителей темнового тока в объеме пикселя при температуре ФП $T = 70$ К.

$$N_0 = n_e V = 9.$$

Заряд носителей темнового тока

$$Q = N_0 q = 14 \cdot 10^{-19} \text{ Кл.}$$

Величину темнового тока определим, задавая время накопления заряда $t_{\text{н}}$

$$I = Q / t_{\text{н}} = 14 \cdot 10^{-19} \text{ А},$$

при времени накопления 1 с.

Рассчитаем количество темновых электронов, накопленный от них заряд, величину темнового тока в зависимости от температуры ФП, ширины запрещенной зоны при заданном времени накопления. Данные расчетов сведем в таблицы.

В табл. 4 сведены данные расчетов для ширины запрещенной зоны $\Delta E = 0,2$ эВ, времени накопления $t_{\text{н}} = 1$ с в диапазоне температур от 40 К до 120 К.

В табл. 5 сведены данные расчетов для ширины запрещенной зоны $\Delta E = 0,1$ эВ, времени накопления $t_{\text{н}} = 1$ с в диапазоне температур от 40 К до 120 К.

Для наглядности полученных результатов приведены графики зависимостей количества темновых электронов от температуры и ширины запрещенной зоны ΔE , $\lg N_0 = f(T)$, рисунок.

Снижение скорости нарастания количества темновых электронов у кривой, соответствующей $\Delta E = 0,1$ эВ, связано с истощением примесных атомов и с повышением температуры.

Таблица 4

Данные расчетов для ширины запрещенной зоны при $\Delta E = 0,2$ эВ

T , К	40	70	80	120
N_0	0	9	62	730
Q , Кл	0	$14 \cdot 10^{-19}$	$99 \cdot 10^{-19}$	$12 \cdot 10^{-17}$
I , А	0	$14 \cdot 10^{-19}$	$99 \cdot 10^{-19}$	$12 \cdot 10^{-17}$

Таблица 5

Данные расчетов для ширины запрещенной зоны при $\Delta E = 0,1$ эВ

T, K	40	70	80	120
N_0	$164 \cdot 10^2$	$25,4 \cdot 10^6$	$92 \cdot 10^6$	$13,5 \cdot 10^7$
$Q, Кл$	$262 \cdot 10^{-17}$	$41 \cdot 10^{-15}$	$14,7 \cdot 10^{-14}$	$21,6 \cdot 10^{-12}$
I, A	$262 \cdot 10^{-17}$	$41 \cdot 10^{-15}$	$14,7 \cdot 10^{-14}$	$21,6 \cdot 10^{-12}$

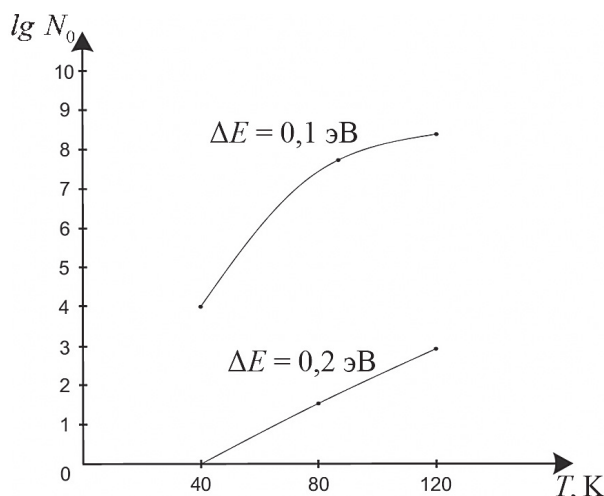


Рис. Зависимость количества темновых электронов от температуры и ширины запрещенной зоны

Заключение

Рассмотрение процессов, определяющих образование темновых электронов и темнового тока в твердотельных ФП, возможно только с использованием зависимостей, отражающих физическую суть этих процессов. Использование этих зависимостей позволяет с достаточным обоснованием определять количество темновых электронов и значение темнового тока в твердотельных ФП, определять температуры и их диапазон, при которых происходит образование темновых электронов, как за счет ионизации примеси, так и за счет термогенерации.

В представленной методике расчета количества темновых электронов и темнового тока для варианта использования ФП в ИК оптических системах показано, что их минимальных значений можно добиться, при заданном времени накопления, выбором типа ФП (определяемый шириной запрещенной зоны) и его температуры.

Список источников

1. Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г. Введение в проектирование оптико-электронных приборов: системный подход: учебник; под ред. Ю.Г. Якушенкова. М.: Университетская книга, 2016. 488 с.
2. Зи С.М. Физика полупроводниковых приборов. В 2-х кн.; пер. с англ. В.А. Гергеля; под ред. Р.А. Суриса. Изд. 2-е. М.: Мир, 1984. 456 с.
3. Спиридонов О.П. Физические основы твердотельной электроники: учеб. пособие. М.: Высш. шк., 2008. 191 с.
4. Формозов Б.Н. Аэрокосмические фотоприемные устройства в видимом и инфракрасных диапазонах: учеб. пособие. СПб.: СПбГУАП, 2002. 120 с.
5. Гудмен Дж. Статистическая оптика; пер. с англ. М.: Мир, 1988. 528 с.
6. Приборы с зарядовой связью; под ред. М. Хоуза и Д. Моргана; пер. с англ. М.: Энергоиздат, 1981. 456 с.

7. Соболев В.Д. Физические основы электронной техники: учебник для вузов. М.: Высш. шк., 1979. 448 с.
8. Смирнов Ю.А., Соболев С.В., Титов Е.В. Физические основы электроники. СПб.: Лань, 2013. 560 с.
9. Челпанов В.И., Родионов О.Ф. Жаростойкие телевизионные системы для наблюдения высокотемпературных процессов // Бурение и нефть. 2004. № 7–8. С. 42–44.
10. Стрижнев К.В., Белоус Д.А., Баранов П.С. и др. Анализ количества темновых электронов твердотельных фотоприемников при высокой рабочей температуре // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Техника телевидения. 2017. Вып. 2. С. 31–39.
11. Белоус Д.А. Чувствительность твердотельных фотоприемников в ближней инфракрасной области спектра при высокой температуре // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Техника телевидения. 2017. Вып. 2. С. 41–47.
12. Камышев А.Л., Володин Р.С. Определение параметров вывода управляемого объекта в задачах сближения космических объектов на догонных и встречных курсах // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2023. № 5–6 (179–180). С. 11–18.
3. Spiridonov O.P. Physical Foundations of Solid-State Electronics: Textbook. Moscow: Higher school, 2008. 191 p.
4. Formozov B.N. Aerospace Photodetectors in the Visible and Infrared Ranges: Textbook. SPb.: SPbGUAP, 2002. 120 p.
5. Goodman J. Statistical Optics: Translation from English. Moscow: Mir, 1988. 528 p.
6. Charge-coupled devices. Ed. M. Howes and D. Morgan: Trans. from English. M. Energoizdat, 1981. 456 p.
7. Sobolev V.D. Physical foundations of electronic engineering: textbook for universities. M.: Higher school, 1979. 448 p.
8. Smirnov Yu.A., Sobolev S.V., Titov E.V. Physical foundations of electronics. St. Petersburg: Lan, 2013. 560 p.
9. Chelpanov V.I., Rodionov O.F. Heat-resistant television systems for monitoring high-temperature processes // Drilling and Oil, 2004. No 7–8. Pp. 42–44.
10. Strizhnev K.V., Belous D.A., Baranov P.S. et al. Analysis of the Number of Dark Electrons of Solid-State Photodetectors at High Operating Temperatures // Issues of Radio Electronics. Series: Television Engineering, 2017. Issue 2. Pp. 31–39.
11. Belous D.A. Sensitivity of Solid-State Photodetectors in the Near Infrared Spectrum at High Temperatures // Issues of Radio Electronics. Series: Television Engineering, 2017. Issue 2. Pp. 41–47.
12. Kamyshev A.L., Volodin R.S. Determination of the parameters of the output of a controlled object in the problems of the approach of space objects on catch-up and collision courses // Issues of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2023. No 5–6 (179–180). Pp. 11–18.
1. Tarasov V.V., Yakushenkov Yu.G. Introduction to the design of optical-electronic devices: a systematic approach: textbook; ed. Yu.G. Yakushenkova. M: University Book, 2016. 488 p.
2. Zi S.M. Physics of Semiconductor Devices. In 2 books. Trans. from English by V.A. Gergel et al. ed. by R.A. Suris. Moscow: Mir, 1984. 456 p.

Resources

УДК 623.4

doi: 10.53816/23061456_2025_5-6_143

ИСПЫТАНИЯ ПРОТИВООСКОЛОЧНОЙ СТОЙКОСТИ ЗАЩИТНЫХ СТРУКТУР В ПОЛИГОННЫХ УСЛОВИЯХ

TESTING OF THE ANTI-SHATTER RESISTANCE OF PROTECTIVE STRUCTURES IN LANDFILL CONDITIONS

*Канд. техн. наук И.В. Гук¹, канд. техн. наук А.И. Спивак¹,
канд. техн. наук И.А. Спивак², С.Н. Васильева¹*

Ph.D. I.V. Guk, Ph.D. A.I. Spivak, Ph.D. I.A. Spivak, S.N. Vasileva

¹ НПО Спецматериалов, ² НИЦ(РВиА) Михайловской военной артиллерийской академии

В статье представлены результаты экспериментальных исследований противоосколочной стойкости защитных структур, изготовленных из стальных бронепластин толщиной 2,5 мм и 4,5 мм, бронепластин из алюминиевых сплавов толщиной 2,5 и 3,0 мм, бронепластин из титановых сплавов толщиной 4,0 мм подрывом противопехотных осколочных мин ПОМЗ-2М, ОЗМ-72, МОН-50 и противопехотной фугасной мины ПМН-2 в полигонных условиях. Показано, что все перечисленные металлические защитные структуры не обладают противоосколочной стойкостью к воздействию стальных осколков, образовавшихся при подрыве противопехотных осколочных мин ПОМЗ-2М, ОЗМ-72, МОН-50, на расстоянии в диапазоне 1,0–6,6 м. Перечисленные металлические защитные структуры обладают противоосколочной стойкостью к воздействию пластмассовых осколков, образовавшихся при подрыве противопехотной фугасной мины ПМН-2, на расстоянии 1,0 м.

Ключевые слова: противоосколочная стойкость, противопехотные осколочные мины, противопехотная фугасная мина, полигонные испытания, металлические защитные структуры.

The article presents the results of experimental studies of the anti-fragmentation resistance of protective structures made of steel armor plates 2,5 mm and 4,5 mm thick, armor plates made of aluminum alloys 2,5 and 3,0 mm thick, armor plates made of titanium alloys 4,0 mm thick by detonation of anti-personnel fragmentation mines POMZ-2M, OZM-72, MON-50 and anti-personnel high-explosive mine PMN-2 under testing ground conditions. It has been shown that all the above-mentioned metal protective structures do not have anti-fragmentation resistance to the impact of steel fragments formed during the detonation of anti-personnel fragmentation mines POMZ-2M, OZM-72, MON-50, at a distance in the range of 1,0–6,6 m. The above-mentioned metal protective structures have anti-fragmentation resistance to the impact of plastic fragments formed during the detonation of the anti-personnel high-explosive mine PMN-2, at a distance of 1,0 m.

Keywords: anti-fragmentation resistance, anti-personnel fragmentation mines, anti-personnel high-explosive mine, field tests, metal protective structures.

В настоящее время при разработке и производстве средств индивидуальной и коллективной бронезащиты широкое развитие получили защитные структуры (ЗС), изготовленные из металлических сплавов [1, 2]. При изготовлении таких ЗС чаще используются стальные бронепластины, а также бронепластины, изготовленные из титановых и алюминиевых сплавов.

Из отечественных алюминиевых сплавов чаще для изготовления образцов бронезащиты используют сплавы АБТ-101 (например, при изготовлении корпуса боевой машины десанта) и АБТ-102 (например, при изготовлении корпуса боевой машины пехоты БМП-3) [2, 3]. Сплав АБТ-101 обладает повышенной твердостью, которая доходила (по Бринеллю) до 160 НВ, но сравнительно небольшой ударной вязкостью, что являлось причиной появления трещин и отколов с тыльной стороны бронепластины в момент попадания пули или другого поражающего элемента. У сплава АБТ-102 твердость примерно на 10 % ниже, чем у АБТ-101, но ударная вязкость повышена более чем в половину. Благодаря этому сплав АБТ-102 менее подвержен трещинам и отколам, потому что обладает повышенной противопульной и противоосколочной стойкостью.

В зарубежных образцах бронезащиты (например, бронетранспортере М113) применяется алюминиевая катаная броня, при этом легированный магнием сплав 5083 (ближайший отечественный аналог — алюминиевый сплав 5083) упрочняется наклепом без использования высоких температур [3]. Кроме этого, в образцах бронезащиты применяются термоупрочненные сплавы алюминия. Так, легированный цинком и магнием сплав 7039 используется на легких американских танках М551 General Sheridan и БМП М2 Bradley. Аналогичные алюминиевые

сплавы 7017 используются в английских разведывательных танках Scorpion, а сплав 7020 — во французских БМП AMX-10P.

Алюминиевые сплавы также нашли широкое применение при производстве бронежилетов, шлемов и других элементов средств индивидуальной бронезащиты (СИБ) [4]. Вид бронежилета инд. 6Б1, содержащего бронепластины из алюминиевого сплава, представлен на рис. 1.

В элементах СИБ широкое применение нашли титановые сплавы, легированные хромом, алюминием, молибденом и другими материалами. Титановые сплавы с α -структурой ВТ5, ВТ5-1, содержанием 5 % алюминия и 2,5 % олова обладают средним уровнем прочности, не подвергаются термообработке и обладают очень высокой коррозионной стойкостью [2, 3].

Двухфазные титановые сплавы с $(\alpha+\beta)$ -структурой ВТ6, ВТ8, ВТ14, ВТ16 содержат в определенной пропорции алюминий, ванадий, молибден, хром, железо. Такие титановые сплавы отличаются сочетанием повышенных технологических и механических свойств. Однако эти титановые сплавы отличаются относительно невысоким модулем упругости 112 ГПа.

Однофазные β -сплавы редко используются в промышленном производстве, потому что для того, чтобы получить устойчивую β -структуру, сплавы необходимо легировать большим количеством β -стабилизаторов: V, Mo, Nb, Ta. При своей дороговизне, они повышают плотность сплавов, что отрицательно сказывается на их прочностных характеристиках.

В связи с этими обстоятельствами в элементах СИБ, например бронежилетах инд. 6Б2, серии 6Б5, серии 6Б12, инд. 6Б3ТМ, инд. 6Б4, чаще используются титановые сплавы с $(\alpha+\beta)$ -структурой (ВТ14, ВТ23) [4]. Вид бронежилета



Вид спереди



Вид сзади



Вид изнутри

Рис. 1. Вид бронежилета инд. 6Б1, содержащего бронепластины из алюминиевого сплава

инд. 6Б2, содержащего бронепластины из титанового сплава, представлен на рис. 2.

В России основными серийными стальными броневыми материалами, применяемыми в средствах индивидуальной и коллективной бронезащиты, являются среднелегированные стали «44», Ц85, «56» и СПС-43 [2]. Прочность этих серийных сталей находится в пределах 1700–2000 МПа, твердость — 48–54 HRC, пластичность — 8–12 %. ЗС, изготовленные из этих сталей, при толщине бронепластин до 6 мм обеспечивают защиту при обстреле обычными пулями из автоматов АК-74 и АК-47 с расстояния 10 м, при обстреле пулями со сталь-

ным термоупрочненным сердечником с расстояния 50 м [4]. Стали могут подвергаться специальным видам обработки как для получения лицевого слоя с повышенной твердостью, так и твердого внутреннего слоя и более пластичных наружных слоев, повышающих устойчивость бронепластин против раскалывания.

Вид бронежилета инд. 6Б23-1, содержащего стальные бронепластины, представлен на рис. 3.

Вид стальных бронепластин и бронепластин, изготовленных из алюминиевого и титанового сплавов, и размещенных в различных бронежилетах, представлен на рис. 4.

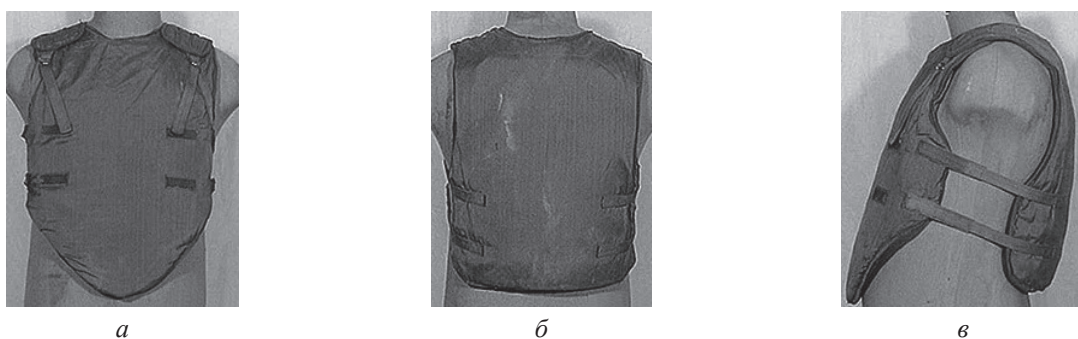


Рис. 2. Вид бронежилета инд. 6Б2, содержащего бронепластины из титанового сплава:
а — вид спереди; б — вид сзади; в — вид сбоку



Рис. 3. Вид бронежилета инд. 6Б23-1, содержащего стальные бронепластины:
а — вид спереди; б — вид сзади; в — вид изнутри

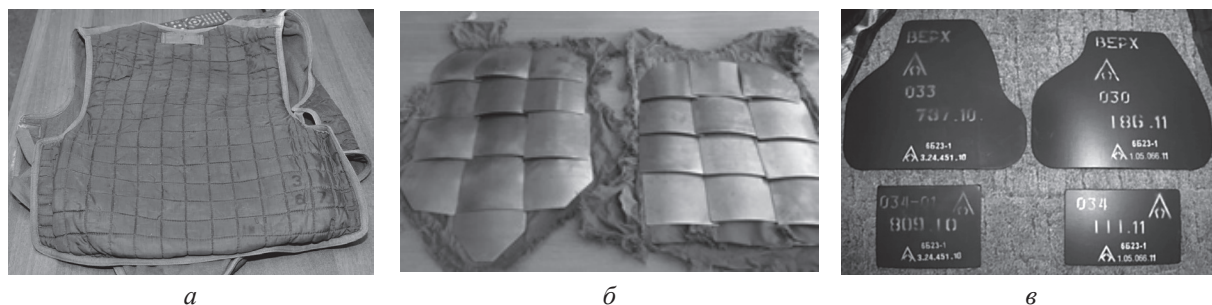


Рис. 4. Вид бронепластин, размещенных в различных бронежилетах:
а — бронежилет инд. 6Б1 (бронепластины из алюминиевого сплава); б — бронежилет инд. 6Б2 (бронепластины из титанового сплава); в — бронежилет инд. 6Б23-1 (стальные бронепластины)

В связи с отмеченными обстоятельствами практический интерес представляет исследование противоосколочной стойкости металлических ЗС, содержащихся в средствах коллективной и индивидуальной бронезащиты [5, 6] при подрыве отечественных противопехотных осколочных мин.

В качестве объектов испытаний были использованы следующие ЗС:

- стальная бронепластина толщиной 4,5 мм;
- стальная бронепластина толщиной 2,5 мм;
- бронепластина из алюминиевого сплава толщиной 2,5 мм;
- бронепластина из алюминиевого сплава толщиной 3,0 мм;
- бронепластина из титанового сплава толщиной 4,0 мм.

В качестве средств поражения были использованы противопехотная осколочная мина кругового поражения ПОМЗ-2М, противопехотная выпрыгивающая осколочная мина ОЗМ-72 кругового поражения и противопехотная осколочная мина МОН-50 направленного поражения.

вающая осколочная мина ОЗМ-72 кругового поражения, противопехотная осколочная мина МОН-50 направленного поражения и фугасная мина нажимного действия ПМН-2. Общие сведения о средствах поражения представлены в табл. 1 [7].

Испытания проводились подрывом мин в мишенной обстановке с использованием электродетонаторов. ЗС размещались на щитах, изготовленных из сухих сосновых досок толщиной 25 мм [8–10]. За щитами размещались улавливатели осколков, изготовленные из деревянных ящиков, заполненные песком. Вид мишенной обстановки представлен на рис. 5 [11–13].

Вид средств поражения перед испытаниями в мишенной обстановке представлен на рис. 6.

В выпрыгивающих минах ОЗМ-72 перед испытаниями были охлаждены вышибные заряды. Подрыв этих мин осуществлялся в статических условиях с целью обеспечения гарантированного попадания осколков в исследуемые ЗС.

