

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 7–8 (205–206)



Москва • 2025

Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. — М.: ВНИИ «Центр». — СПб.: АО «НПО Спецматериалов». — СПб.: Первый ИПХ. 2025. Вып. 7–8 (205–206).

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 338.245

doi: 10.53816/23061456_2025_7–8_3

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
В СИСТЕМЕ ВЕЩЕВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF DIGITAL TECHNOLOGIES
IN THE CLOTHING SUPPLY SYSTEM THE ARMED FORCES
OF THE RUSSIAN FEDERATION**

Канд. экон. наук Р.А. Красовитов

Ph.D. R.A. Krasovitev

Филиал ВА МТО им. А.В. Хрулева (г. Вольск)

В последнее время происходит быстрое развитие инструментов повышения эффективности логистических систем, основанных на сочетании гибкого сотрудничества между элементами, входящими в их состав, широкого использования цифровизации и адаптации конечного продукта к специфическим запросам конкретного заказчика. Повышение эффективности системы вещевого обеспечения делает актуальным вопрос целесообразности внедрения цифровых технологий. В статье рассматриваются перспективы внедрения цифровых технологий в системе материального обеспечения в целом и вещевого обеспечения в частности в Вооруженных Силах Российской Федерации, а также направления развития программного обеспечения для управления логистическими процессами, доступа к единой платформе, на которой можно вести учет активов и планировать маршруты доставки материальных средств.

Ключевые слова: вещевое обеспечение, цифровые технологии, внедрение, логистические процессы, материальные средства.

Recently, there has been a rapid development of tools to improve the efficiency of logistics systems based on a combination of flexible cooperation between the elements included in their composition, the widespread use of digitalization and the adaptation of the final product to the specific needs of a particular customer. Increasing the efficiency of the clothing supply system makes the issue of the expediency of introducing digital technologies relevant. The article examines the prospects for the introduction of digital technologies in the material support system in general, and clothing support in particular in the Armed Forces of the Russian Federation, as well as the development of software for managing logistics processes, access to a single platform on which you can keep records of assets and plan routes for the delivery of material.

Keywords: clothing, digital technologies, implementation, logistics processes, material resources.

Перспективы развития цифровых технологий в системе материального обеспечения в целом и вещевого обеспечения в частности открывают новые горизонты для повышения

эффективности и точности распределения материальных ресурсов для обеспечения военнослужащих Вооруженных Сил Российской Федерации.

Современные технологии, такие как Интернет вещей (IoT), большие данные, облачные вычисления и искусственный интеллект, могут существенно трансформировать существующие процессы вещевого обеспечения военнослужащих (рис. 1).

Во-первых, внедрение IoT в процессы вещевого обеспечения позволяет создать интеллектуальные системы отслеживания, которые могут контролировать состояние материальных запасов в реальном времени. Это не только снижает вероятность потерь и ошибок, но и обеспечивает возможность оперативного реагирования на изменения в потребностях подразделений в ходе ведения вооруженной борьбы.

В результате скорость обеспечения войск необходимыми материальными средствами значительно увеличивается, что является критическим фактором в условиях современных боевых действий.

Во-вторых, аналитические инструменты на базе больших данных могут помочь в прогнозировании потребностей, учитывая как исторические данные, так и реальные (текущие) условия. Это позволит заранее планировать закупки и минимизировать затраты на хранение и перевозку материальных средств.

Кроме того, развитие программного обеспечения для управления логистическими процессами может предоставить военнослужащим доступ к единой платформе, на которой можно вести учет активов, планировать маршруты доставки, управлять ими и анализировать эффективность работы различных подразделений (рис. 2).

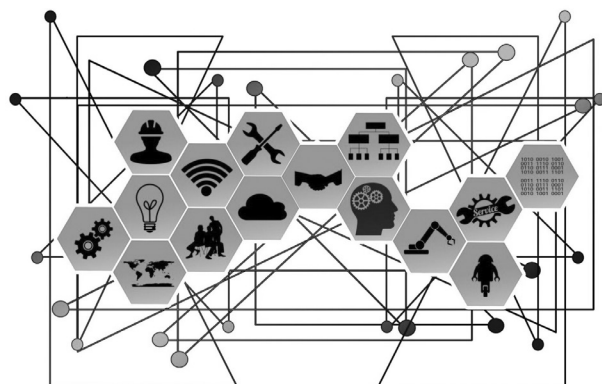


Рис. 1. Схема построения взаимосвязей в системе современных технологий

Такой подход способствует улучшению взаимодействия между различными службами, задействованными в системе материального обеспечения, что увеличивает общую надежность и скорость выполнения поставленных задач.