Таблица 1

Сведения о средствах поражения

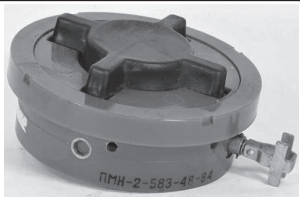
№ п/п	Наименование средства поражения	Вид средства поражения	Характеристика средства поражения
1	Противопехотная осколочная мина кругового поражения ПОМЗ-2М		Мина ПОМЗ-2М состоит из чугунного корпуса массой 1,2 кг, имеющего по внешней поверхности насечки. В корпусе мины размещен заряд взрывчатого вещества (тротила) массой 0,075 кг. Диаметр корпуса мины — 6 см, высота корпуса мины — 10,7 см
2	Противопехотная выпрыгивающая осколочная мина ОЗМ-72 кругового поражения		Мина ОЗМ-72 состоит из стального корпуса, снаряженного стальными цилиндриками (2400 шт.). Масса мины — 5 кг, масса разрывного заряда — 0,66 кг (МС)
3	Противопехотная осколочная мина МОН-50 направленного поражения		Мина МОН-50 состоит из пластмассового корпуса, снаряженного 489–540 шт. поражающими элементами (шариками или роликами). Масса мины — 2 кг, масса разрывного заряда — 0,7 кг (ПВВ-4). Поражение целей осуществляется в секторе 54°
4	Противопехотная фугасная мина нажимного действия ПМН-2		Мина ПМН-2 состоит из пластмассового герметичного корпуса, в котором размещен разрывной заряд массой 0,1 кг (ТГ-40). Масса мины — 0,4 кг. Усилие срабатывания мины — 5–25 кг. Диаметр корпуса мины 120 мм, высота корпуса — 54 мм



Рис. 5. Вид мишенной обстановки

Расстояния от средств поражения до объектов испытаний были различные и представлены в табл. 2.

При проведении испытаний определялись скорости осколков, образовавшихся при подрыве мин, с использованием контактной блокировки участка траектории рамами-мишенями. Запуск измерительной цепи производился при подрыве мин, а остановка — при пробитии осколком рамы-мишени [14, 15]. Кроме этого, определялись массогабаритные характеристики осколков, извлеченных из улавливателей.

При подрыве мин ПОМЗ-2М было установлено, что при дроблении корпуса мин образуются осколки массой от тысячных долей грамма до 4 г. Причем осколки, имеющие массу менее

0,05 г, составляют основную долю осколков (более 68 %). При вскрытии улавливателя осколков, передняя панель которого была изготовлена из сухих сосновых досок толщиной 25 мм (имитатор живой силы) [2], внутри улавливателя были обнаружены осколки массой 0,05...2,53 г. Таким образом, осколки массой более 0,05 г являются убийными [11]. Распределение по массам убийных осколков, образующихся при подрыве мин ПОМЗ-2М, представлено на рис. 7.

В связи с тем, что процесс дробления оболочки мины ПОМЗ-2М при взрыве и взаимодействии полученных осколков с ЗС зависит от множества факторов и носит вероятностный характер (образование осколков различных массовых групп, имеющих различные импульсы; распределение и пространственная ориентация осколков в секторе их разлета и т.д.), полученные экспериментальные значения скоростей осколков характеризуются большой дисперсией [16, 17]. Однако тенденцию изменения осредненных значений скоростей осколков в зависимости от расстояния до места подрыва мины ПОМЗ-2М можно представить в виде графика (рис. 8).

При подрыве мин ОЗМ-72 было установлено, что корпуса их в качестве готовых поражающих элементов содержат цилиндрики. После серии



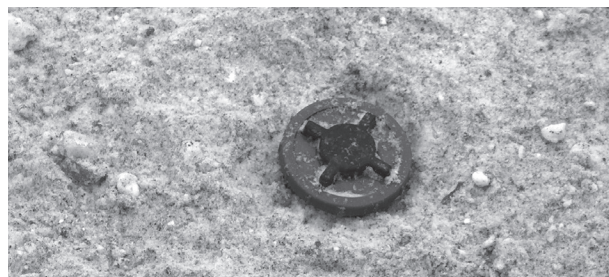
а



б



в



г

Рис. 6. Вид средств поражения перед испытаниями: а — мина ПОМЗ-2М; б — мина ОЗМ-72; в — мина МОН-50; г — мина ПМН-2



Рис. 7. Распределение по массам убийных осколков, образующихся при подрыве мин ПОМЗ-2М

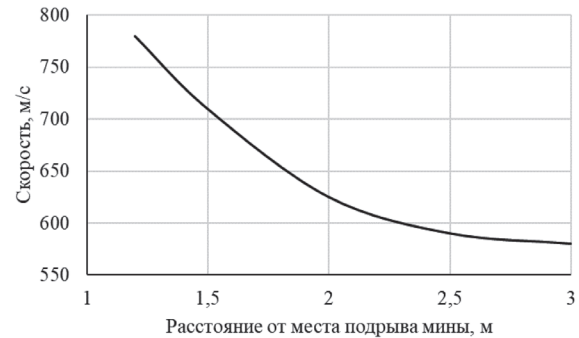


Рис. 8. Зависимость средних значений скоростей осколков, образовавшихся при подрыве мин ПОМЗ-2М, от расстояния до места подрыва

подрывов из улавливателей осколков были извлечены цилиндрики, распределение по массовым группам которых представлено на рис. 9 [11].

Анализ результатов, представленных на рис. 9, показывает, что большинство цилиндриков, содержащихся в корпусе мин ОЗМ-72, имеет массу в диапазоне 0,75...0,8 г. При этом существуют как более мелкие (до 0,66 г), так и более крупные (до 0,87 г) поражающие элементы.

Зависимость экспериментальных значений скоростей разлета поражающих элементов, образующихся при подрыве мины ОЗМ-72, от расстояния до места разрыва мины представлена на рис. 10.

При подрыве мин МОН-50 было установлено, что их корпуса в качестве готовых поражающих элементов содержат стальные шарики массой 1,043...1,056 г.

Среднее значение скорости поражающих элементов на расстоянии 5 м от места подрыва мины МОН-50 составляет 1060 м/с [12].

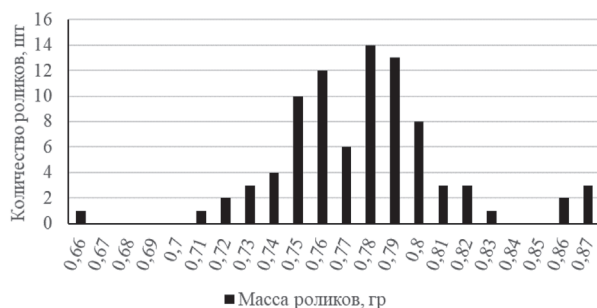


Рис. 9. Распределение цилиндриков по массовым группам, образующихся при подрыве мин ОЗМ-72

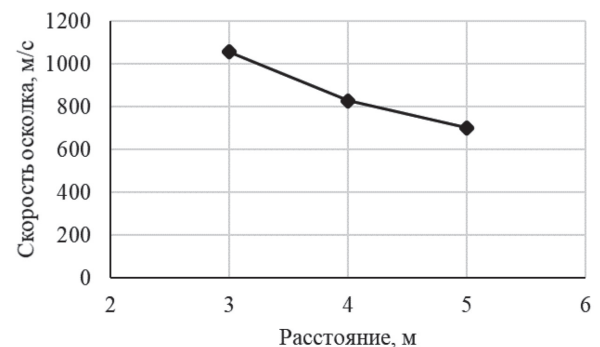
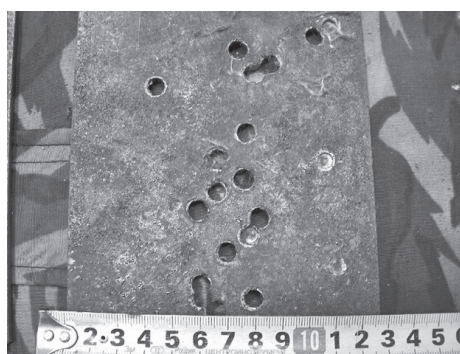


Рис. 10. Зависимость средних значений скоростей осколков, образовавшихся при подрыве мин ОЗМ-72, от расстояния до места подрыва

Таблица 2

**Результаты испытаний 3С на противоосколочную стойкость подрывом противопехотных мин
ПОМЗ-2М, ОЗМ-72, МОН-50, ПМН-2**

№ п/п	Состав защитной структуры	Средство поражения	Расстояние, м	Количество попаданий, шт.	Количество пробитий, шт.
1	Стальная бронепластина толщиной 2,5 мм	противопехотная осколочная мина кругового поражения ПОМЗ-2М	1,0	12	11
			2,0	9	7
			4,0	4	3
		противопехотная выпрыгивающая осколочная мина ОЗМ-72 кругового поражения	5,0	11	7
		противопехотная осколочная мина МОН-50 направленного поражения	5,0	7	6
		фугасная мина ПМН-2	1,0	11	0
2	Стальная бронепластина толщиной 4,5 мм	противопехотная осколочная мина кругового поражения ПОМЗ-2М	1,0	7	5
		противопехотная выпрыгивающая осколочная мина ОЗМ-72 кругового поражения	3	28	24
			4,75	4	3
		противопехотная осколочная мина МОН-50 направленного поражения	3	24	18
			5	22	15
		фугасная мина ПМН-2	1	4	0
3	Бронепластина из алюминиевого сплава толщиной 2,5 мм	противопехотная осколочная мина кругового поражения ПОМЗ-2М	3	11	10
		противопехотная выпрыгивающая осколочная мина ОЗМ-72 кругового поражения	6,6	6	6
		противопехотная осколочная мина МОН-50 направленного поражения	5	11	11
		фугасная мина ПМН-2	1	4	0
4	Бронепластина из алюминиевого сплава толщиной 3,0 мм	противопехотная осколочная мина кругового поражения ПОМЗ-2М	3	6	4
			4	22	17
		противопехотная выпрыгивающая осколочная мина ОЗМ-72 кругового поражения	5	9	8
		противопехотная осколочная мина МОН-50 направленного поражения	5	13	12
5	Бронепластина из титанового сплава толщиной 4,0 мм	противопехотная осколочная мина кругового поражения ПОМЗ-2М	3	6	2
			3	14	13
		противопехотная выпрыгивающая осколочная мина ОЗМ-72 кругового поражения	5	7	5
			6,6	3	1
		противопехотная осколочная мина МОН-50 направленного поражения	3	36	34
			5	37	33



а



б

Рис. 11. Вид ЗС, состоящей из стальной бронепластины толщиной 4,5 мм, после подрыва мины МОН-50 на расстоянии 3 м: а — лицевая сторона; б — тыльная сторона

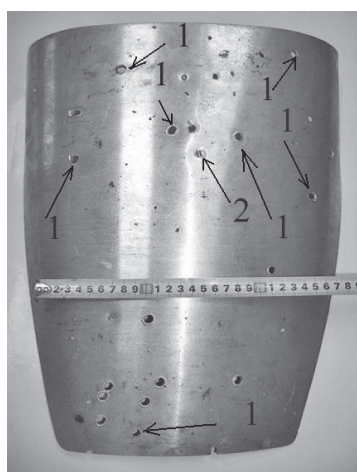


Рис. 12. Вид ЗС, состоящей из бронепластины из алюминиевого сплава толщиной 3 мм, после испытаний подрывом мины ОЗМ-72 на расстоянии 5 м: 1 — сквозные пробоины ЗС; 2 — попадание

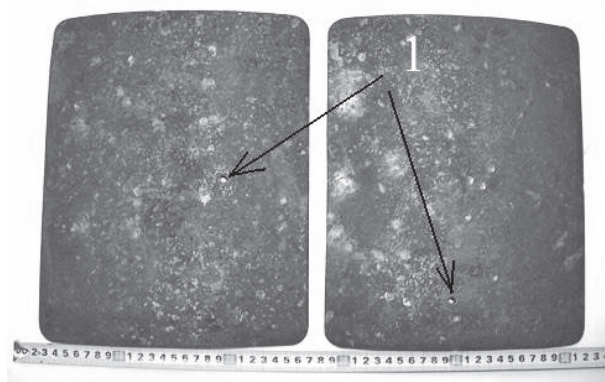


Рис. 13. Вид ЗС, состоящей из стальной бронепластины толщиной 4,5 мм, после испытаний подрывом мины ОЗМ-72 на расстоянии 5 м: 1 — сквозные пробоины ЗС

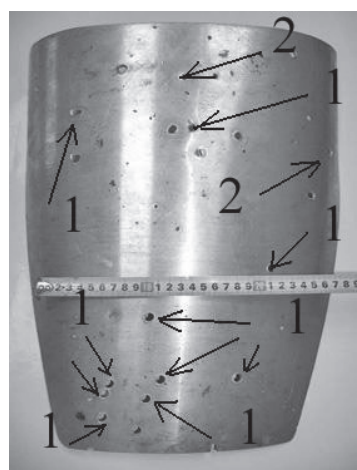


Рис. 14. Вид ЗС, состоящей из бронепластины из алюминиевого сплава толщиной 3 мм, после испытаний подрывом мины МОН-50 на расстоянии 5 м: 1 — сквозные пробоины ЗС; 2 — попадание осколка в ЗС

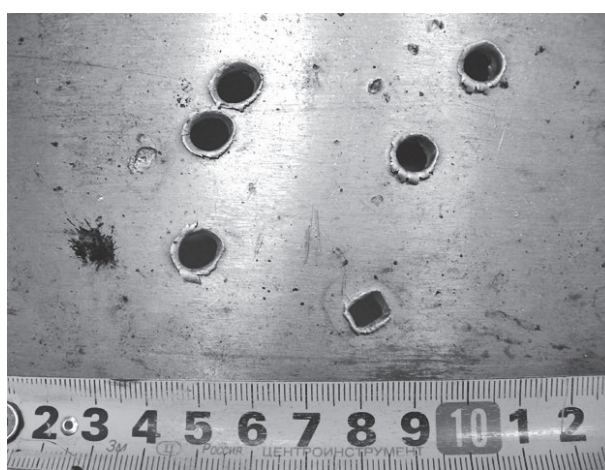


Рис. 15. Вид ЗС, состоящей из бронепластины из алюминиевого сплава толщиной 2,5 мм, после испытаний подрывом мины МОН-50 на расстоянии 5 м (сквозные пробоины защитной структуры)

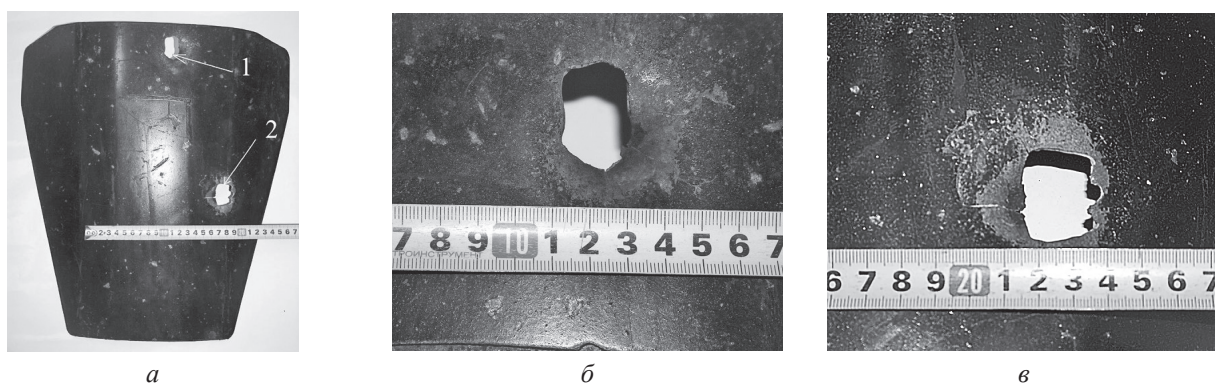


Рис. 16. Вид ЗС, состоящей из стальной бронепластины толщиной 2,5 мм, после испытаний подрывом мины ПОМЗ-2М на расстоянии 4 м:
а — общий вид; б — вид пробоины 1; в — вид пробоины 2; 1, 2 — сквозные пробоины ЗС

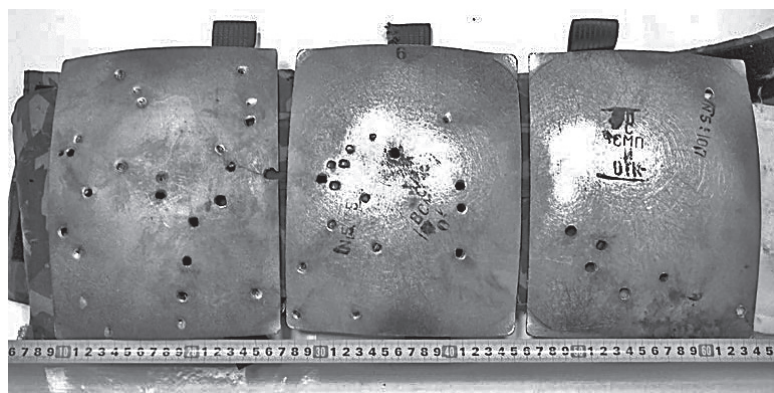


Рис. 17. Вид ЗС, состоящей из бронепластин из титанового сплава толщиной 4 мм, после испытаний подрывом мины МОН-50 на расстоянии 5 м (сквозные пробоины защитной структуры)

расстояниях 5 м при подрыве противопехотной мины ОЗМ-72 при скорости осколков 700 м/с и при подрыве противопехотной мины МОН-50 при скорости осколков 1060 м/с.

Стальная бронепластина толщиной 4,5 мм не обеспечивает противоосколочной стойкости на расстоянии 1 м при подрыве противопехотной мины ПОМЗ-2М при скорости осколков 800 м/с. Стальная бронепластина толщиной 4,5 мм не обеспечивает противоосколочной стойкости на расстояниях 3–4,75 м при подрыве противопехотной мины ОЗМ-72 в диапазоне скоростей осколков 750–1050 м/с и на расстоянии 3–5 м при подрыве противопехотной мины МОН-50 при скорости осколков 1060 м/с.

Бронепластина из алюминиевого сплава толщиной 2,5 мм не обеспечивает противоосколочной стойкости на расстоянии 3 м при подрыве противопехотной мины ПОМЗ-2М при скорости осколков более 1060 м/с, на расстоянии 6,6 м при подрыве противопехотной мины ОЗМ-72 при

скорости осколков 550 м/с, на расстоянии 5 м при подрыве противопехотной мины МОН-50 при скорости осколков 1060 м/с.

Бронепластина из алюминиевого сплава толщиной 3 мм не обеспечивает противоосколочной стойкости на расстоянии 3 м при подрыве противопехотной мины ПОМЗ-2М при скорости осколков в диапазоне 810–1060 м/с, на расстоянии 5 м при подрыве противопехотной мины ОЗМ-72 при скорости осколков 700 м/с и при подрыве противопехотной мины МОН-50 при скорости осколков 1060 м/с.

Бронепластина из титанового сплава толщиной 4 мм не обеспечивает противоосколочной стойкости на расстоянии 3 м при подрыве противопехотной мины ПОМЗ-2М при скорости осколков 585 м/с, на расстоянии 3–6,6 м при подрыве противопехотной мины ОЗМ-72 в диапазоне скоростей осколков 350–1050 м/с и на расстоянии 3–5 м при подрыве противопехотной мины МОН-50 при скорости осколков 1060 м/с.

Стальные бронепластины толщиной 2,5 мм и 4,5 мм, бронепластины из алюминиевого сплава толщиной 2,5 и 3 мм, бронепластина из титанового сплава толщиной 4 мм обеспечивают противоосколочную стойкость на расстоянии 1 м при подрыве противопехотной фугасной мины ПМН-2 при скорости пластмассовых осколков 917 м/с.

Полученные результаты по оценке противоосколочной стойкости металлических защитных структур подрывом противопехотных мин в полигонных условиях коррелируют с результатами оценки противоосколочной стойкости этих защитных структур, полученных в лабораторных условиях с использованием стандартных имитаторов осколков — стальных шариков массой 1,05 г (диаметр — 6,35 мм) по ГОСТ 3722–2014.

В результате лабораторных испытаний на противоосколочную стойкость стальных бронепанелей, изготовленных из стали СПС-43, в диапазоне толщин от 2,5 до 6,5 мм получена статистическая модель вида показателя противоосколочной стойкости — скорости 50 % непробития ЗС $V_{50\%}$, которая имеет вид [8, 18]:

$$V_{50\%} = 35,37 \delta^2 - 127,92 \delta + 420,07,$$

где δ — толщина ЗС, мм.