Важно также подчеркнуть, что внедрение автоматизированных систем управления может уменьшить человеческий фактор, который зачастую является источником ошибок и бюрократических задержек.

Стратегическим направлением будет являться интеграция современных решений в существующие системы, что потребует тщательного анализа текущих процессов, а также инвестиций в обучение персонала.

Наконец, следует отметить, что перспективы развития цифровых технологий в системе вещевого обеспечения также включают внедрение мобильных приложений и порталов для военнослужащих, которые позволят им самостоятельно следить за запасами и запрашивать необходимые ресурсы.

Такие инициативы могут повысить уровень прозрачности и ответственности в материальном обеспечении, а также упростить процесс взаимодействия между личным составом и логистическими звеньями обеспечения материальными средствами.

Развитие цифровой платформы поможет в управлении запасами на уровне каждого подразделения, позволяя командирам мгновенно оценивать потребности и принимать решения на основе актуальной информации.

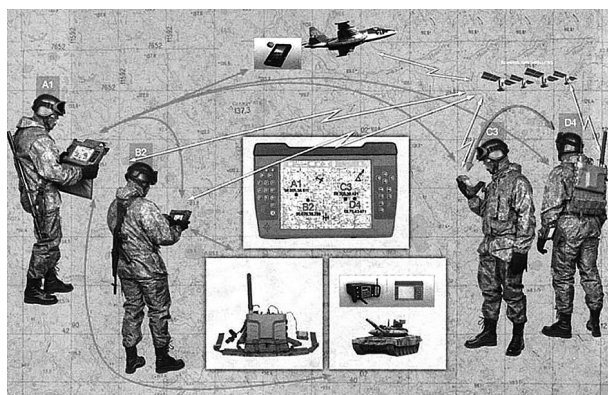


Рис. 2. Применение программного обеспечения для управления логистическими процессами в Вооруженных Силах Российской Федерации

В будущем такие системы могут быть дополнены функциями анализа и предсказания (сценарного прогноза) искусственным интеллектом, что откроет новые возможности для оптимизации обеспечения материальными средствами как в мирное время, так и в условиях вооруженных конфликтов (рис. 3).

С развитием цифровых технологий в системе вещевого обеспечения важно учитывать не только экономические и организационные аспекты, но и вопросы безопасности. Внедрение новых систем может создать определенные угрозы, связанные с кибербезопасностью. Эффективность снабжения напрямую зависит от надежности информационных систем, которые должны быть защищены от внешних угроз и внутренних уязвимостей. Это потребует от военных организаций инвестиций в киберзащиту, обучение персонала и разработку стратегий по управлению рисками. Обеспечение безопасности данных, а также защита интеллектуальной собственности, связанной с разработкой новых технологий, являются ключевыми аспектами. Тем не менее меры безопасности не должны мешать гибкости и скорости реагирования, что требует внедрения сбалансированной политики, позволяющей защищать данные и одновременно обеспечивать оперативность.

Другим важным аспектом развития цифровых технологий в системе вещевого обеспечения является взаимодействие с коммерческими партнерами. Военные организации часто работают в тесном сотрудничестве с частным сектором, и этот, вероятно, будет продолжаться в будущем. Создание совместных программ по разработке

и внедрению новых технологий может привести к значительным улучшениям в области материального обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации. К тому же эффективность системы вещевого обеспечения может быть улучшена благодаря привлечению перспективных технологий, уже адаптированных для гражданского сектора. Однако это сотрудничество требует разработки четких правил и стандартов, чтобы гарантировать высокое качество и безопасность предоставляемых услуг. В этом контексте стоит отметить, что активное вовлечение частного сектора в процесс развития современных технологий также может стимулировать их инновационное внедрение внутри военной сферы.

Наконец, также необходимо рассматривать воздействие цифровых технологий на человеческий фактор в системе вещевого обеспечения. Внедрение автоматизированных систем может означать изменение ролей и ответственности соответствующих сотрудников, что потребует изучения необходимых программ обучения. Военные специалисты должны быть готовы к работе с новыми системами, а также к адаптации к быстро меняющимся условиям. Важно, чтобы образование в области цифровых технологий стало неотъемлемой частью подготовки соответствующих военных кадров, что поможет не только повысить эффективность работы, но и снизить уровень стресса и неопределенности среди военнослужащих. Такое обучение должно также содействовать развитию навыков, связанных с критическим мышлением и инновациями, что особенно важно в условиях современных военных действий.

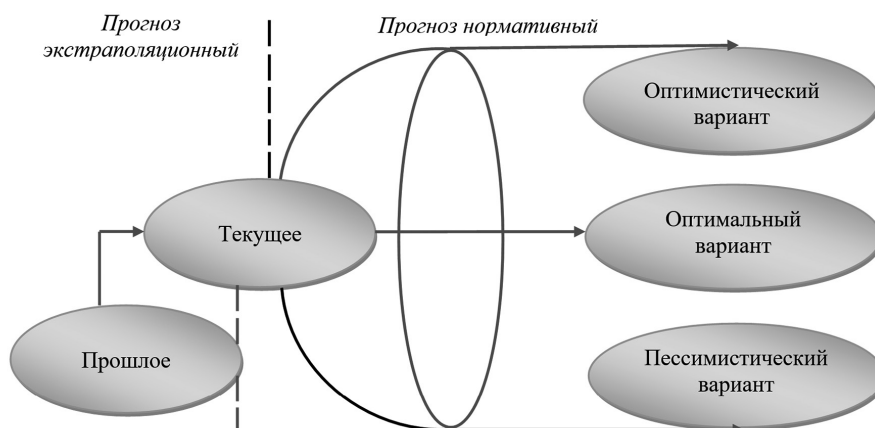


Рис. 3. Схема сценарного прогноза снабжения материальными средствами Вооруженных Сил Российской Федерации

Перспективное планирование в системе вещевого обеспечения должно учитывать не только текущее состояние дел, но и будущие тенденции, связанные с развитием и внедрением цифровых технологий. Одной из ключевых задач является интеграция технологий в долгосрочное прогнозирование, позволяющее не только реагировать на текущие вызовы, но и заранее определять и планировать ресурсы для возможных конфликтов или кризисов. Цифровые решения, такие как машинное обучение и аналитика больших данных, могут помочь в формулировке точных прогнозов на основе исторических данных и сценариев. Это позволит заранее предвидеть возможные проблемы, связанные с обеспечением, и соответственно регулировать запасы и логистическую сеть.

Кроме того, важно, чтобы процессы цифровизации охватывали все уровни стратегического планирования, начиная от оперативного уровня и заканчивая уровнями стратегического и тактического управления. Это требует создания всеобъемлющих решений, которые могут быть интегрированы в различные процессы.

Не стоит забывать, что обеспечение совместимости старых и новых систем становится большой задачей, что требует наличия стандартов и регуляций на всех уровнях. Эта интеграция может помочь создать единое информационное поле, где все участники цепи материального обеспечения могут получать доступ к необходимым данным и принимать обоснованные решения на основе актуальной информации. Инвестиции в инфраструктуру и технологии будут ключевыми в этом процессе, что потребует поддержки со стороны высшего руководства и военных структур страны.

В заключение можно отметить, что стратегическое планирование должно быть адаптировано к быстро меняющимся условиям, и цифровые технологии должны стать основой этой адаптивности. Это требует от военных не только технических знаний, но и стратегического видения, которое охватывало бы как тактические, так и долгосрочные аспекты управления снабжением. Важно создать среду, в которой инновации будут поощряться, а не восприниматься как угроза существующим системам.

Стимулирование исследовательских инициатив в области военных технологий также

может помочь искать новые решения и подходы к системе материального обеспечения в целом и вещевого обеспечения в частности. С таким подходом внедрение цифровых технологий будет не только необходимым, но и стратегически важным элементом, обеспечивающим устойчивость и готовность Вооруженных Сил Российской Федерации в условиях современных вызовов.