Коэффициент корреляции статистической модели составляет 0,997.

С использованием статистической модели были определены показатели противоосколочной стойкости для ЗС в виде стальных бронепластин толщиной 2,5 мм и 4,5 мм, значения которых составили 560 м/с и 321 м/с. На основе полученных результатов, скорость 100 % непробития ЗС в виде стальной бронепластины толщиной 2,5 мм составит 261 м/с, а в виде стальной бронепластины толщиной 4,5 мм — 500 м/с.

Полученные в ходе лабораторных испытаний результаты объясняют причину полученной при полигонных испытаниях неудовлетворительной противоосколочной стойкости ЗС в виде стальных бронепластин толщиной 2,5 мм и 4,5 мм при взаимодействии с осколками массой около 1 г, образующимися при подрыве противопехотных мин ПОМЗ-2М, ОЗМ-72, МОН-50, в диапазоне скоростей от 550 м/с до 1060 м/с.

Таким образом, полученные в полигонных условиях экспериментальные данные позволяют оценить реальную противоосколочную стойкость

ЗС, изготовленных из стальных бронепластин толщиной 2,5 и 4,5 мм, бронепластин из алюминиевого сплава толщиной 2,5 и 3,0 мм, бронепластин из титанового сплава толщиной 4 мм при различных скоростях осколков, образующихся при подрыве противопехотных осколочных мин ОЗМ-72, МОН-50 и ПОМЗ-2М и противопехотной фугасной мины ПМН-2. Использование полученных экспериментальных данных позволит повысить достоверность оценок защитных свойств ЗС, изготовленных из металлических сплавов, полученных в лабораторных условиях в результате оценки противоосколочной стойкости ЗС по ГОСТ Р 55623 с использованием стандартных инденторов — стальных шариков массой 1,05 г (диаметр 6,35 мм) по ГОСТ 3722.

Список источников

1. Сильников М.В., Химичев В.А. Средства индивидуальной бронезащиты. СПб.: Фонд «Университет», 2000. 480 с.
2. Концептуальные основы создания средств индивидуальной защиты. Часть 1. Бронежилеты; под общей ред. В.Г. Михеева. М.: Межакадемическое изд-во «Вооружение. Политика. Конверсия». 2003. 340 с.
3. Металлическая броня на основе сплавов алюминия и титана. URL: <https://sfera-nt.ru/article> (дата обращения: 02.02.2025).
4. Средства индивидуальной бронезащиты. Руководство службы. М.: Братишка, 2004. 80 с.
5. Васильева С.Н., Денисов А.В., Гук И.В. Модель оценки поражения живой силы в средствах индивидуальной бронезащиты // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2022. № 5–6 (167–168). С. 76–84.
6. Спивак А.И., Васильева С.Н., Ланцов Ю.Е. и др. К вопросу о перспективах развития средств защиты конечностей из состава боевой индивидуальной экипировки // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2025. № 3–4. С. 122–134.
7. Справочник сапера: учеб. пособие. М.: Военная книга, 2024. 232 с.
8. Васильев Н.Н., Спивак А.И., Спивак И.А. и др. К вопросу оценки противоосколочной стойкости защитных композиций при высокоскоростном взаимодействии с поражающими элементами

ми // Актуальные проблемы защиты и безопасности. Труды XII Всероссийской научно-практической конференции. Технические средства противодействия терроризму и нелетальное оружие. 2009. Том 1. С. 169–170.

9. Спивак И.А., Борисов Н.Н. Экспериментальная оценка поражающего действия модельных взрывных устройств // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2010. № 5–6. С. 45–49.

10. Спивак И.А. Методические основы оценки противоосколочной стойкости средств индивидуальной бронезащиты в приведенных условиях // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2019. № 5–6. С. 77–81.

11. Васильев Н.Н., Спивак А.И., Спивак И.А. и др. Исследование баллистических характеристик осколков, образующихся при подрыве противопехотных мин ОЗМ-72, ПОМЗ-2М // Актуальные проблемы защиты и безопасности. Труды XIII Всероссийской научно-практической конференции. Технические средства противодействия терроризму и оружие нелетального действия. 2010. Том 2. С. 125–127.

12. Васильев Н.Н., Спивак А.И., Дмитриев В.Я. К вопросу экспериментальной оценки противоосколочной стойкости защитных структур, изготовленных из высокомолекулярного полиэтилена, подрывом МОН-50 // Актуальные проблемы защиты и безопасности. Труды XIII Всероссийской научно-практической конференции. Технические средства противодействия терроризму. 2010. Том 2. С. 316–318.

13. Васильев Н.Н., Спивак А.И., Спивак И.А. и др. Особенности разрушения пластмассовых корпусов при подрыве пластмассовых корпусов // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2010. № 11–12. С. 99–100.

14. Васильев Н.Н., Спивак А.И., Дмитриев В.Я. и др. Экспериментальная оценка противоосколочной стойкости мобильного укрытия «Бастион» // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2013. № 9–10. С. 24–27.

15. Васильев Н.Н., Спивак А.И., Дмитриев В.Я. и др. Экспериментальная оценка баллистических параметров высокоскоростных поражающих элементов в осколочном потоке боль-

шой плотности // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2016. № 7–8. С. 76–81.

16. Васильев Н.Н., Спивак А.И., Дмитриев В.Я. и др. К вопросу оценки противоосколочной стойкости защитных структур // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2014. № 1–2. С. 68–72.

17. Пучков А.С., Спивак А.И., Ланцов Ю.Е. Проблемные вопросы оценки противоосколочной стойкости защитных структур // Актуальные проблемы защиты и безопасности. Труды XVI Всероссийской научно-практической конференции. Технические средства противодействия терроризму. 2023. Том 2. С. 49–52.

18. Пучков А.С., Спивак А.И., Печеник Р.А. и др. Некоторые актуальные вопросы совершенствования средств защиты органов таза из состава боевой индивидуальной экипировки // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2024. № 11–12. С. 121–134.

References

1. Silnikov M.V., Khimichev V.A. Personal armor protection equipment. St. Petersburg: University Foundation, 2000. 480 p.

2. Conceptual foundations for the creation of personal protective equipment. Part 1. Bulletproof vests. General editor V.G. Mikheev. Moscow: Interacademic publishing house «Armament. Politics. Conversion». 2003. 340 p.

3. Metal armor based on aluminum and titanium alloys. URL: <https://sfera-nt.ru/article> (date of access: 02.02.25).

4. Personal body armor. Service manual. Moscow: Bratishka, 2004. 80 p.

5. Vasilyeva S.N., Denisov A.V., Guk I.V. Model for assessing the damage to manpower in personal body armor // Issues of Defense Equipment. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2022. No 5–6 (167–168). Pp. 76–84.

6. Spivak A.I., Vasilyeva S.N., Lantsov Yu.E. et al. On the prospects for the development of limb protection equipment from individual combat equipment // Issues of Defense Equipment. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2025. No 3–4. Pp. 122–134.

7. Sapper's handbook. Study guide. Moscow: Military book, 2024. 232 p.
8. Vasiliev N.N., Spivak A.I., Spivak I.A. et al. On the issue of assessing the anti-fragmentation resistance of protective compositions during high-speed interaction with damaging elements // Actual problems of protection and security. Proceedings of the 12th All-Russian Scientific and Practical Conference. Technical means of counteracting terrorism and non-lethal weapons. 2009. Vol. 1. Pp. 169–170.
9. Spivak I.A., Borisov N.N. Experimental assessment of the damaging effect of improvised explosive devices // Issues of defense equipment. Series 16. Technical means of counteracting terrorism. 2010. No 5–6. Pp. 45–49.
10. Spivak I.A. Methodological principles for assessing the anti-fragmentation resistance of personal armor protection equipment under the given conditions // Issues of defense equipment. Series 16. Technical means of counteracting terrorism. 2019, No 5–6. Pp. 77–81.
11. Vasiliev N.N., Spivak A.I., Spivak I.A. et al. Study of ballistic characteristics of fragments formed during detonation of anti-personnel mines OZM-72, POMZ-2M // Actual problems of protection and security. Proceedings of the 13th All-Russian Scientific and Practical Conference. Technical means of countering terrorism and non-lethal weapons. 2010 Vol. 2. Pp. 125–127.
12. Vasiliev N.N., Spivak A.I., Dmitriev V.Ya. On the issue of experimental assessment of anti-fragmentation resistance of protective structures made of high molecular weight polyethylene, detonation of MON-50 // Actual problems of protection and security. Proceedings of the 13th All-Russian Scientific and Practical Conference. Technical means of countering terrorism. 2010. Vol. 2. Pp. 316–318.
13. Vasiliev N.N., Spivak A.I., Spivak I.A. et al. Features of destruction of plastic cases during detonation of plastic cases // Issues of defense equipment. Series 16. Technical means of counteracting terrorism. 2010, No 11–12. Pp. 99–100.
14. Vasiliev N.N., Spivak A.I., Dmitriev V.Ya. et al. Experimental assessment of anti-fragmentation resistance of the Bastion mobile shelter // Issues of defense equipment. Series 16. Technical means of counteracting terrorism. 2013. No 9–10. Pp. 24–27.
15. Vasiliev N.N., Spivak A.I., Dmitriev V.Ya. et al. Experimental evaluation of ballistic parameters of high-speed striking elements in a high-density fragmentation flow // Issues of defense equipment. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2016. No 7–8. Pp. 76–81.
16. Vasiliev N.N., Spivak A.I., Dmitriev V.Ya. et al. On the issue of assessing the anti-fragmentation resistance of protective structures // Issues of defense equipment. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2014. No 1–2. Pp. 68–72.
17. Puchkov A.S., Spivak A.I., Lantsov Yu.E. Problematic issues of assessing the anti-fragmentation resistance of protective structures // Actual problems of protection and security. Proceedings of the 26th All-Russian Scientific and Practical Conference. Technical means of countering terrorism. 2023. Vol. 2. Pp. 49–52.
18. Puchkov A.S., Spivak A.I., Pechenik R.A. et al. Some current issues of improving the means of protecting the pelvic organs from individual combat equipment // Issues of defense equipment. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2024. No 11–12. Pp. 121–134.

УДК 667.6

doi: 10.53816/23061456_2025_5–6_155

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДЕФЕКТНОСТИ ЭКСПЛУАТИРУЕМОГО ПОЛИМЕРНОГО ПОКРЫТИЯ

PREDICTION OF DEFECTS IN THE OPERATED POLYMER COATING

Канд. техн. наук А.Ю. Андриюшкин, Чжао Чэн, Чжэньнин Ли

Ph.D. A.Yu. Andryushkin, Zhao Cheng, Zhenning Li

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

Полимерное покрытие выполняет различные функции и обуславливает надежность и живучесть техники специального назначения. Эксплуатируемое полимерное покрытие техники специального назначения постепенно деградирует и разрушается. Деградирующее полимерное покрытие снижает надежность и живучесть техники специального назначения, поэтому актуально прогнозирование его дефектности (степени деградации). Выделены влияющие на рост дефектности эксплуатируемого полимерного покрытия факторы. Методом анализа размерностей получено критериальное уравнение для прогнозирования дефектности (степени деградации) полимерного покрытия от времени его эксплуатации. Проведен сравнительный расчет прогнозируемой дефектности полимерного покрытия по полученному критериальному уравнению и известному эмпирическому выражению, показавший близкие результаты.

Ключевые слова: полимерное покрытие, прогнозирование, дефектность, деградация, критериальное уравнение.

The polymer coating performs various functions and ensures the reliability and survivability of special-purpose equipment. The used polymer coating of special-purpose equipment is gradually degraded and destroyed. A degrading polymer coating reduces the reliability and survivability of special-purpose equipment, therefore it is important to predict its defects (degree of degradation). The factors influencing the growth of defects in the exploited polymer coating are highlighted. By the method of dimensional analysis, a criterion equation was obtained for predicting the defect (degree of degradation) of a polymer coating from the time of its operation. A comparative calculation of the predicted defects of the polymer coating was carried out according to the obtained criterion equation and the well-known empirical expression, which showed similar results.

Keywords: polymer coating, forecasting, defect, degradation, criterion equation.

Полимерные покрытия техники специального назначения выполняют различные функции, например маскировка, защита от химического воздействия или агрессивного воздействия окружающей среды и пр. Эксплуатируемые полимерные покрытия постепенно разрушаются и через некоторое время приходят в неработо-

способное состояние, что снижает надежность и живучесть техники специального назначения. Деградация полимерного покрытия выражается в изменении его состава и структуры. С течением времени наблюдается увеличение концентрации одних компонентов в составе полимерного покрытия и уменьшение других. В структуре

полимерного покрытия появляются и развиваются дефекты (поры, трещины, расслоения), растет его дефектность. Эти деструктивные процессы ухудшают показатели качества полимерного покрытия: прочность, изоляционную способность, химическую стойкость и пр. Поэтому актуально прогнозирование дефектности эксплуатируемого полимерного покрытия [1–13].

Целью исследования является нахождение методом анализа размерностей критериального уравнения для прогнозирования дефектности (степени деградации) эксплуатируемого полимерного покрытия.

Задачами исследования являются:

1. Анализ параметров, влияющих на изменение дефектности полимерного покрытия во время эксплуатации;
2. Установление методом анализа размерностей критериального уравнения для прогнозирования дефектности (степени деградации) эксплуатируемого полимерного покрытия;
3. Сравнительный расчет прогнозируемой дефектности полимерного покрытия по установленному критериальному уравнению и по известной эмпирической зависимости.

Установление критериального уравнения для прогнозирования дефектности (степени деградации) эксплуатируемого полимерного покрытия

Степень деградации показывает, насколько увеличилась дефектность полимерного покрытия, и может ли она быть определена как отношение разности текущей и начальной (производственной) дефектности к начальной дефектности. Выделим основные параметры, обуславливающие возникновение и рост дефектов полимерного покрытия: действующие напряжения σ_d ; время эксплуатации τ_3 ; температура эксплуатации T_3 ; теплостойкость $T_{ст}$; толщина H_n ; плотность ρ_n . Следовательно, степень деградации является функцией этих параметров [14, 15]:

$$D = \frac{g_t(\tau_3) - g_n}{g_n} = f(\sigma_d; \tau_3; T_3; T_{ст}; H_n; \rho_n), \quad (1)$$

где D — степень деградации полимерного покрытия;

g_t — текущая дефектность полимерного покрытия;

g_n — начальная дефектность полимерного покрытия;

σ_d — действующие напряжения в полимерном покрытии, Па;

τ_3 — время эксплуатации полимерного покрытия, с;

T_3 — температура эксплуатации полимерного покрытия, К;

$T_{ст}$ — теплостойкость полимерного покрытия, К;

H_n — толщина полимерного покрытия, м;

ρ_n — плотность полимерного покрытия, кг/м³.

Для получения зависимости (1) в виде критериального уравнения воспользуемся методом анализа размерностей (методом Рэлея) [14, 15]:

$$D = \frac{g_t(\tau_3) - g_n}{g_n} = C \cdot \left(\frac{T_3}{T_{ст}} \right)^a \cdot \sigma_d^{x_1} \cdot \tau_3^{x_2} \cdot H_n^{x_3} \cdot \rho_n^{x_4}, \quad (2)$$

где $\frac{T_3}{T_{ст}}$ — безразмерный симплекс;

a, x_1, x_2, x_3, x_4 — безразмерные показатели степеней;

C — безразмерный коэффициент.

Размерности представленных в выражении (2) величин в системе СИ следующие:

$$[\sigma_d] = \text{Па} = \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}^2}; \quad [\tau_3] = \text{с}; \quad [T_3] = \text{К};$$

$$[T_{ст}] = \text{К}; \quad [H_n] = \text{м}; \quad [\rho_n] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}. \quad (3)$$

Подставим размерности (3) в выражение (2):

$$D = \frac{g_t(\tau_3) - g_n}{g_n} = C \cdot \left(\frac{\text{К}}{\text{К}} \right)^a \cdot \left(\frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}^2} \right)^{x_1} \cdot (\text{с})^{x_2} \cdot (\text{м})^{x_3} \cdot \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right)^{x_4}.$$

Суммируя показатели степеней при одинаковых единицах измерений, получим систему из трех уравнений:

$$\begin{aligned} [\text{кг}]: 0 &= x_1 + x_4; \\ [\text{м}]: 0 &= -x_1 + x_3 - 3 \cdot x_4; \\ [\text{с}]: 0 &= -2 \cdot x_1 + x_2. \end{aligned} \quad (4)$$

Решение системы алгебраических уравнений (4) дает следующие зависимости для показателей степеней:

$$x_2 = 2 \cdot x_1; x_3 = -2 \cdot x_1; x_4 = -x_1. \quad (5)$$

Подставляя полученные зависимости (5) в выражение (2), получим критериальное уравнение:

$$D = \frac{g_t(\tau_3) - g_n}{g_n} = C \cdot \left(\frac{T_3}{T_{ст}} \right)^a \cdot \left(\frac{\sigma_d \cdot \tau_3^2}{H_n^2 \cdot \rho_n} \right)^{x_1}. \quad (6)$$

Из выражения (6) определим текущую дефектность полимерного покрытия:

$$g_t(\tau_3) = g_n + g_n \cdot C \cdot \left(\frac{T_3}{T_{ст}} \right)^a \cdot \left(\frac{\sigma_d \cdot \tau_3^2}{H_n^2 \cdot \rho_n} \right)^{x_1} \leq [g], \quad (7)$$

где $[g]$ — допустимая дефектность полимерного покрытия.

Значения коэффициента C и показателей степеней a и x_1 в выражении (7) определяют экспериментально.

Прогнозирование дефектности эксплуатируемого полимерного покрытия

Для определения значений коэффициента C и показателей степеней a и x_1 в выражении (7) можно рассчитать текущую дефектность полимерного покрытия по известным эмпирическим выражениям зависимости текущей дефектности эксплуатируемого полимерного покрытия от времени. Например, известно эмпирическое выражение для прогнозирования дефектности полимерного покрытия от времени эксплуатации, учитывающее начальную дефектность, агрессивность окружающей среды и срок службы, заявленный изготовителем [16–17]:

$$g_t(\tau_3) = (g_n)^{(1 - (\tau_3 / [\tau_3])^{K_{ар}})} \leq [g], \quad (8)$$

где $K_{ар}$ — константа, характеризующая агрессивность окружающей среды ($K_{ар} > 0$);

$[\tau_3]$ — назначенный изготовителем срок службы полимерного покрытия, сутки.

Дадим прогноз увеличения дефектности полимерного покрытия по выражению (7) и (8) при следующих исходных данных:

- начальная дефектность $g_n = 0,02$;
- назначенный изготовителем срок службы $[\tau_3] = 700$ суток;
- константа, характеризующая агрессивность окружающей среды $K_{ар} = 5,0$;
- время эксплуатации $\tau_3 = 0 \div 500$ суток;
- температура эксплуатации полимерного покрытия $T_3 = 323$ K;
- теплостойкость полимерного покрытия $T_{ст} = 383$ K;
- действующие напряжения в полимерном покрытии $\sigma_d = 1,0$ МПа;
- толщина полимерного покрытия $H_n = 4,0$ мм;
- плотность полимерного покрытия $\rho_n = 1900,0$ кг/м³;
- безразмерный коэффициент $C = 1 \cdot 10^{-8}$;
- безразмерные показатели степеней $a = 0,0662$; $x_1 = 0,4253$.

Расчет по выражениям (7) и (8) показывает, что зависимости текущей дефектности полимерного покрытия от времени эксплуатации весьма близки (рисунок). Если принять допустимую дефектность полимерного покрытия $[g] = 20$ %, то в заданных условиях текущая дефектность достигнет допустимого значения через 90...110 суток, при этом степень деградации составит $D = 9,0$. При превышении текущей дефектности допустимого значения $g_t > [g]$ полимерное покрытие неработоспособно.

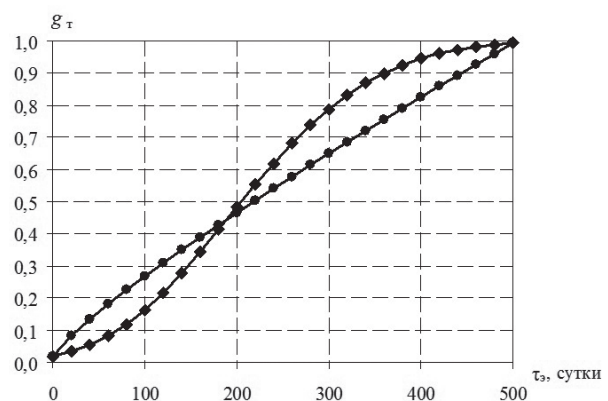


Рис. Зависимость текущей дефектности полимерного покрытия g_t от времени эксплуатации τ_3 :

- по выражению (7);
- ◆— по выражению (8)

Выводы

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы.