Список источников

1. Толкачев С.А. Индустрия 4.0 и ее влияние на технологические основы экономической безопасности России // Вестник РАЕН. 2017. Т. 17. № 1. С. 79–83.
2. Щетинина Н.Ю. Индустрия 4.0: практические аспекты реализации в российских условиях // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2017. № 1. С. 75–84.
3. Юмаев Е.А. Инновационно-промышленная политика в свете перехода к Индустрии 4.0: зарубежные тенденции и вызовы для России // Журнал экономической теории. 2017. № 2. С. 181–185.
4. Курбанов А.Х., Курбанов Т.Х., Лучкин С.В. Цифровые логистические технологии: возможные перспективы и риски внедрения в цепи поставок // Логистика. 2018. № 10. С. 32–36.
5. Богатырева С.В., Титов А.Б., Куприянова М.Ю. Экономическая эффективность как основа формирования управленческих решений // Экономика и менеджмент систем управления. 2016. Т. 20. № 2.1. С. 116–122.
6. Красовитов Р.А., Курбанов А.Х. Научно-методическое сопровождение внедрения концепции «Индустрии 4.0» в сфере вещевого обеспечения военных потребителей // Экономика и предпринимательство. 2017. № 10 (ч. 2). С. 761–767.
7. Красовитов Р.А. Порядок внедрения технологий «Индустрии 4.0» в процесс вещевого обеспечения военных потребителей // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2018. № 5. С. 100–106.
8. Алексеев А.В., Волчков Д.А., Егоров П.В. Перспективы и проблемы внедрения инновационных подходов при организации обеспечения военнослужащих вещевым имуществом // Экономика и предпринимательство. 2018. № 2. С. 768–772.

9. Суровцева О.А., Федорова Н.Ю. Автоматизация процесса работы с поставщиками на аптечных предприятиях // Символ науки. 2016. № 1–2. С. 99–101.

10. Стародубцев Ю.И., Кирьянов А.В., Яблоков Д.Ю. Метод защиты информации при проведении электронных торговых операций // Проблемы экономики и управления в торговле и промышленности. 2013. № 1. С. 99–103.

11. Бабкин А.В., Буркальцева Д.Д., Костень Д.Г., Воробьев Ю.Н. Формирование цифровой экономики в России: сущность, особенности, техническая нормализация, проблемы развития // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2017. Т. 10. № 3.

12. Левенцов В.А., Радаев А.Е., Николаевский Н.Н. Аспекты концепции «Индустрии 4.0» в части проектирования производственных процессов // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2017. Т. 10. № 10.

References

1. Tolachev S. A. Industry 4.0 and its impact on the technological foundations of Russia's economic security // Bulletin of the Russian Academy of Natural Sciences. 2017. Vol. 17. No 1. Pp. 79–83.

2. Shchetinina N.Y. Industry 4.0: practical aspects of implementation in Russian conditions // Models, systems, and networks in economics, technology, nature, and society. 2017. No 1. Pp. 75–84.

3. Yumaev E.A. Innovation and industrial policy in the light of the transition to Industry 4.0: foreign trends and challenges for Russia // Journal of Economic Theory. 2017. No 2. Pp. 181–185.

4. Kurbanov A.H., Kurbanov T.H., Luchkin S.V. Digital logistics technologies: possible prospects and risks of implementation in the supply chain // Logistics. 2018. No 10. Pp. 32–36.

5. Bogatyreva S.V., Titov A.B., Kupriyano-va M.Yu. Economic efficiency as the basis for the formation of managerial decisions // Economics and management of management systems. 2016. Vol. 20. No 2.1. Pp. 116–122.

6. Krasovitev R.A., Kurbanov A.H. Scientific and methodological support for the implementation of the concept of «Industry 4.0» in the field of clothing for military consumers // Economics and Entrepreneurship. 2017. No 10 (part 2). Pp. 761–767.

7. Krasovitev R.A. The procedure for introducing Industry 4.0 technologies into the process of clothing for military consumers // Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law. 2018. No 5. Pp. 100–106.

8. Alekseev A.V., Volchikov D.A., Egorov P.V. Prospects and problems of introducing innovative approaches in the organization of providing military personnel with personal belongings // Economics and Entrepreneurship. 2018. No 2. Pp. 768–772.