Установлены параметры, влияющие на увеличение дефектности полимерного покрытия техники специального назначения во время эксплуатации.

Методом анализа размерностей получено критериальное уравнение для прогнозирования дефектности (степени деградации) эксплуатируемого полимерного покрытия.

Проведен сравнительный расчет прогнозируемой дефектности полимерного покрытия по установленному критериальному уравнению и по известной эмпирической зависимости, показавший сходство результатов.

Список источников

1. Анастасиади Г.П., Окрепилов В.В., Сильников М.В. Управление качеством промышленной продукции. СПб.: Наука, 2014. 412 с.

2. Рогов В.Р., Анисимов В.Р., Исаченко Е.А. Направление развития технологий для повышения антикоррозионной устойчивости автотранспортных средств // Грузовик. 2019. № 8. С. 16–18.

3. Сергеевичев А.В., Онегин В.И. Физико-химические основы процессов формирования полимерных покрытий на твердой поверхности // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018. Вып. 223. СПб.: СПбГЛТУ. С. 213–227.

4. Королев В.П. Требования качества, надежности и безопасности для управления коррозионной защищенностью металлоконструкций и сооружений // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2018. Т. 4, № 3. С. 24–32.

5. Новоселова И.В., Патютко А.П. Обобщенная оценка свойств лакокрасочного покрытия // Лесотехнический журнал. 2013. № 3 (11). С. 99–103.

6. Гаврилов Д.Г., Мамонов С.В., Мартирозов М.И., Рабинский Л.Н. Сравнительная характеристика прочностных свойств образцов с различными типами покрытий для изделий авиационной техники // Электронный журнал «Труды МАИ», 2010. № 40. 10 с.

7. Кравцов В.В. Защита от коррозии внутренней поверхности стальных резервуаров: учеб. пособие. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2003. 111 с.

8. Лапшин В.Ф., Буткин М.Г. Прогнозирование долговечности противокоррозионных покрытий // Железнодорожный транспорт. 2003. № 1. С. 48–49.

9. Суходоля А.В., Одинокоева И.В., Птицын Д.А. Прогнозирование долговечности лакокрасочных покрытий при эксплуатации транспортных машин // Строительные и дорожные машины. 2015. № 3. С. 35–37.

10. Потапчик А.Н., Егорова А.Л. Разработка метода прогнозирования долговечности антикоррозионных лакокрасочных покрытий // Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. 2021. № 2 (247). С. 175–186.

11. Кравцов В.В., Макаренко О.А., Ибрагимов И.Г. Количественная оценка срока службы лакокрасочных покрытий на внутренних поверхностях стальных резервуаров // Нефтегазовое дело. 2009. Т. 7, № 2. С. 112–114.

12. Кравцов В.В., Сырлыбаев Х.Р., Шингаркина О.В., Алексеева Н.А. Оценка остаточной защитной способности лакокрасочных покрытий на внутренней поверхности стальных резервуаров // Территория Нефтегаз. 2012. № 3. С. 36–39.

13. Петров А.А., Садиев У.В. Прогнозирование долговечности конструкций ГТС с антикоррозионным и герметизирующим покрытием // Гидротехника. 2019. № 3 (56). С. 76–77.

14. Архипов В.А., Коноваленко А.И. Практикум по теории подобия и анализу размерностей: учеб.-метод. пособие. Томск: Изд-во Томского государственного университета, 2016. 93 с.

15. Крамаренко Н.В. Методы подобия в механике. Анализ размерностей: учеб. пособие. Новосибирск: Изд-во НГТУ. 2020. 212 с.

16. Андрияшкин А.Ю., Буцкин Е.Б., Кадочникова Е.Н. Прогнозирование срока службы антикоррозионных покрытий металлических конструкций объектов переработки, хранения и транспортировки углеводородов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 3 (67). С. 79–88.

17. Андрияшкин А.Ю., Кадочникова Е.Н., Пенев М.В. Прогнозирование сплошности маскировочных лакокрасочных покрытий вооружения и военной техники // Научные проблемы материально-технического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации. 2024. № 4 (34). С. 135–144.

References

1. Anastasiadi G.P., Okrepilov V.V., Silnikov M.V. Quality management of industrial products. St. Petersburg: Nauka, 2014. 412 p.
2. Rogov V.R., Anisimov V.R., Isachenko E.A. The direction of technology development for increasing the anti-corrosion resistance of motor vehicles // *Truck*. 2019. № 8. Pp. 16–18.
3. Sergeevichev A.V., Onegin V.I. Physico-chemical foundations of the formation of polymer coatings on a solid surface // *Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy*. 2018. Issue 223. Pp. 213–227.
4. Korolev V.P. Quality, reliability and safety requirements for corrosion protection management of metal structures and structures // *Bulletin of Science and Education of the North-West of Russia*. 2018. Vol. 4. № 3. Pp. 24–32.
5. Novoselova I.V., Patyutko A.P. Generalized assessment of paint and varnish coating properties // *Forestry engineering magazine*. 2013. № 3 (11). Pp. 99–103.
6. Gavrilov D.G., Mamonov S.V., Martirosov M.I., Rabinsky L.N. Comparative characteristics of strength properties of samples with various types of coatings for aircraft products // *Electronic journal «Proceedings of MAI»*, 2010. № 40. 10 p.
7. Kravtsov V.V. Corrosion protection of the inner surface of steel tanks: A textbook. Ufa: Publishing house of USNTU, 2003. 111 p.
8. Lapshin V.F., Butkin M.G. Forecasting the durability of anticorrosive coatings // *Railway transport*. 2003. № 1. Pp. 48–49.
9. Sukhodolya A.V., Odinkova I.V., Ptit-syn D.A. Forecasting the durability of paint coatings during the operation of transport vehicles // *Construction and road vehicles*. 2015. № 3. Pp. 35–37.
10. Potapchik A.N., Egorova A.L. Development of a method for predicting the durability of anticorrosive paint coatings // *Proceedings of BSTU. Series 2: Chemical technologies, biotechnology, geoecology*. 2021. № 2 (247). Pp. 175–186.
11. Kravtsov V.V., Makarenko O.A., Ibragimov I.G. Quantitative assessment of the service life of paint coatings on the inner surfaces of steel tanks // *Oil and gas business*. 2009. Vol. 7. № 2. Pp. 112–114.
12. Kravtsov V.V., Syrlybaev H.R., Shingarkina O.V., Alekseeva N.A. Assessment of the residual protective ability of paint and varnish coatings on the inner surface of steel tanks // *The territory of Neftegaz*. 2012. № 3. Pp. 36–39.
13. Petrov A.A., Sadiev U.V. Forecasting the durability of GTS structures with anticorrosive and sealing coating // *Hydraulic Engineering*. 2019. № 3 (56). Pp. 76–77.
14. Arkhipov V.A., Konovalenko A.I. Practicum on similarity theory and dimensional analysis. Educational and methodical manual. Tomsk: Tomsk State University Press. 2016. 93 p.
15. Kramarenko N.V. Methods of similarity in mechanics. Dimensional analysis: a textbook. Novosibirsk: NSTU Publishing House. 2020. 212 p.
16. Andryushkin A.Yu., Bukikin E.B., Kadochnikova E.N. Forecasting the service life of anti-corrosive coatings of metal structures of objects of processing, storage and transportation of hydrocarbons // *Problems of risk management in the technosphere*. 2023. № 3 (67). Pp. 79–88.
17. Andryushkin A.Yu., Kadochnikova E.N., Penev M.V. Forecasting the continuity of masking paints and varnishes // *Scientific problems of material and technical support of the Armed Forces of the Russian Federation*. 2024. № 4 (34). Pp. 135–144.

УДК 623.5

doi: 10.53816/23061456_2025_5–6_160

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОСКОСТНОЙ АНИЗОТРОПИИ,
А ТАКЖЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
В КОМПОЗИТНОМ МАТЕРИАЛЕ ИЗ ГИБКОЦЕПНОГО ПОЛИМЕРА**

**RESEARCH OF THE IN-PLANE ANISOTROPY AND THE CORRELATION
BETWEEN PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES IN THE COMPOSITE
MATERIAL FROM FLEXIBLE POLYMER**

К.О. Каранина, д-р техн. наук Н.М. Сильников, О.С. Новак, Л.С. Жукова

K.O. Karanina, D.Sc. N.M. Silnikov, O.S. Novak, L.S. Zhukova

НПО Спецматериалов

В статье рассматриваются механизмы воздействия воды на нетканый текстильный материал из СВМПЭ-волокна и их влияние на защитные свойства. СВМПЭ-волокна обладают высокой прочностью и легкостью при ограничении их эксплуатационных характеристик, таких как температура плавления (135–190 °С) и воздействие воды. Исследование направлено на проверку гипотезы о наличии прямой корреляции между защитными свойствами и водопоглощением СВМПЭ-волокон. Для этого проведены испытания на водопоглощение и определение противоосколочной стойкости $V_{50\%}$ с использованием осколка в качестве поражающего элемента, что позволило оценить влияние водопоглощения на защитные характеристики материала. Однако тенденция к прямой линейной зависимости показала необходимость в дальнейшем изучении исследуемого явления, основанного в том числе на эффекте капиллярного давления и эффекте набухания полимерных макромолекул.

Ключевые слова: гибкоцепной полимер, волокно из мультифиламента, СВМПЭ-волокна, водопоглощение, защитные свойства, противоосколочная стойкость, закон Гука, модуль Юнга, диаграмма нагружения, анизотропия.

The article considers mechanisms of water influence on non-woven textile material from UHMWPE-fiber and their effect on protective properties. UHMWPE-fiber has high strength and lightness while limiting its operational characteristics, such as melting temperature (135–190 °C) and water exposure. The study is aimed at testing the hypothesis of a direct correlation between protective properties and water absorption UHMWPE-fiber. The water absorption tests were carried out and the shrapnel resistance $V_{50\%}$ was determined using a chip as a target, which allowed to evaluate the effect of water absorption on the protective characteristics of the material. However, the trend towards direct linear dependence has shown the need for further study of the phenomenon under investigation, based on capillary pressure and swelling effect of polymer macromolecules.

Keywords: flexible polymer, multifilament fiber, UHMWPE-fiber, absorption of water, protective properties, fragments resistance, Hooke law, Young module, loading diagram, anisotropy.

Введение

Композитные материалы на основе мультифиламентного волокна из гибкоцепного полимера находят широкое применение в различных областях, включая создание средств общей и индивидуальной защиты [1]. Высокие удельные характеристики гибкоцепного полимера, такие как прочность и стойкость к ударным воздействиям, а также высокая гибкость делают его популярным и универсальным материалом для изготовления легких и эффективных защитных элементов [2, 10, 11].

Одним из ключевых аспектов, определяющих баллистическую эффективность композитного материала из мультифиламентного волокна из гибкоцепного полимера, является его структура и, как следствие, анизотропия физико-механических свойств [3]. Анизотропия, то есть зависимость свойств материала от направления, может существенно влиять на его поведение при ударном воздействии, определяя механизм деформации и поглощения энергии [4].

Основная часть

В связи с этим, настоящее исследование посвящено изучению плоскостной анизотропии физико-механических свойств композитного материала из мультифиламентного волокна из гибкоцепного полимера. Целью работы является определение степени анизотропии свойств материала в плоскости, а также выявление взаимосвязи между различными физико-механическими характеристиками, а именно между поверхност-

ной плотностью, водопоглощением и средней скоростью имитатора осколка при непробитии мягкого блока из СВМПЭ-волокна после выдержки мягкого блока в воде в течение 1 часа, а также модулем Юнга. Полученные результаты позволяют углубить понимание поведения композитного материала из мультифиламентного волокна из гибкоцепного полимера при воздействии имитатором осколка на мягкий блок после выдержки в воде в течение 1 часа и оптимизировать их структуру для повышения защитных свойств.

Для исследования степени плоскостной анизотропии физико-механических свойств в мультифиламентном волокне из гибкоцепного полимера было выбрано направление, параллельное намотке материала в рулоне, и перпендикулярное направление, параллельное ширине материала в рулоне. В произведенном рулоне с мультифиламентным волокном из гибкоцепного полимера в количестве 214 пог. м был произведен забор материала в начале и в конце рулона в количестве по 7 пог. м каждого для проведения всех видов испытания. Для изготовления образцов каждый материал был разлинован на три части вдоль направления намотки в соответствии с ориентацией лево–середина–право, как показано на рис. 1.

На данном этапе были подготовлены образцы на испытания в количестве, установленном в табл. 1.

Для измерения водопоглощения были подготовлены образцы из СВМПЭ-волокна (рис. 2) размером 100×150 мм. Испытания поверхностной плотности проходили по ГОСТ 3811–72 [5],

Таблица 1

Список образцов и испытаний

Вид испытаний Наименование образцов	Водопоглощение, %	Модуль Юнга, МПа	Плотность, г/м ²	$V_{50\%}$ после выдержки в воде в течение 1 часа, м/с
НЛ (начало/ лево)	3	6	3	1
НС (начало/ середина)	3	6	3	1
НП (начало/ право)	3	6	3	1
КЛ (конец/ лево)	3	6	3	1
КС (конец/ середина)	3	6	3	1
КП (конец/ право)	3	6	3	1



Рис. 1. Ориентация в мультифиламентном волокне из гибкоцепного полимера

испытания на водопоглощение проходили по ГОСТ 3816–81 первому способу [6].

Образцы на определение модуля Юнга представляют собой прямоугольники размером 200×10 мм (рис. 3). Испытания проходили по ГОСТ 32656–2017 [7], скорость движения траверсы была выбрана опытным путем и составила 10 мм/мин.

Образцы для баллистических испытаний по классу защиты С2 на определение средней скорости непробития имитатором осколка по ГОСТ Р 55623–2013 представляют собой мягкие блоки размером 320×240 мм с поверхностной плотностью 3,2 кг/м² [8], рис. 4.

Усредненные результаты испытаний на водопоглощение и определение поверхностной плотности представлены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что между поверхностной плотностью материала и его водопоглощением нет прямой зависимости, поскольку при повышении поверхностной плотности на 8,9 % от среднего по шести значениям, водопоглощение не возрастает, из чего можно сделать вывод о том, что на водопоглощение влияет не удельная масса материала, а иные факторы, которые пред-

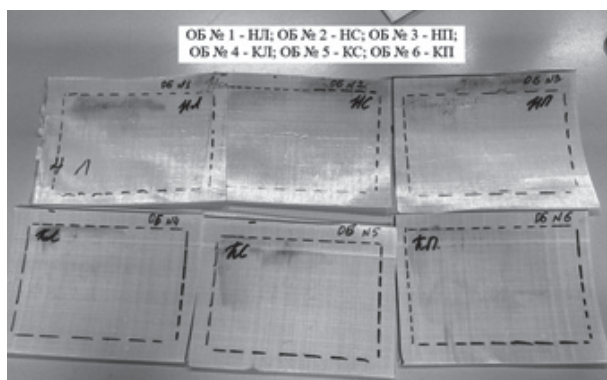


Рис. 2. Образцы из СВМПЭ-волокна для измерения поверхностной плотности и водопоглощения



Рис. 3. Образцы из СВМПЭ-волокна для определения модуля Юнга

положительно связаны с составом полимерной матрицы, фиксирующей мультифиламентное волокно из гибкоцепного полимера на полимерном экране, а также со спецификой структуры композитного материала.

Поскольку мультифиламентное волокно из гибкоцепного полимера обладает низкой гигроскопичностью, водопоглощение в большей мере происходит не за счет сдвига межмолекулярных связей, а благодаря диффузии воды в поры и микротрещины в структуре композитного мате-

Таблица 2

Усредненные результаты испытаний на водопоглощение и определение поверхностной плотности

Образец	Поверхностная плотность, г/м ²	Водопоглощение, %
ОБ № 1 — КЛ	179,221	2
ОБ № 2 — КС	181,300	3
ОБ № 3 — КП	181,914	2
ОБ № 4 — НЛ	167,782	3
ОБ № 5 — НС	166,383	2
ОБ № 6 — НП	167,467	2

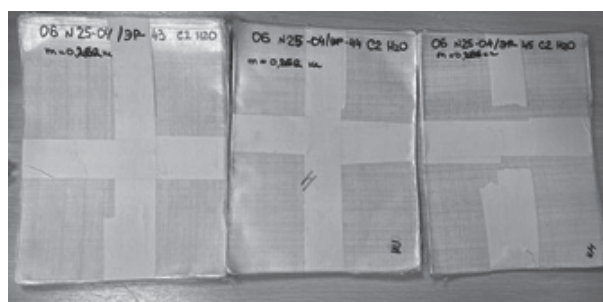
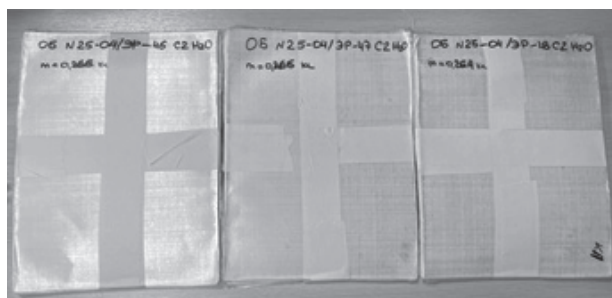


Рис. 4. Образцы из СВМПЭ-волокна для испытаний по классу защиты C2

риала из мультифиламентного волокна из гибкоцепного полимера [9].

Диаграммы нагружения образцов представлены на рис. 5–10. Каждый график представляет собой совокупность единичных результатов испытаний. С каждого наименования в материале было подготовлено по 6 образцов. На рис. 5–10 представлены результаты испытаний только тех образцов, растяжение которых происходило в рабочей области образца (рис. 12). Поскольку СВМПЭ-волокна представляют собой поперечно направленный материал, результаты по испытаниям на растяжение получены из слоев, направленных вдоль направления оказываемой в ходе испытаний нагрузки. Факт наличия деформации в рабочей области зафиксирован визуально по внешнему виду поперечного слоя в образце (рис. 11), а также на диаграммах нагружения (рис. 5–10). На продольных слоях структуры визуально зафиксировать растяжение невозможно, что говорит о том, что оно происходит на микроскопическом уровне.

Каждую диаграмму можно разделить на несколько участков, описывающих определен-

ные процессы, происходящие в композитном материале из мультифиламентного волокна из гибкоцепного полимера:

- I — участок упругой деформации;
- II — участок предельной упругости;
- III — участок упрочнения;
- IV — участок пластической деформации;
- V — зона разрушения.

На основании вышеперечисленного, можно выдвинуть гипотезу о том, что при воздействии одноосного растяжения на образцы из мультифиламентного волокна из гибкоцепного полимера, материал ведет себя так, что в первую очередь происходят упругие деформации за счет растяжения молекул мультифиламентного волокна из гибкоцепного полимера вдоль прикладываемой нагрузки, поскольку структура макромолекулы мультифиламентного волокна из гибкоцепного полимера в стандартных условиях зигзагообразная.

После участка предельной упругости, при котором остаточные деформации не превышают более 0,05 %, начинается участок упрочнения, связанный, предположительно, с наличием слоев

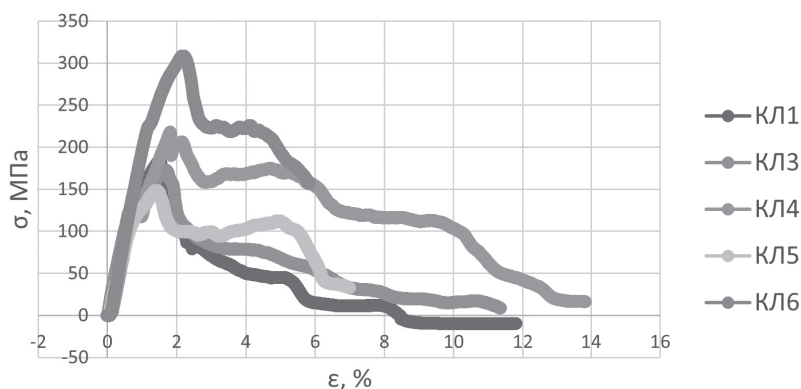


Рис. 5. Диаграмма нагружения образцов, взятых с конца намотки СВМПЭ-волокна в рулоне слева

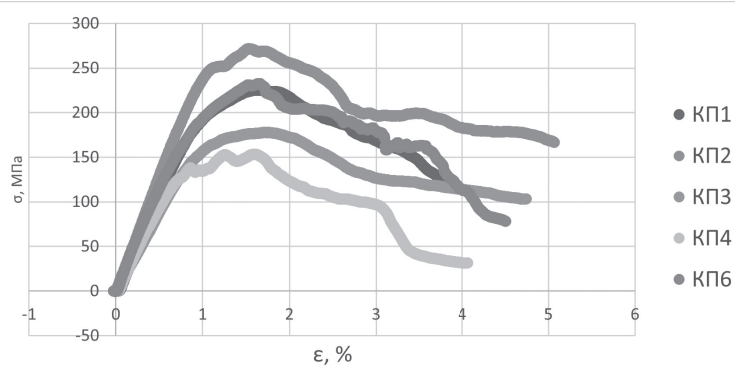


Рис. 6. Диаграмма нагружения образцов, взятых с конца намотки СВМПЭ-волокна в рулоне справа

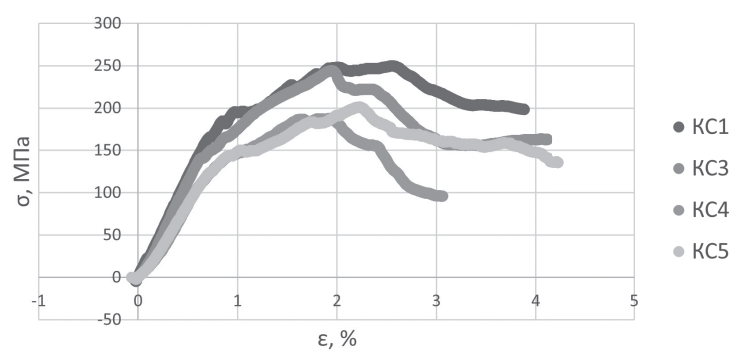


Рис. 7. Диаграмма нагружения образцов, взятых с конца намотки СВМПЭ-волокна в рулоне с середины

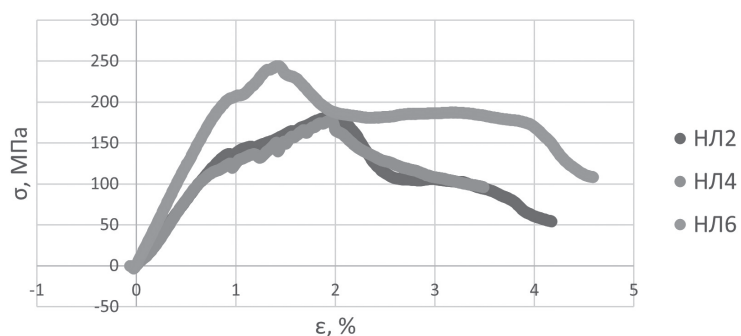


Рис. 8. Диаграмма нагружения образцов, взятых с начала намотки СВМПЭ-волокна в рулоне слева

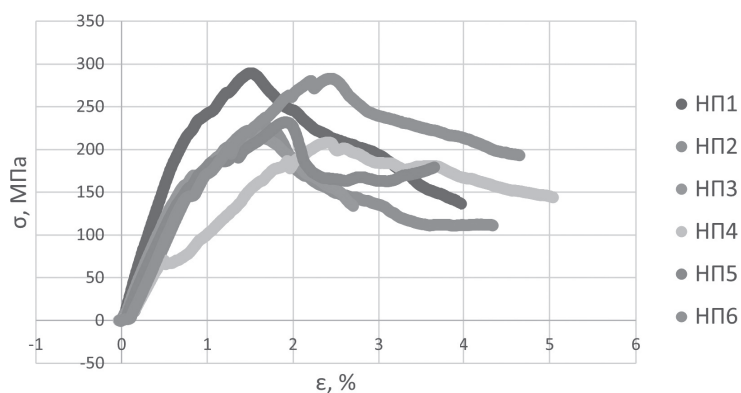


Рис. 9. Диаграмма нагружения образцов, взятых с начала намотки СВМПЭ-волокна в рулоне справа

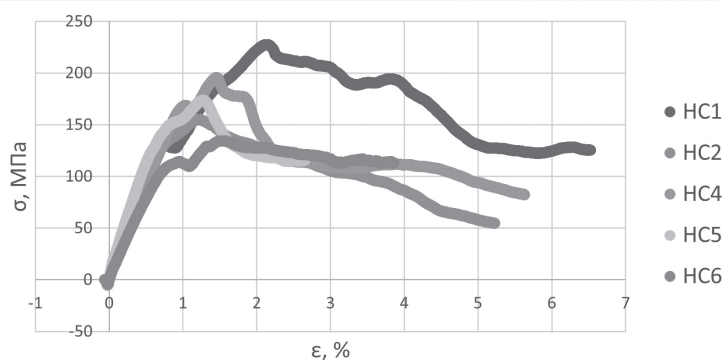


Рис. 10. Диаграмма нагружения образцов, взятых с начала намотки СВМПЭ-волокна в рулоне с середины

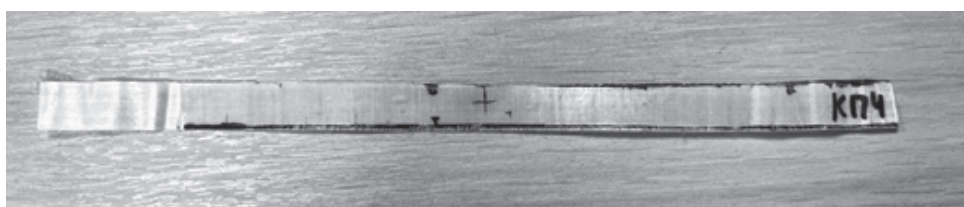


Рис. 11. Пример образца с разрывом в рабочей области

в материале, расположенных поперечно основному и выполняющих армирующую функцию, поскольку помимо растяжения основных слоев растягиваются и поперечно направленные. Для данного участка характерен рост напряжения при небольшом увеличении деформации.

Как только поперечные слои перестают оказывать армирующую функцию, на диаграмме появляется резкий «спад» в напряжении. После данного участка идет область пластической деформации, при которой слои в основном направлении продолжают разрушаться

практически без нагрузки. После области пластической деформации идет разрушение, о чем говорит постоянное снижение нагрузки при увеличении деформации.

Из участка пропорциональности по каждой диаграмме (рис. 6–11) получено уравнение прямой, коэффициент пропорциональности которой по закону Гука равен модулю Юнга (табл. 3).

По каждому наименованию образцов произведен расчет среднеквадратичного отклонения, а также общего среднеквадратического отклонения по модулю Юнга (табл. 3).

Таблица 3

Результаты вычисления среднеквадратичного отклонения по модулю Юнга

	№ образца	КЛ	КС	КП	НЛ	НС	НП	Общее
Модуль Юнга, МПа	1	23336,0	24590,9	22609,7	— ¹	19725,6	31687,8	
	2	— ¹	— ¹	25899,5	15984,7	19523,7	22088,1	
	3	19442,4	24611,3	17820,5	— ¹	— ¹	23685,0	
	4	20947,5	21164,9	21145,5	17544,2	17957,7	18155,14	
	5	17634,4	19493,3	—	— ¹	21170,7	22250,3	
	6	22022,8	— ¹	22022,8	23913,8	14583,0	23114,4	
Среднее значение, МПа		20676,6	22465,1	21900,0	19147,6	18592,2	23496,8	21218,8
S, МПа		2221,3	2559,1	2903,7	4200,7	2513,8	4457,5	3450,9
%		10,7	11,4	13,3	21,9	13,5	19,0	16,3

¹ — Значение отсутствует по причине разрыва образца в зажиме

Разброс по значениям более 10 % приемлем для данного объема выборки. Разница в значениях, предположительно, связана с тем, что комплексная нить из гибкоцепного полимера представляет собой мультифиламент (рис. 12), и каждый поврежденный филамент (пример на рис. 13) влияет на прочностные характеристики как самой комплексной нити, так и материала, выполненного из нее.

Модуль Юнга мультифиламентного волокна из гибкоцепного полимера по значению близок

к бетону, у которого справочное значение по модулю Юнга находится в пределах 14,6–23,2 ГПа.

На основании результатов, табл. 4 были выведены точки на двумерную систему координат, на оси абсцисс которой расположены значения модуля Юнга, а на оси ординат — средняя скорость не пробития имитатором осколка (рис. 14). Данный объем выборки демонстрирует нелинейную зависимость между параметрами, однако тенденция восходящая. Тем не менее для того, чтобы сформировать более полное представле-

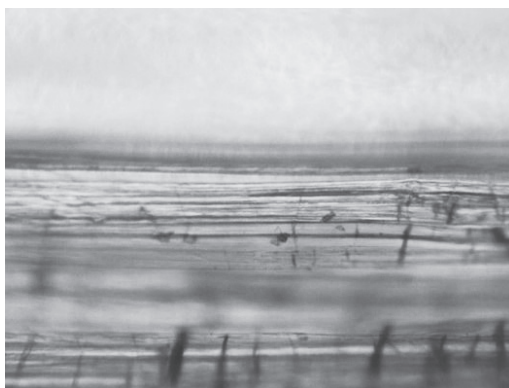


Рис. 12. Комплексная нить из гибкоцепного полимера под микроскопом SK2009 (Saikedigital) при увеличении в 40 раз

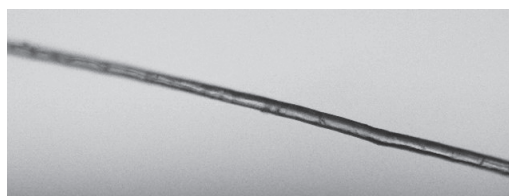


Рис. 13. Филамент комплексной нити из гибкоцепного полимера под микроскопом SK2009 (Saikedigital) при увеличении в 100 раз

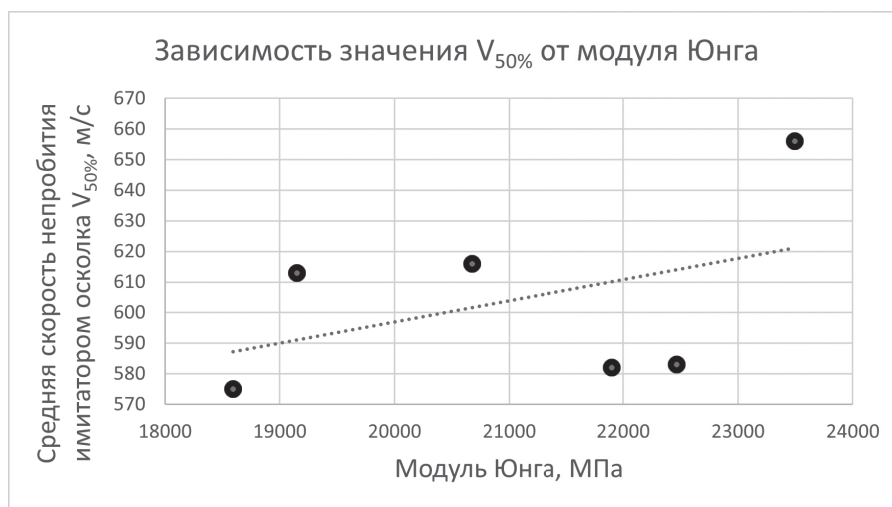


Рис. 14. График зависимости средней скорости не пробития имитатором осколка от модуля Юнга

Результаты испытаний мягких блоков из СВМПЭ-волокна по классу защитной структуры С2 после выдержки в воде в течение 1 часа и расчета модуля Юнга

Наименование образца	Масса образца, кг	$V_{50\%}$, м/с	Модуль Юнга, МПа
КЛ	0,262	616	20676,6
КС	0,262	583	22465,1
КП	0,266	582	21900,0
НЛ	0,266	613	19147,6
НС	0,266	575	18592,2
НП	0,264	656	23496,8

ние о характере зависимости, необходимо продолжать дальнейшие испытания.

Заключение

Таким образом, положено начало для исследования взаимосвязи между физико-механическими свойствами мультифиламентного волокна из гибкоцепного полимера. При изучении объема выборки, табл. 1, было определено, что на водопоглощение материала (табл. 2), выполненного из мультифиламентного волокна из гибкоцепного полимера, влияет множество факторов, в том числе состав полимерной матрицы, фиксирующей мультифиламентное волокно из гибкоцепного полимера на полимерном экране, а также капиллярное давление, образующееся в порах композитного материала.

К тому же рассмотрено поведение мультифиламентного волокна из гибкоцепного полимера при воздействии одноосного растяжения постоянной скоростью поднятия траверсы разрывной машины (рис. 5–10). При построении диаграммы нагружения образцов видно, что они ведут себя типично для композитного многослойного материала. На основании испытаний на растяжение была выдвинута гипотеза о том, что по участку упрочнения на диаграмме можно судить о степени адгезии между слоями в мультифиламентном волокне из гибкоцепного полимера.

Также на основании построенных диаграмм нагружения по каждому из образцов были получены значения модуля Юнга, которые в данной статье сопоставлены с результатами испы-

таний мягких блоков из СВМПЭ-волокна по классу защиты С2 после выдержки в воде в течение 1 часа. Полученный график зависимости средней скорости имитатора осколка от модуля Юнга, рис. 14, показал восходящую тенденцию, однако для получения более точной зависимости, на основании которой возможно было бы составить уравнение, необходимо продолжать исследование, наращивая объем выборки образцов из мультифиламентного волокна из гибкоцепного полимера.

Список источников

1. Сильников М.В., Химичев В.А. Средства индивидуальной бронезащиты. СПб.: Фонд «Университет», 2000. 480 с.
2. Сильников Н.М., Рябов В.А., Михайлин А.И. Особенности разработки бронеодежды для скрытого ношения // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2017. № 9–10. С. 31–36.
3. Многослойная броня: пат. 2579349 Рос. Федерация. № 2015104226/12; заявл. 02.09.15; опубл. 10.04.16, Бюл. № 10. 6 с.
4. М. Jones Robert. Mechanics of composite materials: 2nd ed. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, 1999. 538 p.
5. ГОСТ 3811–72. Материалы текстильные. Ткани, нетканые полотна и штучные изделия. Методы определения линейных размеров, линейной и поверхностной плотности. М.: Московский печатник, 1972. 15 с.
6. ГОСТ 3816–81. Полотна текстильные. Методы определения гигроскопических и водо-

отталкивающих свойств. М.: Московский печатник, 1981. 14 с.

7. ГОСТ 32656–2017. Композиты полимерные. Методы испытаний. Испытания на растяжение. М.: Стандартинформ, 2017. 31 с.

8. ГОСТ Р 55623–2013. Бронеодежда. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2014. 10 с.

9. Rajendra P. Prasad, Prakash J.N., Manjunath L.H. Effect of process parameters on wear behavior and water absorption of UHMWPE fabric reinforced epoxy composites // *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. 2018. Vol. 10. № 01. Pp. 543–549. URL: https://www.researchgate.net/publication/331043733_Effect_of_process_parameters_on_wear_behavior_and_water_absorption_of_UHMWPE_fabric_reinforced_epoxy_composites (дата обращения: 21.05.2025)

10. Сильников Н.М., Фомичев А.Б., Гук И.В. и др. Применение сверхвысокомолекулярного полиэтилена «Руссил» для защиты корпусных конструкций судов. Новые технологии в судостроении НТС-2023: сб. тр. / Отраслевая научно-техническая конференция. Санкт-Петербург, 2023. С. 141–146.

11. Галыгин В.Е., Баронин Г.С., Таров В.П., Завражин Д.О. Современные технологии получения и переработки полимерных материалов: учеб. пособие. Тамбов: Изд-во Тамбовского государственного технического университета, 2012. 180 с.

References

1. Silnikov M.V., Khimichev V.A. Means of individual armor protection. St. Petersburg: University Foundation, 2000. 480 p.

2. Silnikov N.M., Ryabov V.A., Mikhailin A.I. Features of the development of armor for concealed wear // *Issues of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism*. 2017. No 9–10. Pp. 31–36.

3. Multilayer armor: patent for invention RU 2579349 of 04/10/2016.

4. M. Jones Robert. *Mechanics of composite materials*: 2nd ed. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, 1999. 538 p.

5. GOST 3816–81. Textile fabrics. Methods for determining hygroscopic and water-repellent properties. Moscow: Moskovsky pechatnik, 1981. 14 p.

6. GOST R 55623–2013. Armour resistance. Test methods. Moscow: Standartinform, 2014. 10 p.

7. GOST 32656–2017. Polymer composites. Test methods. Tensile testing. Moscow: Standartinform, 2017. 31 p.

8. GOST R 55623–2013. Armored clothing. Test methods. Moscow: Standartinform, 2014. 10 p.

9. Rajendra P. Prasad, Prakash J.N., Manjunath L.H. Effect of process parameters on wear behavior and water absorption of UHMWPE fabric reinforced epoxy composites // *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. 2018. Vol. 10, № 01. Pp. 543–549. URL: https://www.researchgate.net/publication/331043733_Effect_of_process_parameters_on_wear_behavior_and_water_absorption_of_UHMWPE_fabric_reinforced_epoxy_composites (date of reference: 21.05.2025).

10. Silnikov N.M., Fomichev A.B., Guk I.V. et al. The use of ultra-high molecular weight polyethylene «Russil» for the protection of hull structures of ships. New technologies in shipbuilding NTS-2023: collection of tr. / Branch scientific and technical conference. Saint Petersburg, 2023. Pp. 141–146.

11. Galygin V.E., Baronin G.S., Tarov V.P., Zavrzhin D.O. Modern technologies for the production and processing of polymer materials: textbook. stipend. Tambov: Publishing House of Tambov State Technical University, 2012. 180 p.

УДК 613.6.02-057.36[331.451:614.3](045)

doi: 10.53816/23061456_2025_5–6_169

**ОСОБЫЕ УСЛОВИЯ ВОЕННОЙ СЛУЖБЫ КАК СЛЕДСТВИЕ
«ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО» ПАРАДИГМАЛЬНОГО СДВИГА:
ОТ СОХРАНЕНИЯ ЗДОРОВЬЯ К ЕГО ВОССТАНОВЛЕНИЮ**

**SPECIAL CONDITIONS OF MILITARY SERVICE AS A CONSEQUENCE
OF THE «PREVENTIVE» PARADIGM SHIFT:
FROM MAINTAINING HEALTH TO RESTORING IT**

Д-р мед. наук С.А. Цуциев

D.Sc. S.A. Tsutsiev

ГНИИИ ВМ Минобороны РФ

В настоящей статье приводятся свидетельства постепенно усиливающегося процесса смещения фокуса внимания в «профилактической» парадигме, лежащей в основе реализации конституционного права граждан нашей страны на охрану здоровья, с первоначально принятого за основу обеспечения санитарно-эпидемического благополучия населения (имеют место преимущественное воздействие на опасности и риски повреждения здоровья) в сторону введения, главным образом, социальных гарантий по поддержанию (или восстановлению) расстроенного здоровья. Особые условия прохождения военной службы, по мнению автора статьи, являются наглядным примером реализации этой концепции, когда в качестве профилактических мер предпочтение отдается развитию системы обеспечения военнослужащих социальными льготами и компенсациями.

Ключевые слова: охрана, здоровье, гигиена, опасности, риски, военная служба, социальные гарантии, военнослужащие.

This article provides evidence of a gradually increasing process of shifting the focus of attention in the «preventive» paradigm underlying the implementation of the constitutional right of citizens of our country to health protection, from the initially accepted basis for ensuring the sanitary and epidemic well-being of the population (there is a predominant impact on the dangers and risks of damage to health) towards the introduction, mainly, social guarantees for the maintenance (or restoration) of impaired health. The special conditions of military service, according to the author of the article, are a clear example of the implementation of this concept, when, as preventive measures, preference is given to the development of a system for providing military personnel with social benefits and compensations.

Keyword: security, health, hygiene, dangers, risks, military service, social guarantees, military personnel.

Введение

Здоровье граждан, как известно, является предметом особого интереса высшего

руководства нашей страны. Как закономерное следствие — охрана здоровья граждан есть одно из важнейших направлений внутренней государственной политики. Несмотря на эти, каза-

лось бы, благоприятные обстоятельства, вот уже много лет все стороны социального партнерства тщетно пытаются решить одну, но, как оказалось, весьма непростую проблему, а именно: создать благоприятные условия жизнедеятельности для основной части населения России. Были задействованы колоссальные ресурсы, менялись стратегии и тактики, общественно-экономические формации и пр., но результат по-прежнему не в полной мере соответствовал ожиданиям. Имели место несомненные успехи, но это ненадолго. Сравнительно очень быстро все «возвращалось на круги своя». До сих пор численность работающих в неблагоприятных условиях, равно как и показатели производственного травматизма, профессиональной заболеваемости, остаются высокими. Согласно отчетным данным Министерства здравоохранения РФ [1], существуют целые отрасли, профессии, предприятия, регионы, где до 55 % работников (от общей численности занятых) исполняют обязанности во вредных и (или) опасных условиях. Согласно данным других исследователей, количество лиц, работающих в неблагоприятных условиях, составляет порядка 28 миллионов человек, а это примерно 37,0 % от общего количества трудоспособного населения России [2]. В Кемеровской области, например, численность работающих в аналогичных условиях примерно в 2 раза превышает среднероссийский показатель, а уровень производственного травматизма — в 2 раза и уровень профессиональной заболеваемости — в 8,5 раз соответственно. Непрерывно растет количество зарегистрированных случаев нарушений требований гигиены и безопасности труда. Впрочем, в последние годы наметилась устойчивая тенденция к стабилизации этих процессов и даже к их снижению. Тем не менее, несмотря на эти обнадеживающие факты, обращает на себя то обстоятельство, что многочисленные списки профессий, специальностей, работ и пр., дающих право на те или иные социальные льготы и компенсации, не только не сокращаются, а напротив, по непонятным пока причинам, увеличиваются, уточняются и детализируются [3].