9. Surovtseva O.A., Fedorova N.Y. Automation of the process of working with suppliers at pharmacy enterprises // Symbol of Science. 2016. No 1–2. Pp. 99–101.

10. Starodubtsev Yu.I., Kiryanov A.V., Yablokov D.Yu. Method of information protection during electronic trading operations // Problems of economics and management in trade and industry. 2013. No 1. Pp. 99–103.

11. Babkin A.V., Burkaltseva D.D., Kosten D.G., Vorobyov Yu.N. Formation of the digital economy in Russia: essence, features, technical normalization, development problems // Scientific and Technical Bulletin of St. Petersburg State Polytechnic University. Economic sciences. Economic sciences. 2017. Vol. 10. No 3.

12. Leventsov V.A., Radaev A.E., Nikolaevsky N.N. Aspects of the concept of «Industry 4.0» in terms of designing production processes // Scientific and Technical Bulletin of St. Petersburg State Polytechnic University. Economic sciences. 2017. Vol. 10. No 10.

УДК 629.78

doi: 10.53816/23061456_2025_7–8_8

МЕТОДИКА СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ОБРАЗЦОВ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

METHODOLOGY FOR COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE TECHNICAL LEVEL OF SPACE TECHNOLOGY SAMPLES

Канд. техн. наук Д.В. Скворцов, канд. воен. наук С.Н. Краснощеков, канд. техн. наук В.А. Сиволан

Ph.D. D.V. Skvortsov, Ph.D. S.N. Krasnoshchekov, Ph.D. V.A. Sivolan

Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского

В работе предложена методика, опирающаяся на положения теории несуммируемых математических мер теории нечетких множеств, методы собственных векторов, парных сравнений и несуммируемых мер Демпстера и Шефера, позволяющая для рассчитанного комплексного показателя технического уровня образцов космической техники определить обоснованный диапазон удовлетворяющих его значений. Предложенный подход позволяет отказаться от требования равенства единице суммы весовых коэффициентов составляющих комплексного показателя, что снижает влияние на результат субъективных факторов. Представлены результаты апробации методики на примере сравнения космических аппаратов как сложных технических объектов, условно относящихся к одному классу, и особенности ее использования при научно-техническом сопровождении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию перспективных образцов ракетно-космической техники.

Ключевые слова: космический аппарат, уровень технического совершенства, комплексный показатель технического уровня, несуммируемые меры, метод анализа иерархий.

The paper proposes a methodology based on the provisions of the theory of non-summable mathematical measures of fuzzy set theory, the methods of eigenvectors, paired comparisons and non-summable measures of Dempster and Schaefer, which allows for the calculated complex indicator of the technical level of space technology samples to determine a justified range of values satisfying it. The proposed approach allows us to abandon the requirement that the sum of the weighting coefficients of the components of a complex indicator be equal to one, which reduces the influence of subjective factors on the result. The results of testing the methodology are presented using the example of comparing spacecraft as complex technical objects, conditionally belonging to the same class, and the features of its use in scientific and technical support of research and development work on the creation of promising models of rocket and space technology.

Keywords: spacecraft, a level of technical excellence, a comprehensive indicator of the technical level, non-summable measures, hierarchy analysis method.

Введение

Необходимость оценки технического уровня образцов изделий ракетно-космической техники

обусловлена необходимостью обоснования характеристик перспективных изделий, подготовки технического задания на разработку перспективных образцов, стандартов и технических ус-

ловий, а также составления карты технического уровня на изделия.

Под техническим уровнем понимается относительная характеристика качества продукции, основанная на сопоставлении значений показателей, характеризующих техническое совершенство оцениваемой продукции, с соответствующими базовыми значениями.

В свою очередь, уровень технического совершенства — это относительная характеристика, отражающая сравнительную степень технического совершенства рассматриваемого космического аппарата по отношению к базовому (аналогу или совокупности аналогов) [1].

Сравнительной оценке технического уровня образцов космической техники посвящен ряд научных и методических работ [2–5]. При этом показателем уровня технического совершенства является численное выражение, определяющееся отношением показателя технического совершенства рассматриваемого технического объекта (ТО) к аналогичному показателю технического совершенства базового (эталонного) ТО [4, 5].