Военная служба, как правило, протекает в неблагоприятных условиях, предполагает преодоление разнообразных и многочисленных «тягот и лишений», что в свою очередь обуславливает разработку и реализацию соответствующи-

щих санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий, направленных на охрану жизни и здоровья военнослужащих. Помимо этого, им, при наличии показаний, назначаются социальные льготы и компенсации. Количество «льготников» в погонах также не уменьшается [4].

В чем причина такого положения дел с охраной здоровья?

Цель. Поиск свидетельств наличия смещения фокуса внимания в процессе охраны здоровья граждан с гигиенической направленности (управление профессиональными рисками) «профилактической» парадигмы в сторону усиления преимущественно социальных гарантий по поддержанию (или восстановлению) поврежденного здоровья.

Материалы и методы. Для достижения поставленной цели были изучены и проанализированы основные нормативные, правовые и иные акты РФ, Министерства обороны России, устанавливающие требования к охране здоровья граждан РФ, к службе войск и безопасности военной службы. Использованные методы: научного анализа и сопоставления.

Полученные результаты. Автором установлено: конституционное право на охрану здоровья граждан нашей страны законодатель предлагает решать в настоящее время по двум направлениям, внешне очень схожих и реализуемых в формате «профилактической» парадигмы, но, как оказалось, существенно отличающихся друг от друга: первое — посредством обеспечения всеобщего санитарно-эпидемиологического благополучия населения [5]; второе — основывается главным образом на мерах непрофилактического характера, направленных преимущественно на поддержание (или восстановление) поврежденного здоровья граждан (реализация социальных гарантий) [6]. За последние годы отмечается усиливающийся сдвиг фокуса внимания всех сторон социального партнерства в сторону второго направления, которое, на мой взгляд, является менее конструктивным и результативным и не позволит в ближайшей перспективе добиться решительных успехов в области сохранения здоровья граждан. Аналогичные изменения можно наблюдать и в других ведомствах, в частности в Вооруженных силах (далее: ВС) России.

Обсуждение

В целом смысл проводимых профилактических мероприятий заключается в решении многогранной проблемы: сохранить здоровье исходно здоровых граждан, прежде всего в процессе осуществления трудовой деятельности. Согласно концепции Международной организации труда (далее: МОТ), ведущая роль в этом деле принадлежит государству и работодателям: они должны обеспечивать принятие и внедрение предупредительных мер для защиты жизни и здоровья граждан. В 2002 году соответствующая конвенция была ратифицирована в 69 странах мира [7]. Эта проблема, как известно, имеет непосредственное отношение к демографическим изменениям, а также в последнее время рассматривается в формате такого понятия, как «человеческий капитал», который считается одним из основных показателей социально-экономического развития цивилизованного государства [8]. Состояние здоровья граждан оказывает непосредственное влияние и на воспроизводство «человеческого потенциала», который определяет вектор развития страны и выступает качественной характеристикой социальной политики государства [9]. Неудовлетворенность населения условиями жизнедеятельности является побуждающим фактором усиления напряжений в обществе, основными средствами оптимизации которых являются главным образом повышение уровня оплаты труда, создание безопасных условий работы и совершенствование трудового законодательства [10].

В соответствии со статусом решаемой проблемы в нашей стране были разработаны и внедрены адекватные меры, направленные на организацию охраны здоровья граждан: была создана уникальная система управления охраной здоровья, краеугольным камнем которой стала концепция обеспечения приоритета сохранения здоровья человека при осуществлении любых видов жизнедеятельности. Эта концепция является в том числе одним из основных направлений государственной политики в области гигиены и безопасности труда [11, ст. 210].

Первоначально законодатель предложил осуществлять реализацию конституционных прав граждан на охрану здоровья посредством обеспечения всеобщего санитарно-эпидемиологического благополучия населения (как одного

из основных условий успеха) [5]. Согласно закону, санитарно-противоэпидемические (профилактические) мероприятия — это организационные, административные, инженерно-технические, медико-санитарные, ветеринарные и иные меры, направленные на устранение или уменьшение вредного воздействия на человека факторов среды обитания, предотвращение возникновения и распространения инфекционных заболеваний и массовых неинфекционных заболеваний (отравлений) и их ликвидацию.

В этой дефиниции примечательно следующее: во-первых, профилактические мероприятия рассматриваются как системообразующий элемент, объединяющий практически все виды человеческой деятельности (в частности, организационные, административные и др.), которые необходимо рассматривать именно в формате устранения неблагоприятного влияния факторов внешней среды; во-вторых, управляющие воздействия осуществляются непосредственно не на организм человека, а опосредованно, через среду обитания (идентификация опасностей и соответствующих рисков повреждения здоровья). Моделируя (изменяя) неблагоприятную среду обитания, мы тем самым исключаем саму возможность возникновения заболеваний, травмирования и пр. человека, и следовательно, добиваемся сохранения здоровья в «неизменном» состоянии (здоровый). Управляя рисками, мы управляем здоровьем. Условно назовем эту конструкцию управления охраной здоровья — Модель № 1 (гигиеническая). Результатом успешной реализации на предприятии этой модели является создание на рабочих местах либо оптимальных (1 класс), либо допустимых (2 класс), согласно гигиенической классификации [12], условий труда. В первом случае (1 класс) на рабочем месте создаются наиболее благоприятные предпосылки для поддержания высокого уровня работоспособности специалиста, сохранения и даже укрепления его здоровья, а во втором (2 класс) — допускается, как исключение, некоторое ухудшение состояния здоровья, однако полное восстановление физического и психического здоровья работника происходит в течение установленного времени отдыха.

Со временем законодатель предложил другой путь решения рассматриваемой проблемы, основные положения которого изложены в соот-

ветствующем федеральном законе [6]. Согласно этому документу: охрана здоровья граждан — это система мер политического, экономического, правового, социального, научного, медицинского, в том числе санитарно-противоэпидемического (профилактического), характера, осуществляемых органами государственной власти РФ, органами местного самоуправления, организациями, их должностными лицами и иными лицами, гражданами в целях профилактики заболеваний, сохранения и укрепления здоровья каждого человека, поддержания его долголетней активной жизни, предоставления ему медицинской помощи [6].

Обращает на себя внимание наличие малоприметного противоречия, ставящего под сомнение внутреннюю логику дефиниции этого понятия: с одной стороны, оно позиционируется как профилактическое мероприятие, охватывающее все стороны социального партнерства; с другой стороны, непосредственно профилактическим мероприятиям отводится последнее место в иерархии всех видов деятельности по охране здоровья. Разработчики закона заявляют, прежде всего, о политической, социальной, правовой и пр. направленности охранных действий. Кроме того, законодатель обязуется в формате этих мероприятий предоставлять медицинскую помощь, что непосредственно свидетельствует о наличии реализованных рисков повреждения здоровья (травмы, заболевания) своих граждан [6].

Однако, как оказалось, такая позиция не есть случайность: ситуация в значительной мере проясняется, если мы обратимся к определению базового понятия профилактика — это комплекс мероприятий, направленных на сохранение и укрепление здоровья и включающих в себя формирование здорового образа жизни, предупреждение возникновения и (или) распространения заболеваний, их раннее выявление, выявление причин и условий их возникновения и развития, а также направленных на устранение вредного влияния на здоровье человека факторов среды его обитания [6]. Анализ этой дефиниции свидетельствует, что все профилактические мероприятия сфокусированы непосредственно на здоровье граждан. Вместе с тем роль непосредственно профилактики в процессе сохранения здоровья фактически минимальная и сводится преимущественно к формированию у населения здорового образа жизни.

Наиболее убедительным аргументом в пользу выдвинутой гипотезы являются, на мой взгляд, законодательно закрепленные основные принципы охраны здоровья [6, Гл. 4, ст. 2]. Всего их девять, из которых:

1. 4 принципа (это порядка 45 % от общей их массы) — устанавливают ответственность и порядок оказания медицинской помощи (далее: МП) гражданам: недопустимость отказа в оказании МП; приоритет интересов пациента при оказании МП; доступность и качество МП; соблюдение врачебной тайны при оказании МП.

На мой взгляд, мероприятие (охрана здоровья), заявленное как профилактическое, но в основе которого заложены преимущественно «лечебные» принципы, не в состоянии быть результативным, так как оказание МП уже есть неоспоримый факт устранения нанесенного вреда здоровью: медицинская помощь — это комплекс мероприятий, направленных на поддержание и (или) восстановление здоровья [6]. Обращаю внимание: речь уже не идет о «сохранении или укреплении», а только о приведении расстроенного здоровья в исходное состояние (здоровый). Необходимость в этом действе возникает в случае перехода предболезни в свою манифестную форму (болезнь), когда результативно управлять охраной здоровья уже невозможно, так как проведение предупреждающих (корректирующих) действий становится нецелесообразным, а смысл всех последующих мероприятий сводится к устранению последствий неадекватно протекающего процесса (лечение). Это логично, так как заболевание — есть нарушение деятельности организма, работоспособности, способности адаптироваться к изменяющимся условиям внешней и внутренней среды при одновременном изменении защитно-компенсаторных и защитно-приспособительных реакций и механизмов организма [6]. Гигиена, как известно, наука о здоровье здорового человека. У больного гражданина также есть здоровье, но это уже поврежденное здоровье больного субъекта, который нуждается в лечении;

2. 4 принципа (около 45 %, соответственно) — определяют ответственность и порядок обеспечения социальными гарантиями: социальная защищенность граждан в случае утраты здоровья; приоритет охраны здоровья детей; соблюдение прав граждан в сфере охраны здоровья

и обеспечение государственных гарантий; ответственность органов государственной власти и органов местного самоуправления, должностных лиц организаций за обеспечение прав граждан в сфере охраны здоровья.

Это, несомненно, важные принципы, но они, как и предыдущие, весьма далеки от «профилактики», так как гарантируют реализацию законодательно установленных социальных льгот и компенсаций гражданам, находящимся в условиях воздействия неблагоприятных факторов окружающей среды. Эти принципы уже предполагают наличие явных (или скрытых) опасностей и соответствующих рисков повреждения здоровья;

3. 1 принцип (около 10 %, соответственно) декларирует приоритет профилактики в сфере охраны здоровья.

Полагаю, для мероприятия, заявленного как профилактическое, этого недостаточно: трудно быть убедительным, говоря о приоритете чего-либо, если доказательная база основывается только на одном принципе.

Итак, процесс «охрана здоровья», позиционируемый как профилактическое мероприятие [6], жидется главным образом на мерах непрофилактического характера, направленных непосредственно на здоровье, как правило, уже заболевших, в той или иной степени, граждан (оказание МП, реализация социальных гарантий). «Стабильность» состояния здоровья достигается проведением соответствующих дополнительных медицинских мероприятий (управляющие воздействия) по внесению коррекций в его организм, позволяющих работнику результативно функционировать в стабильно неблагоприятных условиях окружающей среды. Устраняя последствия неадекватно протекающего процесса (лечение), мы управляем здоровьем больного работника. Условно назовем эту конструкцию управления охраной здоровья — Модель № 2 (социальных гарантий). Показанием для применения этой модели служит наличие на предприятии рабочих мест с вредными и (или) опасными условиями труда (3 и 4 классы) [12], когда фактические значения факторов трудового процесса превышают установленные гигиенические нормативы, что обуславливает высокую вероятность развития, в частности, профессиональных заболеваний различной степени тяжести (3 класс), травматизма, вплоть до гибели работника (4 класс).

Модель № 1 определяет приоритет более результативных, но радикальных санитарно-гигиенических (профилактических) мероприятий по обеспечению всеобщего санитарно-эпидемиологического благополучия населения [5]. Модель № 2 устанавливает главенство законодательно закрепленных социальных гарантий (льгот и компенсаций, оказание медицинской помощи) в связи с жизнедеятельностью во вредных и (или) опасных условиях.

В формате Модели № 2 в нашей стране реализуются следующие, в частности социальные гарантии:

1) право граждан на информационное обеспечение: обязательность предоставления сведений об актуальных условиях труда на рабочем месте, возможном риске повреждения здоровья, а также о законодательно установленных, в этой связи, льготах и компенсациях и др. [11, ст. 57, ст. 216.2];

2) право граждан на ограничения продолжительности ежедневной работы (смены): для лиц, которым установлена сокращенная продолжительность рабочего времени, максимально допустимая продолжительность ежедневной работы (смены) не может превышать 8 часов (для 36-часовой рабочей неделе), либо 6 часов (при 30-часовой, соответственно) [11, ст. 94];

3) право граждан на повышенную оплату труда: минимальный размер надбавки составляет 4 % от тарифной ставки (оклада), установленной для различных видов работ с допустимыми условиями труда [11, ст. 147];

4) право граждан, работающих во вредных (3.2–3.4 подклассы) и (или) опасных условиях (4 класс), на ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск [11, ст. 116–117];

5) право граждан на обязательные предварительные (при поступлении на работу) и периодические (в процессе трудовой деятельности) медицинские обследования и внеочередные медицинские осмотры [11, ст. 220];

6) право граждан на бесплатное обеспечение сертифицированными средствами индивидуальной защиты (далее — СИЗ), смывающими веществами [11, ст. 221];

7) право граждан на бесплатное обеспечение молоком или другими равноценными пищевыми продуктами, лечебно-профилактическим питанием [11, ст. 222] и др.

Помимо перечисленного, имеют место и иные ограничения трудовой деятельности, в частности, ограничивается работа лиц женского пола во вредных и (или) опасных условиях в соответствии с Перечнем производств, работ и должностей [11, ст. 253] и др.

Впрочем, все стороны социального партнерства отчетливо осознают, что ни законодатель, ни работодатель не в состоянии обеспечить 100 % гарантий на сохранение жизни и здоровья, так как гарантии касаются только реализации законодательно установленных социальных льгот и компенсаций. Все ранее перечисленные социальные гарантии, на мой взгляд, несмотря на их многочисленность и разнообразие, не могут в полной мере ни защитить от воздействия вредных и (или) опасных факторов, ни компенсировать наносимый вред здоровью: рано или поздно, в той или иной форме, но повреждение здоровья все же произойдет. Эти мероприятия позволяют «смягчить» остроту развития негативных процессов и растянуть их во времени.

Изложенное позволяет утверждать: с одной стороны, любые виды жизнедеятельности в нашей стране, и в частности, работа в неблагоприятных условиях рассматриваются как нарушение действующего законодательства РФ [5, 6, 11], предполагающее незамедлительное проведение соответствующих профилактических мероприятий. Вместе с тем, однозначного запрета на эксплуатацию таких рабочих мест нет. Исключения составляют несколько статей, запрещающих труд во вредных и (или) опасных условиях, в частности, несовершеннолетних лиц и беременных женщин, но они имеют временный характер [11]. Первая попытка законодательно ввести в нашей стране запрет на труд в опасных условиях была реализована в 2021 году [11, ст. 214.1]. Однако фактически в этой статье говорится об обязанности работодателя приостанавливать такого рода работы. Основное условие начала прерванной деятельности — это снижение класса условий труда на этом рабочем месте. В нашем случае достаточно до «3.4 подкласса». Вместе с тем, как известно, граница между вредными (3 класс) и опасными (4 класс) условиями труда в большей мере условная [12], причем настолько, что принято решение о перечислении их при помощи связки «и (или)» [13]. Такие варианты возобновления работ, как создание безопасных условий труда и пр., законодатель не рассматриваются.

Полагаем, есть все основания утверждать, что в последнее время законодатель в большей степени отдает предпочтение второй модели управления сохранением здоровья, как менее затратной и быстро реализуемой:

— во-первых, одним из основных направлений государственной политики в области охраны труда декларировано «установление гарантий и компенсаций за работу с вредными и (или) опасными условиями трудовой деятельности» [11, ст. 210]. Полагаю, этим самым законодатель напрямую подтверждает не только приоритетность данного направления перед такими, например, как создание безопасных условий труда (1, 2 классы) на всех рабочих местах предприятия, или полное запрещение рабочих мест с опасными условиями труда (4 класс) и пр., но и свое лояльное (терпимое) отношение к трудовой деятельности в неблагоприятных условиях;

— во-вторых, имеет место неоправданно завышенная, на наш взгляд, оценка защитных свойств средств индивидуальной защиты (далее: СИЗ): работодатель, в частности, обязан отстранять и не допускать к работе лиц, не применяющих во вредных и (или) опасных условиях выданных ему в установленном порядке сертифицированных СИЗ, использование которых является обязательным [11, ст. 63]. При таком взгляде на положение вещей применение СИЗ — безусловно основной и, пожалуй, единственный способ защиты от вредных и (или) опасных факторов трудового процесса. Вместе с тем давно уже научно доказано, что СИЗ применяются в тех случаях, когда оставшиеся опасности не могут быть минимизированы средствами коллективной защиты. Впрочем, во всем мире определено, что мероприятия по предупреждению или минимизации опасностей и профессиональных рисков надлежит проводить в следующем порядке:

1-е место (по результативности) — прогнозирование и устранение (ликвидация) опасности в принципе (на стадиях формирования замысла, проектирования и создания образца). Это самый оптимальный способ, но наиболее сложный и дорогостоящий;

2-е место, соответственно — ограничение (локализация) опасности в источнике его генерации при помощи технических средств коллективной защиты или организационных, архитектурно-планировочных и иных мероприятий;

3-е место, соответственно — проектирование безопасных производственных систем, включающих меры административного ограничения суммарного времени контакта с вредными и (или) опасными производственными факторами (минимизация опасности);

– в-третьих, в нашей стране до сих пор актуальны многочисленные нормативные, правовые и иные акты, введенные в действие немало лет тому назад и содержащие многочисленные списки работ, должностей и пр., дающие право на разнообразные социальные гарантии, например, право на пенсию по возрасту (старости) на льготных условиях при работе с вредными и тяжелыми (Список № 2) и с особо вредными и особо тяжелыми условиями труда (Список № 1) [14]. Несмотря на затраченные ресурсы и усилия, численность льготников не уменьшается [3].

В формате приведенных статей Трудового кодекса РФ [11] весьма противоречиво выглядят требования об «обеспечении приоритета сохранения жизни и здоровья работников» и о «предупреждении производственного травматизма и профессиональных заболеваний»: признавая труд граждан во вредных и (или) опасных условиях социально допустимой нормой, есть все основания соглашаться и со всеми негативными последствиями, которыми этот труд сопровождается. Теоретическим обоснованием сложившейся непростой ситуации служит, на мой взгляд, гигиеническая классификация труда [12], уникальность которой заключается в том, что она объединила в единой логической физиолого-гигиенической «цепочке» диаметрально противоположные условия труда, как последовательно реализуемые этапы естественно протекающего деструктивного процесса. По сути, эта классификация предлагает работодателю выбор для реализации модели управления «охраной здоровья»: либо № 1 — создание на рабочих местах благоприятных условий труда (1–2 классы), либо № 2 — вредных и (или) опасных, соответственно (3–4 классы), с проведением дополнительных мероприятий по поддержанию (пошатнувшегося здоровья) или восстановлению (расстроенного здоровья).

В целом сложилась весьма непростая ситуация с реализацией права граждан на охрану здоровья: на фоне неуклонного снижения количества работающих в нашей стране непрерыв-

но увеличивается численность лиц, исполняющих трудовые обязанности во вредных и (или) опасных условиях. По сравнению с 2012 годом (100 %), среднесписочная численность работающих к концу 2021 года снизилась на 15,0 %, а списочное количество работающих в неблагоприятных условиях возросло на 6,2 %, составив в среднем за этот период 24,3 %. Списочное количество работников, получающих за этот период компенсацию в виде надбавки к оплате труда, возросло на 5,8 %, достигнув 33,3 % (от общего количества льготников). Численность работников во всех остальных группах «льгот и компенсаций», напротив, снизилась:

а) дополнительный отпуск — на 11,5 % (составив, в среднем, 25,0 %, соответственно);

б) сокращенный рабочий день — на 0,8 % (3,8 %, соответственно);

в) молоко и др. равноценные продукты — на 8,8 % (13,3 %, соответственно);

г) лечебно-профилактическое питание — на 0,5 % (1,5 %, соответственно).

Военная служба, как известно, представляет собой особый вид трудовой деятельности, так как протекает в неблагоприятных условиях и связана с многочисленными рисками повреждения здоровья военнослужащих, вплоть до их гибели. Для минимизации негативного влияния факторов военной службы на здоровье военных специалистов в ВС РФ проводится широкомасштабная работа по разработке и внедрению соответствующих профилактических мероприятий. По всей видимости, не случайно безопасность военной службы в ВС РФ заключается в обеспечении защищенности, в частности, личного состава воинской части в целом и каждого военнослужащего от воздействия вредных и (или) опасных факторов. Вместе с тем, вполне очевидно, что надежная защита от неблагоприятных факторов не есть гарантия сохранения жизни и здоровья, так как, в частности, основными критериями нарушения требований безопасности военной службы определены гибель военнослужащего или получение им увечья (ранение, травма, контузия) обязательно с трудовыми потерями. Помимо этого, предусмотрено назначение им социальных гарантий в виде льгот и компенсаций, в частности, закон определяет выплату военнослужащим, проходящим службу по контракту, дополнительно к установленному денежному содержанию:

– ежемесячной надбавки за особые условия военной службы;

– ежемесячной надбавки за выполнение задач, непосредственно связанных с риском для жизни и здоровья в мирное время;

– повышающих коэффициентов или надбавок за выполнение задач в условиях чрезвычайного положения, вооруженного конфликта, контртеррористической операции, за обеспечение правопорядка и общественной безопасности на отдельных территориях РФ;

– коэффициентов и процентных надбавок за прохождение военной службы в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях, а также в других местностях с неблагоприятными климатическими или экологическими условиями, в том числе в отдаленных местностях, высокогорных районах, пустынных и безводных местностях и др.

Правила выплаты определяются Правительством РФ в зависимости от условий прохождения военной службы и от условий выполнения задач [4]. Список «особых условий военной службы» достаточно большой и включает, в частности, исполнение военнослужащими следующих воинских должностей:

– в экипажах надводных кораблей, в том числе строящихся;

– в экипажах подводных лодок;

– в экипажах автономных глубоководных аппаратов;

– в технических экипажах глубоководных станций;

– летного состава, выполняющего полеты по планам боевой (специальной) подготовки в составе экипажей самолетов, вертолетов и др. (при условии выполнения нормы налета часов);

– выполнение прыжков с парашютом;

– командующих флотами;

– в центральных аппаратах федеральных органов исполнительной власти, СК России и пр.

Обращаю внимание, что Список включает не перечень опасностей и соответствующих профессиональных рисков «особых условий» военной службы, а перечень воинских должностей, видов выполняемых работ и пр., то есть область изучения имеет нечеткие (размытые) границы: отсутствуют точные и надежные гигиенические критерии, позволяющие оценить степень наносимого вреда здоровью персонально к каждому ра-

бочему месту военнослужащего. Для этого необходимо идентифицировать существующие опасности и соответствующие им риски повреждения здоровья. Нельзя ограничивать существующие опасности исключительно только факторами трудового процесса [12]. Надо смотреть на эту проблему шире. Наиболее оптимальным вариантом было бы применение «риск-ориентированного подхода»: это такая форма мировосприятия, при которой любое проявление человеческой деятельности рассматривается исключительно с точки зрения наличия (или отсутствия) рисков нанесения ущерба здоровью. Применительно к каждому профессиональному риску определяется показатель вероятности его наступления, определяется показатель тяжести его возможных последствий; рассчитывается его уровень. Далее принимается решение о его допустимости применительно к повседневной деятельности.

Безусловно, позитивные тенденции очевидны, но они свидетельствуют, на наш взгляд, в большей степени о стабилизации ранее имевшего место процесса роста списочной численности граждан, исполняющих трудовые обязанности в неблагоприятных условиях. Даже при самом лояльном подходе эти изменения трудно назвать ощутимым успехом. Есть все основания утверждать, что работодатели предпочитают реализовывать Модель № 2 охраны здоровья.

Заключение

Таким образом, проведенное исследование показало, что добиться в ближайшей перспективе решительных успехов в деле охраны здоровья граждан будет непросто: количество рабочих мест с неблагоприятными условиями труда (3–4 классы) по-прежнему остается высоким, хотя наметилась тенденция к стабилизации этого процесса. Работодателю предложено, на выбор, две модели решения этой проблемы в формате «профилактической» парадигмы: № 1 — обеспечение всеобщего санитарно-эпидемического благополучия населения страны и № 2 — введение преимущественно социальных гарантий.

В первом варианте осуществляются управляющие воздействия на опасности окружающей среды: моделируя (изменяя) условия жизнедеятельности, законодатель и работодатель добиваются сохранения (стабильность) жизни и здоро-

вья здоровых граждан. Мероприятия этого формата отличаются значительной протяженностью во времени, высокой результативностью и радикальностью, предполагают существенные финансовые затраты и заканчиваются формированием новой культуры безопасной жизнедеятельности.

Во втором варианте отдается предпочтение реализации главным образом социальных гарантий по поддержанию (или восстановлению) расстроенного (ослабленного) здоровья больных граждан. Мероприятия этой модели охраны здоровья реализуются значительно быстрее предыдущих, не требуют больших материальных затрат, не предполагают радикальных перемен, а самое главное — в условиях невысокой оплаты труда пользуются у населения особой популярностью, так как создают иллюзию защищенности и заботы.

За последнее время отмечается устойчивое смещение фокуса внимания законодателя в сторону разработки и реализации социальных гарантий (назначение льгот, компенсаций, медицинские мероприятия и др.) для разных категорий граждан. В этих обстоятельствах говорить о сохранении здоровья некорректно, так как фактически речь идет о поддержании и (или) восстановлении здоровья уже больного (в той или иной степени) гражданина.

«Особые условия» прохождения военной службы, по моему мнению, являются наглядным примером реализации этой концепции, когда в качестве профилактических мер отдается предпочтение развитию системы обеспечения военнослужащих социальными льготами и компенсациями.

Список источников

1. Здоровоохранение в России 2019: Статистический сборник. М.: Росстат, 2020. 170 с.
2. Никифорова Е.А., Киселева Е.А. Оценка эффективности мероприятий, направленных на улучшение условий труда работников // Проблемы безопасности российского общества. 2022. № 1 (37). С. 59–64.
3. Постановление Правительства РФ от 16.07.2014 № 665 «О списках работ, производств, профессий, должностей, специальностей и учреждений (организаций), с учетом которых досрочно назначается страховая пенсия по старости, и правилах исчисления периодов рабо-

ты (деятельности), дающей право на досрочное пенсионное обеспечение».

4. Приказ Министра обороны Российской Федерации от 06.12.2019 № 727 «Об определении Порядка обеспечения денежным довольствием военнослужащих Вооруженных Сил РФ и предоставления им и членам их семей отдельных выплат».

5. О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения: федер. закон Рос. Федерации от 30 марта 1999 г. № 52-ФЗ: принят Гос. Думой Федерального Собр. Рос. Федерации 12 марта 1999 г.: одобр. Советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 17 марта 1999 г. // Рос. Газ. – 1999. – 6 апреля.

6. Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации: федер. закон Рос. Федерации от 21 ноября 2011 г. № 323-ФЗ: принят Гос. Думой Федерального Собр. Рос. Федерации 01 ноября 2011 г.: одобр. Советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 09 ноября 2011 г. // Рос. Газ. – 2011. – 24 ноября.

7. Введенский А.И., Мореева Е.В., Надуткина И.Э., Белых Т.В. Роль работодателей в обеспечении условий труда, способствующих здоровью медицинских работников // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. 2023. № 31 (спецвыпуск 1). С. 794–797.

8. Рахманова М., Хандурдыев Б. Человеческий капитал и инновационные пути его развития // Вестник науки. 2024. Т. 1, № 1 (70). С. 39–41.

9. Черных Е.А. Динамика и детерминанты удовлетворенности работой россиян в характеристике человеческого потенциала // Уровень жизни населения регионов России. 2023. Т. 19. № 2. С. 199–215.

10. Куконков П.И., Устинкин С.В. Напряжения и конфликты в сфере труда регионов России. На примере Приволжского федерального округа // Обозреватель. 2023. № 6 (401). С. 104–113.

11. Трудовой кодекс Российской Федерации: федер. закон Рос. Федерации от 30 декабря 2001 г. № 197-ФЗ: принят Гос. Думой Федерального Собр. Рос. Федерации 21 декабря 2001 г.: одобр. Советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 26 декабря 2001 г. // Рос. Газ. – 2001. – 31 декабря.

12. О специальной оценке условий труда: федер. закон Рос. Федерации от 28 декабря

2013 г. № 426-ФЗ: принят Гос. Думой Федерального Собр. Рос. Федерации 23 декабря 2013 г.: одобр. Советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 25 декабря 2013 г. // Рос. Газ. – 2013. – 30 декабря.

13. ГОСТ 12.0.002–2014. Система стандартов безопасности труда. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2016. 32 с.

14. Постановление Кабинета Министров СССР от 26.01.1991 № 10. Об утверждении списков производств, работ, профессий, показателей, дающих право на льготное пенсионное обеспечение. Приложения: Список № 1 и Список № 2.

References

1. Healthcare in Russia 2019: Statistical Collection. Moscow: Rosstat, 2020, 170 p.

2. Nikiforova E.A., Kiseleva E.A. The effectiveness of measures aimed at improvement of staff working environment // Security problems of the Russian society. 2022. No 1 (37). Pp. 59–64.

3. Decree of the Government of the Russian Federation dated 07/16/2014 № 665 «On the lists of jobs, industries, professions, Positions, specialties and institutions (organizations), taking into account which an Old-age Insurance Pension is awarded ahead of Schedule, and the Rules for Calculating Periods of work (activity) eligible for early retirement».

4. Order of the Minister of Defense of the Russian Federation dated 06.12.2019 № 727 «On Determining the Procedure for Providing Monetary Allowances to Military Personnel of the Armed Forces of the Russian Federation and Providing Them and their Family Members with Separate Payments».

5. On sanitary and epidemiological welfare of the population: Federal Law of the Russian Federation of March 30, 1999 № 52-FZ: adopted by the State Duma of the Federal Assembly.: adopted by the State Duma of the Federal Assembly. Ros. Federation on March 12, 1999: approved by the State Duma of the Federal Assembly of the Russian Federation. Council of Federation of the Federal Assembly of the Russian Federation. Sobr. Ros. Federation on March 17, 1999 // Ros. Gaz. 1999. April 6.

6. On the Fundamentals of Health Protection of Citizens in the Russian Federation: Federal Law

of the Russian Federation of November 21, 2011 No. 323-FZ: adopted by the State Duma of the Federal Assembly. Federal Assembly of the Russian Federation. Federation on November 01, 2011: approved by the State Duma of the Federal Assembly of the Russian Federation. Federation Council of the Federal Assembly of the Russian Federation. Sobr. Ros. Federation on November 09, 2011 // Ros. Gaz. 2011. November 24.

7. Vvedenskii A.I., Moreeva E.V., Nadutkina I.E., Belykh T.V. The role of employers in ensuring working conditions conducive to the health of medical workers // Problems of Social Hygiene, Public Health and History of Medicine. 2023. No 31 (Special Issue 1). Pp. 794–797.

8. Rakhmanova M., Khandurdyv'ev B. Human capital and innovative ways to develop it // Herald of science. 2024. No 1 (70). Pp. 39–41.

9. Chernykh EA. Dynamics and Determinants of Job Satisfaction of Russians in the Characteristics of the Human Potential // Living Standards of the Population in the Regions of Russia. 2023. No 19 (2). Pp. 199–215.

10. Kukonkov P.I., Ustinkin S.V. Tensions and Conflicts in the Sphere of Labor in the Regions of Russia. On the example of the Volga Federal District // Observer. 2023. No 6 (401). Pp. 104–113.

11. Labor Code of the Russian Federation: Federal Law of the Russian Federation of December 30, 2001 № 197-FZ: adopted by the State Duma of the Federal Assembly of the Russian Federation. Russian Federation. Federation on December 21, 2001: approved by the State Duma of the Federal Assembly of the Russian Federation. Federation Council of the Federal Assembly of the Russian Federation. Sobr. Ros. Federation on December 26, 2001 // Ros. Gaz. 2001. December 31.

12. Federal Law № 426-FZ dated December 28, 2013 «On Special assessment of working conditions».

13. GOST 12.0.002–2014. System of labor safety standards. Terms and definitions. Moscow: Standartinform, 2016. 32 p.

14. Resolution of the Cabinet of Ministers of the USSR dated January 26, 1991 № 10 «On approval of lists of industries, jobs, professions, indicators entitling to preferential pension provision». Appendices: List № 1 and List № 2.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ, РАСЧЕТЫ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ

<i>Кежаев В.А.</i> Кибернетические аспекты информационной поддержки принятия решений должностными лицами органов управления в условиях многовариантности боевых действий.....	3
<i>Шмидт А.А.</i> Методика повышения энергетического потенциала радиолинии путем применения базового излучателя с сосредоточенными нагрузками	9
<i>Беляева С.Д., Калинин В.Ю.</i> Моделирование оптимальной траектории для поражения движущегося объекта	18
<i>Комлык Д.А., Маслик А.Г., Святкин С.А.</i> Модель приема широкополосных ретранслированных сигналов систем спутниковой связи в условиях непреднамеренных помех с угловой модуляцией ...	23
<i>Сызранцев А.Г.</i> Вербальная модель системы сетевого технологического управления транспортной сетью связи высокودинамичной системы связи специального назначения	30
<i>Мандрица Д.П., Миронов А.Н.</i> Модель оценки параметров эксплуатационной пригодности специальных сооружений в условиях деградации и риска аварийных ситуаций.....	37
<i>Ковальский А.А., Абазина Е.С., Зиннуров С.Х., Молдованов М.А.</i> Предложения по построению многоуровневой системы спутниковой связи в интересах обеспечения глобального информационного обмена	43

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ТЕРРОРИЗМУ

<i>Азоркин В.В., Беженарь В.Н., Курочка В.С., Оводов В.Б.</i> Особенности обеспечения связи при ведении штурмовых действий в ходе специальной военной операции	52
<i>Тучин Г.А., Бойко А.П., Назаров А.Д., Кузин П.И.</i> Роль и место аудиоконференцсвязи в системе связи по опыту специальной военной операции.....	58
<i>Поляков Д.Н.</i> Модель подавления преднамеренных помех в составных радиолиниях наземно-воздушных сетей связи.....	65
<i>Пучков А.С., Гук И.В., Спивак А.И.</i> Анализ современных средств защиты от автомобильного транспорта	74
<i>Каптюх А.Н., Мамедов Р.Г., Демьянов А.А.</i> Разработка перспективного образца мобильного пожарного резервуара «Комплект средств пожаротушения КСП-10».....	86

Коломиец С.Н., Козлов С.А. Необходимые условия, обеспечивающие прочность отдельных частей средства скрывания движения, выполненных из полиамида91

Прищенко А.В., Сильников Н.М. Тестовый очаг как основной метод определения эффективности пожарной сигнализации на особо важных военных и гражданских объектах98

ВООРУЖЕНИЕ, ВОЕННАЯ И СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Алиева Г.В. Вопросы оптимизации адаптивной инфракрасной наводящей головки вращающихся снарядов103

Филатов П.В. Повышение оперативности восстановления образцов артиллерийского вооружения на направлении действия группировки войск (сил)108

Бирюков С.А. Организация двойного функционального резервирования производственных мощностей системы ремонтно-восстановительных органов118

Филатов П.В. Назначение специалистов-ремонтников на выполнение технологических операций ремонта образцов артиллерийского вооружения с учетом квалификации и минимальной продолжительности работ127

Володин Р.С., Камышев А.Л., Федяй Е.А. Методика расчета количества темновых электронов в твердотельных фотоприемниках137

МАТЕРИАЛЫ, ТЕХНОЛОГИИ И ИССЛЕДОВАНИЯ

Гук И.В., Спивак А.И., Спивак И.А., Васильева С.Н. Испытания противоосколочной стойкости защитных структур в полигонных условиях143

Андрюшкин А.Ю., Чжао Чэн, Чжэньнин Ли. Прогнозирование дефектности эксплуатируемого полимерного покрытия155

Каранина К.О., Сильников Н.М., Новак О.С., Жукова Л.С. Исследование плоскостной анизотропии, а также взаимосвязи физико-механических свойств в композитном материале из гибкоцепного полимера160

СООБЩЕНИЯ

Цуциев С.А. Особые условия военной службы как следствие «профилактического» парадигмального сдвига: от сохранения здоровья к его восстановлению169

СПИСОК АВТОРОВ СТАТЕЙ

Абазина Евгения Сергеевна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры, Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. E-mail: e.s.abazina@yandex.ru

Азоркин Владимир Викторович, адъютант, Военная академия связи им. С.М. Буденного. E-mail: azorkin-33@mail.ru

Алиева Гюнель Вагиф гызы, канд. техн. наук, доцент, начальник лаборатории, Азербайджанский университет архитектуры и строительства. E-mail: gunelcelilova@mail.ru

Андрюшкин Александр Юрьевич, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой, Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова. E-mail: Saschala@mail.ru

Беженарь Вячеслав Николаевич, профессор кафедры, Военная академия связи им. С.М. Буденного. E-mail: 5551541@mail.ru

Беляева Светлана Дмитриевна, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры, Михайловская военная артиллерийская академия. Тел.: +7 (911) 239-3760.

Бирюков Сергей Александрович, канд. техн. наук, докторант, Военная академия материально-технического обеспечения им. А.В. Хрулева. E-mail: atanuskin@yandex.ru

Бойко Алексей Павлович, канд. техн. наук, докторант, Военная академия связи им. С.М. Буденного. E-mail: varenyukha007@rambler.ru

Васильева Светлана Николаевна, младший научный сотрудник НИИ АО «НПО Спецматериалов». E-mail: VasilyevaSN@npo-sm.ru

Володин Роман Сергеевич, канд. техн. наук, начальник лаборатории Военного института (научно-исследовательского), Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. E-mail: vka@mil.ru

Гук Игорь Владимирович, канд. техн. наук, заместитель директора НИИ АО «НПО Спецматериалов». E-mail: guk@npo-sm.ru

Демьянов Алексей Анатольевич, канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник НИИ (ВСИ МТО ВС РФ), Военная академия материально-технического обеспечения им. А.В. Хрулева. E-mail: Alexey-VITY@yandex.ru

Жукова Любовь Сергеевна, младший инженер, АО «НПО Спецматериалов». E-mail: zhukova@npo-sm.ru

Зиннуров Салават Халилович, канд. техн. наук, профессор кафедры, Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. E-mail: zinnurov_salavat@mail.ru

Калинин Валерий Юрьевич, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры, Михайловская военная артиллерийская академия. Тел.: +7 (981) 745-2986.

Камышев Алексей Ларьгеевич, канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории Военного института (научно-исследовательского), Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. Тел.: +7 (921) 380-8516.

Каптюх Александр Николаевич, канд. воен. наук, профессор, начальник отдела НИИ (ВСИ МТО ВС РФ) Военная академия материально-технического обеспечения им. А.В. Хрулева. E-mail: 2nio@mail.ru

Каранина Кристина Олеговна, старший инженер производства полимерной брони ЗСМ, АО «НПО Спецматериалов». E-mail: SamoilovaKristina@npo-sm.ru

Кежаев Валерий Алексеевич, д-р техн. наук, профессор, старший научный сотрудник Военного института (научно-исследовательского), Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. E-mail: vka@mil.ru

Ковальский Александр Александрович, канд. техн. наук, начальник лаборатории, Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. E-mail: sake636@mail.ru

Козлов Сергей Александрович, старший научный сотрудник центра вооружения и индивидуальной бронезащиты НИИСТ, ФКУ НПО «СТиС» МВД России. E-mail: skozlov104@mvd.ru

Коломиец Сергей Николаевич, старший научный сотрудник отдела научно-технической информации, УМЦ ФКУ НПО «СТиС» МВД России. E-mail: kolomiec_sergei@mail.ru

Комлык Дмитрий Александрович, канд. техн. наук, профессор кафедры, Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. E-mail: komlyk341@mail.ru

Кузин Павел Игоревич, канд. техн. наук, доцент кафедры, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова. E-mail: kuzik78@mail.ru

Курочка Владимир Сергеевич, канд. воен. наук, доцент кафедры, Военная академия связи им. С.М. Буденного. E-mail: Uprava223@mail.ru

Мамедов Руслан Гасанович, канд. воен. наук, доцент, старший научный сотрудник НИИ (ВСИ МТО ВС РФ) Военная академия материально-технического обеспечения им. А.В. Хрулева. E-mail: mrg1966@yandex.ru

Мандрица Дмитрий Петрович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры, Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. E-mail: mandriza66@mail.ru

Маслик Александр Геннадьевич, адъюнкт, Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. E-mail: m4slik.a@yandex.ru

Миронов Андрей Николаевич, д-р техн. наук, профессор, Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. E-mail: mirovov-anik@yandex.ru

Молдованов Максим Андреевич, адъюнкт, Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. E-mail: karosmasterlyk@mail.ru

Назаров Алексей Дмитриевич, адъюнкт, Военная академия связи им. С.М. Буденного. Тел.: +7 (812) 247-9802.