Все до сих пор известные методы определения комплексного показателя технического уровня в конечном счете сводятся к поиску весовых коэффициентов [2–5, 7, 8], сумма которых равна единице. Это требование не учитывает того факта, что значения показателя, полученные в результате применения различных подходов, являются зависимыми величинами. В предлагаемой методике для снижения уровня такой зависимости требование равенства суммы весов единице снимается.

Цель работы — рассмотрение методики, позволяющей получить не только рассчитанный комплексный показатель технического уровня, но и обоснованный диапазон его значений.

Методика определения диапазона комплексного показателя технического уровня образцов техники

Сам методический аппарат, на котором основывается предлагаемая методика, опирается на теорию нечетких множеств [9–12], метод парных сравнений [3], метод анализа иерархий Т. Саати [7, 8], теорию несуммируемых мер Демпстера — Шефера [6] и метод собственных векторов [7].

Пусть рассматривается задача определения наиболее предпочтительного альтернативного проекта y^* из представленных y_j , $j = 1, \dots, m$.

Задаем n критериев оценки $(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Каждому критерию лицо, принимающее решение, приписывает веса $\mathbf{W} = (w_1, w_2, \dots, w_n)$. При этом проект y^* можно представить следующим образом:

$$y^* = \left\{ y_j \mid \max_j \sum_{i=1}^n w_i \cdot f_j(x_i) \right\},$$

где $f_j(x_i)$ — значение i -го критерия оценки j -го проекта.

Проблема состоит в определении весов $\mathbf{W} = (w_1, w_2, \dots, w_n)$. Одним из методов нахождения их значений является метод собственных векторов, предложенный Т. Саати в рамках метода анализа иерархий (МАИ).

Вектор $\mathbf{W}$ считается мерой возможности в пространстве X . В классическом МАИ веса w_i вектора $\mathbf{W}$ нормализуются так, чтобы их сумма была равна 1.

В предлагаемом подходе выполнение условия

$$\sum_i w_i = 1$$

необязательно.

Условия, которым должны удовлетворять значения элементов w_i вектора $\mathbf{W}$, состоят в следующем: $0 \leq w_i \leq 1$, $i = 1, \dots, n$ и существует, по крайней мере, одно i , для которого $w_i = 1$.

После того как определен набор критериев оценки технического уровня объекта, лицу, принимающему решение, задается вопрос: «Насколько важен критерий оценки c по сравнению с критерием оценки d ?»

Для установления относительной важности элементов иерархии используется шкала отношений Чеддока (табл. 1), правомочность использования которой доказана в [7]. Данная шкала позволяет преобразовать предпочтения одного сравниваемого критерия перед другим в числовые значения a_{cd} в интервале от 1 до 9 или обратные им значения.

Заполнение матрицы сравнения осуществляется по следующему правилу. Если критерий оценки c превосходит критерий оценки d , то значению элемента матрицы a_{cd} присваивается значение шкалы Чеддока, а значению симметричного

Таблица 1

Шкала Чеддока

Одинаково важны	1
Почти важен	3
Достаточно важен	5
Очень важен	7
Крайне важен	9
Используются как промежуточные значения	2, 4, 6, 8

элемента a_{dc} матрицы присваивается обратное к нему число. Если критерии оценки равноценны, то элементам (a_{cd}, a_{dc}) матрицы присваиваются единицы.

В результате формируется положительная обратнo-симметричная матрица парных сравнений

$$\mathbf{M} = [a_{ij} | a_{ii} = 1, a_{ij} = 1 / a_{ji}] \mathbf{M}_{nn}(\mathbf{F}).$$

Ранжирование объектов осуществляется на основании главных собственных векторов.

Проблема заключается в нахождении максимального собственного значения $\lambda_{\max}$ матрицы $\mathbf{M}$ и собственного вектора $\mathbf{W}$, соответствующего $\lambda_{\max}$, из следующего векторного уравнения первого порядка:

$$(\mathbf{M} - \lambda \mathbf{I}) \mathbf{W} = 0,$$

где λ — собственное значение матрицы $\mathbf{M}$;

$\mathbf{I}$ — единичная матрица.