Новак Ольга Сергеевна, начальник производства полимерной брони ЗСМ, АО «НПО Спецматериалов». E-mail: o.novak@npo-sm.ru

Оводов Владимир Борисович, канд. воен. наук, научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории, Военная академия связи им. С.М. Буденного. E-mail: ovod52@mail.ru

Поляков Дмитрий Николаевич, адъюнкт, Военная академия связи им. С.М. Буденного. E-mail: bryanik51@mail.ru

Прищенко Алина Владимировна, заместитель директора ЗСМ по качеству, АО «НПО Спецматериалов», vladimir_prishenko@mail.ru

Пучков Андрей Сергеевич, канд. техн. наук, директор НИИ АО «НПО Спецматериалов». Тел.: +7 (812) 542-8770.

Святкин Сергей Анатольевич, канд. техн. наук, доцент, заместитель начальника

кафедры, Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. Тел.: +7 (812) 347-9535.

Сильников Никита Михайлович, д-р техн. наук, заместитель генерального директора АО «НПО Спецматериалов». E-mail: Nikita.Silnikov@npo-sm.ru

Спивак Александр Иванович, канд. техн. наук, старший научный сотрудник НИИ АО «НПО Спецматериалов». Тел.: +7 (812) 291-4503.

Спивак Игорь Александрович, канд. техн. наук, сотрудник НИЦ(РВиА), Михайловская военная артиллерийская академия. Тел.: +7 (812) 472-1571.

Сызранцев Алексей Геннадьевич, аспирант, Московский технический университет связи и информатики. E-mail: skiabrat@mail.ru

Тучин Геннадий Анатольевич, начальник, Военная академия связи им. С.М. Буденного. Тел.: +7 (812) 247-9835.

Федяй Евгений Александрович, канд. техн. наук, докторант Военного института (научно-исследовательского), Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. E-mail: vka@mil.ru

Филатов Павел Вячеславович, канд. техн. наук, доцент, докторант, филиал Военной академии материально технического обеспечения им. А.В. Хрулева в г. Пенза. E-mail: ussur_tigr_103@mail.ru

Цуциев Сергей Александрович, д-р мед. наук, старший научный сотрудник, ФГБУ «ГНИИИ ВМ» МО РФ. E-mail: sdsot@yandex.ru

Чжао Чэн, аспирант, Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова. E-mail: 1610793259@qq.com

Чжэньин Ли, аспирант, Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова. E-mail: 2973787410@qq.com

Шмидт Артур Андреевич, адъюнкт, Военная академия связи им. С.М. Буденного. E-mail: shmidt.artur2011@yandex.ru

LIST OF AUTHORS OF ARTICLES

Abazina Evgeniia Sergeevna, Candidate of Sciences, docent, Adjunct in Voenno-kosmicheskaya akademiya im. A.F. Mozhaiskogo. E-mail: e.s.abazina@yandex.ru

Alieva Giunel Vagif gyzy, Candidate of Sciences, docent, Head of the laboratory in Azerbaidzhanskii universitet arkhitektury i stroitelstva. E-mail: gunelcelilova@mail.ru

Andriushkin Aleksandr Iurevich, Candidate of Sciences, docent, Head of the Department in Baltiiskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet «VOENMEKh» im. D.F. Ustinova. E-mail: Saschala@mail.ru

Azorkin Vladimir Viktorovich, Adjunct in Voennaya akademiya svyazi im. S.M. Budennogo. E-mail: azorkin-33@mail.ru

Beliaeva Svetlana Dmitrievna, Doctor of Sciences, professor, Professor of the Department in Mikhailovskaya voennaya artilleriyskaya akademiya. Ph.: +7 (911) 239-3760.

Bezhenar Viacheslav Nikolaevich, Professor of the Department in Voennaya akademiya svyazi im. S.M. Budennogo. E-mail: 5551541@mail.ru.

Biriukov Sergei Aleksandrovich, Candidate of Sciences, doctoral student of Department in Voennaya akademiya materialno-tekhnicheskogo obespecheniya im. A.V. Khruleva. E-mail: atanuskin@yandex.ru

Boiko Aleksei Pavlovich, Candidate of Sciences, doctoral student of the Department in Voennaya akademiya svyazi im. S.M. Budennogo. E-mail: varenixa007@rambler.ru

Chzhao Chen, graduate student in Baltiiskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet «VOENMEKh» im. D.F. Ustinova. E-mail: 1610793259@qq.com

Chzhennin Li, graduate student in Baltiiskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet «VOENMEKh» im. D.F. Ustinova. E-mail: 2973787410@qq.com

Demianov Aleksei Anatolevich, Candidate of Sciences, docent, Senior Researcher in Voennaya akademiya materialno-tekhnicheskogo obespecheniya im. A.V. Khruleva. E-mail: Alexey-VITY@yandex.ru

Fediai Evgenii Aleksandrovich, Candidate of Sciences, doctoral student in Voenno-

kosmicheskaya akademiya im. A.F. Mozhaiskogo. E-mail: vka@mil.ru

Filatov Pavel Viacheslavovich, Candidate of Sciences, docent, doctoral student of Department in Filial Voennoi akademii materialno tekhnicheskogo obespecheniya im. A.V. Khruleva v g. Penza. E-mail: ussur_tigr_103@mail.ru

Guk Igor Vladimirovich, Candidate of Sciences, Deputy Director of Department in AO «NPO Spetsmaterialov». E-mail: guk@npo-sm.ru

Kalinin Valerii Iurevich, Candidate of Sciences, docent, docent in Mikhailovskaya voennaya artilleriyskaya akademiya. Ph.: +7 (981) 745-2986.

Kamy'shev Aleksei Lar'geevich, Candidate of Sciences, docent, Senior Researcher in Voenno-kosmicheskaya akademiya im. A.F. Mozhaiskogo. E-mail: vka@mil.ru

Kaptiukh Aleksandr Nikolaevich, Candidate of Sciences, professor, Head of the Department in Voennaya akademiya materialno-tekhnicheskogo obespecheniya im. A.V. Khruleva. E-mail: 2nio@mail.ru

Karanina Kristina Olegovna, engineer in AO «NPO Spetsmaterialov». E-mail: SamoilovaKristina@npo-sm.ru

Kezhaev Valery Alekseevich, Doctor of Sciences, professor, Senior Researcher in Voenno-kosmicheskaya akademiya im. A.F. Mozhaiskogo. E-mail: vka@mil.ru

Kolomiets Sergei Nikolaevich, Senior Researcher in UMTs FKU NPO «STiS» MVD Rossii. E-mail: kolomiec_sergei@mail.ru

Komlyk Dmitrii Aleksandrovich, Candidate of Sciences, Professor of the Department in Voenno-kosmicheskaya akademiya im. A.F. Mozhaiskogo. E-mail: komlyk341@mail.ru

Kovalskii Aleksandr Aleksandrovich, Candidate of Sciences, in Voenno-kosmicheskaya akademiya im. A.F. Mozhaiskogo. E-mail: sake636@mail.ru

Kozlov Sergei Aleksandrovich, Senior Researcher in FKU NPO «STiS» MVD Rossii. E-mail: skozlov104@mvd.ru

Kurochka Vladimir Sergeevich, Candidate of Sciences, Associate Professor of the Department in Voennaya akademiya svyazi im. S.M. Budennogo. E-mail: Uprava223@mail.ru

Kuzin Pavel Igorevich, Candidate of Sciences, Professor in Sankt-Peterburgskii gosudarstvennyi lesotekhnicheskii universitet im. S.M. Kirova. E-mail: kuzik78@mail.ru

Mamedov Ruslan Gasanovich, Candidate of Sciences, docent, Senior Researcher in Voennaia akademiia materialno-tekhnicheskogo obespecheniia im. A.V. Khruleva. E-mail: mrg1966@yandex.ru

Mandritsa Dmitrii Petrovich, Candidate of Sciences, docent, docent in Voenno-kosmicheskaiia akademiia im. A.F. Mozhaiskogo. E-mail: mandriza66@mail.ru

Maslik Aleksandr Gennadevich, Adjunct in Voenno-kosmicheskaiia akademiia im. A.F. Mozhaiskogo. E-mail: m4slik.a@yandex.ru

Mironov Andrei Nikolaevich, Doctor of Sciences, professor, in Voenno-kosmicheskaiia akademiia im. A.F. Mozhaiskogo. E-mail: mironov-anik@yandex.ru

Moldovanov Maksim Andreevich, Adjunct in Voenno-kosmicheskaiia akademiia im. A.F. Mozhaiskogo. E-mail: karosmasterlyk@mail.ru

Nazarov Aleksei Dmitrievich, Adjunct in Voennaia akademiia sviazi im. S.M. Budennogo. Ph.: +7 (812) 247-9802.

Novak Olga Sergeevna, Head of Production in AO «NPO Spetsmaterialov». E-mail: o.novak@npo-sm.ru

Ovodov Vladimir Borisovich, Candidate of Sciences, Researcher in Voennaia akademiia sviazi im. S.M. Budennogo. E-mail: ovod52@mail.ru

Poliakov Dmitrii Nikolaevich, Adjunct in Voennaia akademiia sviazi im. S.M. Budennogo. E-mail: bryanik51@mail.ru

Prishchenko Alina Vladimirovna, Deputy Director of ZSM NPO Speczmaterialov for Quality. E-mail: vladimir_prishenko@mail.ru

Puchkov Andrei Sergeevich, Candidate of Sciences, Head of Department in AO «NPO Spetsmaterialov». Ph.: +7 (812) 542-8770.

Shmidt Artur Andreevich, Adjunct in Voennaia akademiia sviazi im. S.M. Budennogo. E-mail: shmidt.artur2011@yandex.ru

Silnikov Nikita Mikhailovich, Doctor of Sciences, Deputy Director General in AO «NPO Spetsmaterialov». E-mail: Nikita.Silnikov@npo-sm.ru

Spivak Aleksandr Ivanovich, Candidate of Sciences, Senior Researcher in AO «NPO Spetsmaterialov». Ph.: +7 (812) 291-4503.

Spivak Igor Aleksandrovich, Candidate of Sciences, staff in Mikhailovskaia voennaia artilleriiskaia akademiia. Ph.: +7 (812) 472-1571.

Sviatkin Sergei Anatolevich, Candidate of Sciences, docent, Deputy Head of the Department in Voenno-kosmicheskaiia akademiia im. A.F. Mozhaiskogo. Ph.: +7 (812) 347-9535.

Syzrantsev Aleksey Gennadevich, Postgraduate student in FGBOU VO MTUSI. E-mail: skiabrat@mail.ru

Tsutsiev Sergei Aleksandrovich, Doctor of Sciences, Senior Researcher in FGBU «GNIII VM» MO RF. E-mail: sdsot@yandex.ru

Tuchin Gennadii Anatolevich, Head of the Voennaia akademiia sviazi im. S.M. Budennogo. Ph.: +7 (812) 247-9835.

Vasileva Svetlana Nikolaevna, junior researcher in AO «NPO Spetsmaterialov». E-mail: VasilyevaSN@npo-sm.ru

Volodin Roman Sergeevich, Candidate of Sciences, Chief in Voenno-kosmicheskaiia akademiia im. A.F. Mozhaiskogo. Ph.: +7 (911) 208-4190. E-mail: vka@mil.ru

Zhukova Liubov Sergeevna, engineer in AO «NPO Spetsmaterialov». E-mail: zhukova@npo-sm.ru

Zinnurov Salavat Khalilovich, Candidate of Sciences, Professor of the Department in Voenno-kosmicheskaiia akademiia im. A.F. Mozhaiskogo. E-mail: zinnurov_salavat@mail.ru

ПАМЯТКА АВТОРУ

по подготовке к публикации научно-технической статьи

Структура статьи

1. Аннотация (реферат). Повествует о содержании работы и показывает, что, по мнению автора, наиболее ценно и применимо в выполненной им работе.

2. Вводная часть. Обоснование актуальности темы: важность, особенность, известный вариант решения, недостатки его.

3. Основная часть. Описание предлагаемого варианта решения: начальные условия решения задачи, проведение исследования (место исследования, основные данные о предмете исследования), сущность предлагаемого варианта решения, методы (наблюдение, эксперимент, моделирование, расчет, разработка, конструирование, проектирование, изготовление, методы управления и пр.), технические средства реализации, экспериментальная проверка.

Оценка предлагаемого варианта решения (определение степени новизны результата): особенности предлагаемого варианта решения (преимущества перед аналогами, эквивалентные результаты, недостатки явные, предполагаемые), сведения об авторских свидетельствах и патентах, экономическая, технологическая оценка, внедрения.

Необходимо представить результаты в наглядной форме: в виде таблиц, графиков, диаграмм. Применение математики для объяснения полученных результатов должно быть минимальным (не загромождать текст формулами).

Не следует приводить пространные рассуждения и описания, повторять в тексте подрисовочные подписи при ссылках на рисунки, один и тот же материал представлять в различной форме: в тексте и таблице, в формуле и графике, в таблице и графике и т.п.

4. Выводы. Должны показывать, что получено и иметь характер тезисов, не могут быть слишком многочисленными.

5. Список литературы. Важно правильно оформить ссылку на источник в списке, указывая при этом фамилии и инициалы авторов, название журнала (монографии), год издания, выпуск (том), номер, страницы. Читатель должен иметь возможность найти указанный источник. Количество источников должно быть не менее 10. Оформление библиографических списков необходимо осуществлять по ГОСТам: ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка». Общие требования правила составления и ГОСТ Р 7.0.12-2011 «Библиографическая запись. Сокращение слов и словосочетаний на русском языке. Общие требования и правила».

Структура представления материалов для публикации

Авторский оригинал статьи должен в обязательном порядке содержать следующие элементы:

На русском и английском языках:

- название статьи;
- индекс УДК;
- фамилия, имя, отчество авторов полностью, ученая степень, место работы, e-mail;
- аннотация — размером 600–800 знаков;
- ключевые слова;
- список литературы, не менее 10 источников.

На русском языке:

- основной текст, содержащий в себе формулы, таблицы и иллюстрации.

Требования к оформлению публикации

Заголовок статьи набирать исключительно строчными буквами.

Текст: материалы набираются в текстовом редакторе Microsoft Word с расширением *.rtf или *.doc, шрифт Times New Roman Cyr, размер 12, без стилового оформления.

Текст должен быть отредактирован, набран без переносов слов, разрядка текста исключается.

В статье не должно быть повторов, излишних подробностей, частных деталей, известных положений, **громоздких таблиц и формул**. Следует избегать сокращений. Все имеющиеся в тексте аббревиатуры, сокращения и условные обозначения должны быть расшифрованы.

Не допускается использование сносок, закладок, нумерованных списков (нумерацию пунктов, подразделов). Для заголовков и подзаголовков запрещается использовать специальные стили и подчёркивания. Ссылки в тексте на литературу даются в квадратных скобках.

Таблицы представляются без использования сканирования, цветного фона, размер шрифта — 10 пт (параметры таблицы, ширина × высота, не более 165 × 240 мм).

Иллюстрации (графики, рисунки) должны быть черно-белые и выполнены в форматах *.jpeg или *.tif с разрешением не менее 300 dpi для штриховых изображений (схем, чертежей, графиков) и не менее 600 dpi для полутоновых (фотографии и т.п.); иметь линейные размеры не превышающие 165 × 240 мм. Дополнительно каждая иллюстрация прилагается отдельным файлом. В имени файла следует указать порядковый номер иллюстрации.

Все буквенные и цифровые обозначения, приведенные на иллюстрациях, поясняются или в основном тексте, или в подрисуночной подписи.

Иллюстрации, таблицы должны иметь порядковый номер и название.

Математические формулы следует набирать исключительно в редакторе формул Math Type (размеры символов: обычный — 11 пт, крупный индекс — 8 пт, мелкий индекс — 5 пт, крупный символ — 15 пт, мелкий символ — 10 пт. Шрифты: Times New Roman — для стилей Текст, Функция, Переменная, Матрица-вектор; Symbol — для стилей Греческий, Символ. Для стиля Переменная следует выбирать наклонное начертание, для стиля Матрица-вектор — полужирное). Нумерация формул представляется с правой стороны. Расшифровка формульных обозначений дается в тексте после слова «где» без абзацного отступа. Использование сканированных формул запрещается.

Единицы физических величин следует приводить в системе СИ.

В редакцию предоставляются электронная версия и контрольная распечатка статьи, которая должна быть подписана всеми авторами. Электронная и бумажная версии статьи должны быть полностью идентичными.

Объем статьи должен быть не более 10 листов формата А4.

Все статьи должны сопровождаться экспертными заключениями о допустимости публикации материала статьи в открытой печати.

К статьям прилагаются рецензии внешних рецензентов.

Материалы представляются в электронном виде (CD, флеш-карта) или по e-mail: vot@npo-sm.ru

Плата за публикацию статей с авторов, в том числе с аспирантов не взимается.

Материалы, не отвечающие требованиям, не рассматриваются

ISSN 2306-1456

ПОДПСКА
на 2025 год

ВОПРОСЫ ОБОРОННОЙ ТЕХНИКИ
Серия 16. Технические средства
противодействия терроризму

Подписной индекс № 41271
в объединенном каталоге
«Пресса России»

НПО Спецматериалов

195277, г. Санкт-Петербург, Б. Сампсониевский пр., д. 28-а, литера Б

БАНКОВСКИЕ РЕКВИЗИТЫ

АО «НПО Спецматериалов»

Р/с 40702810132000018688	БИК 044030786	К/счет 30101810600000000786
Филиал «Санкт-Петербургский» АО «Альфа-Банк»		
ИНН 7806125671	ОКПО 31041642	КПП 780201001

*СЧЕТ № **

Дата: « _____ » _____ 2025 г.

Предмет счета	Кол-во комплектов	Цена одного комплекта (руб.)	Сумма (руб.)
Подписка на журнал «ВОТ. Серия 16» На 2025 год – 6 сдвоенных номеров (январь–декабрь)		6360-00	
НДС 10%		636,00	
Итого с учетом НДС		6996,00	

Всего к оплате (в т.ч. НДС): шесть тысяч девятьсот девяносто шесть рублей 00 копеек

**Счет на подписку будет выставлен после подачи заявки на эл. почту: commerce@npo-sm.ru*

Начальник ЦРСИ

Бухгалтер



/В.П. Кныш/

/В.Ю. Клименко-Мельник/

ВНИМАНИЕ!

В платежном поручении в графе «Назначение платежа» обязательно укажите:

- * наименование издания в период подписки
- * номер счета, на основании которого производится оплата
- * контактный телефон
- * подробный почтовый адрес, на который будет высылаться журнал

ОТДЕЛ АДРЕСНОЙ ПОДПИСКИ

Тел. : (812) 600-75-54
Факс: (812) 542-75-58
E-mail: vot@npo-sm.ru

Редакция вправе сокращать и литературно обрабатывать принятые к публикации тексты.
Редакция может публиковать материалы, не разделяя точку зрения авторов.
Ответственность за достоверность информации, точность фактов, цифр и цитат, а также за то, что в материалах нет данных, не подлежащих открытой публикации, несут авторы.
В соответствии с Законом РФ «О средствах массовой информации» редакция имеет право не вступать в переписку с авторами.
При перепечатке материалов ссылка на журнал «Вопросы оборонной техники» обязательна.

Запросы по материалам выпуска направлять в редакцию журнала по адресу:
АО «НПО Спецматериалов», 195277, Санкт-Петербург, Б. Сампсониевский пр., 28А, литера Б.
Тел. (812) 542-98-50; факс: (812) 542-75-58, E-mail: vot@npo-sm.ru
Адрес сайта: <http://www.vot16.ru>

Вопросы оборонной техники. Серия 16.
Технические средства противодействия терроризму. 2025. Вып. 5–6 (203–204)

Компьютерная верстка — М.А. Лаурман
Корректор — Е.А. Красикова, А.К. Райхчин

Подписано в печать 20.06.2025
Дата выхода издания 26.06.2025
Формат 60х90 1/8. Печать цифровая.
Усл. печ. л.
Тираж 600 экз. Заказ №
Отпечатано в типографии «АСТЕР Петербург».
ООО «Первый издательско-полиграфический холдинг»,
Санкт-Петербург, Б. Сампсониевский пр., 60, лит. «У».
Тел.: (812) 603 25 25.
Цена свободная.