В предлагаемой методике используются мера возможности и мера необходимости, представляющие собой несуммируемые меры в теории нечетких множеств [6].

Использование несуммируемых весов позволяет смягчить требование независимости параметров оценки по сравнению со случаем суммируемых весов, а также сгладить явление нарушения порядка, вызванное добавлением сходных критериев оценки.

В соответствии с теорией несуммируемых математических мер теории нечетких множеств [6] в методике применяются несуммируемые меры. Для вещественной функции f в $\mathbf{X}$ определяются функция верхнего распределения F^* и функция нижнего распределения F_* , путем интегрирования которых определяются верхнее E^* и нижнее E_* ожидаемые значения искомой величины:

$$E^*(f) = \int_{-\infty}^{\infty} v dF_*(v) = \sum_{A \subset X} m(A) \cdot \max_{x \in A} f(x);$$

$$E_*(f) = \int_{-\infty}^{\infty} v dF^*(v) = \sum_{A \subset X} m(A) \cdot \min_{x \in A} f(x),$$

где A — фокусирующие множества;

m — базовые вероятности.

Для верхнего E^* и нижнего E_* ожидаемых значений искомой величины справедливо неравенство

$$\min f(x) \leq E_*(f) \leq E(f) \leq E^*(f) \leq \max f(x),$$

которое можно интерпретировать как сужение диапазона искомой величины.

Если вектор $\{\mathbf{w}_i\}$ — степень важности i -го критерия, полученный при решении

$$(\mathbf{M} - \lambda \mathbf{I}) \mathbf{W} = 0,$$

соответствует максимальному собственному значению $\lambda_{\max}$ матрицы $\mathbf{M}$, то выбирая q значений $(r_1 < r_2 < \dots < r_q = 1)$, можно определить q фокусирующих множеств

$$\mathbf{A}_l = \{x_i | w_i \geq r_l\}, l = (1, \dots, q)$$

и q базовых вероятностей

$$m(\mathbf{A}_l) = (r_l - r_{l-1} | l = 1, \dots, q, r_0 = 0).$$

Определив базовые вероятности $m(\mathbf{A}_l)$, можно вычислить верхнее E^* и нижнее E_* ожидаемые значения искомого диапазона:

$$E^*(f) = \sum_{l=1}^q (r_l - r_{l-1}) \cdot \max_{x \in A_l} f(x);$$

$$E_*(f) = \sum_{l=1}^q (r_l - r_{l-1}) \cdot \min_{x \in A_l} f(x).$$

Таким образом, для рассчитанного комплексного показателя технического уровня ТО предложенная методика позволяет определить диапазон удовлетворяющих его значений.

Основные шаги предлагаемой методики.

1. Строится словесная матрица попарного сравнения результатов, полученных различными методами оценки.

2. Словесная матрица приводится к числовой положительной обратно-симметричной, которая проверяется на непротиворечивость посредством индекса и отношения согласованности.

3. Производится поиск максимального собственного значения матрицы и соответствующего ему вектора весов.

4. Определяются фокусирующие множества и соответствующие им базовые вероятности.

5. Рассчитываются нижнее и верхнее ожидаемые значения искомого диапазона.

6. При необходимости рассчитывается рекомендуемое значение комплексного показателя технического уровня ТО.

7. Определяется место ТО в иерархии сравнений.

Предложенная методика реализована на языке Python и включена в состав программно-моделирующего комплекса [13].

Апробация методики проведена на исходных данных (табл. 2) и матрице парных сравнений ТТХ (табл. 3) отечественных и зарубежных КА [4], условно относящихся к одному классу (выполняющих одинаковую целевую задачу).

Результаты расчетов приведены в табл. 4 и на графиках (рисунок). В таблице и на графиках

представлены значения комплексного показателя (ESum) технического уровня сравниваемых ТО, верхняя (E_{max}) и нижняя (E_{min}) границы диапазона, а также место каждого образца в иерархии сравнений.

Рассматривая полученные результаты, можно отметить следующее:

– по разработанной методике удалось предложить достаточно узкий диапазон комплексного показателя технического уровня ТО;

– результаты, полученные методом собственных векторов [7], лежат внутри рассчитанного диапазона;

– рекомендуемые значения комплексного показателя технического уровня ТО могут быть рассчитаны по методу «центра тяжести» [9, 11];

– в связи с тем, что в алгоритме определения ESum принято условие независимости исходных данных, довольно часто наблюдается смещение итоговой величины от «центра тяжести» диапазона.

Выводы

– Предложена методика решения задачи определения диапазона комплексного показателя технического уровня ТО, которая опирается

Таблица 2

Исходные данные

Номер ТТХ	Номер КА								Влияние
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	7000,0	6570,0	6000,0	16500,0	2100,0	2800,0	800,0	2000,0	1,0
2	5,0	3,0	5,0	10,0	7,0	7,50	10,0	1,0	–1,0
3	0,50	1,0	0,90	0,23	0,35	0,31	1,50	0,30	1,0
4	1,0	1,0	1,0	0,35	0,70	0,75	0,50	0,30	–1,0
5	20,0	28,0	38,0	3,0	15,0	16,40	10,0	15,0	–1,0
6	2,0	2,0	3,0	2,0	2,0	2,0	3,0	1,0	–1,0

Таблица 3

Матрица парных сравнений ТТХ КА

Номер ТТХ КА	1	2	3	4	5	6
1	1	1	0,14	0,33	1	0,2
2	1	1	0,2	0,5	1	0,2
3	7	5	1	3	3	1
4	3	2	0,33	1	1	0,33
5	1	1	0,33	1	1	0,33
6	5	5	1	3	3	1

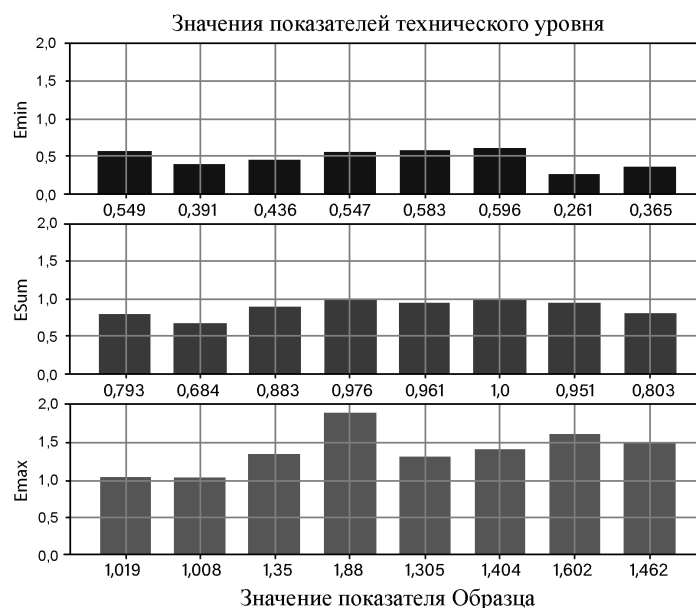


Рис. Показатель технического уровня и значения границ диапазона

Таблица 4

Результаты апробации методики

Номер КА	Суммарная оценка (E_{Sum})		Альтернативная оценка (E_{max})		Дополнительная оценка (E_{min})	
	Оценка	Место	Оценка	Место	Оценка	Место
1	0,793	7	1,019	7	0,549	3
2	0,684	8	1,008	8	0,391	6
3	0,883	5	1,35	5	0,436	5
4	0,976	2	1,88	1	0,547	4
5	0,961	3	1,305	6	0,583	2
6	1	1	1,404	4	0,596	1
7	0,951	4	1,602	2	0,261	8
8	0,803	6	1,462	3	0,365	7

на алгоритмы теории нечетких множеств [9–12], методы собственных векторов, парных сравнений [3], агрегированной иерархии Т. Саати [7, 8] и несуммируемых мер Демпстера и Шефера [6]. Такой подход позволил отказаться от требования равенства единице суммы весовых коэффициентов, что в свою очередь смягчило влияние субъективных факторов;

– методика реализована на языке Python и включена в состав исследовательского ПМК [13] в виде расчетного блока оценивания уровня технического совершенства изделий ракетно-космической техники;

– разработанный расчетный блок в составе программно-моделирующего комплекса может

быть использован научно-исследовательскими организациями при научно-техническом сопровождении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию перспективных образцов ракетно-космической техники, а также в учебном процессе при курсовом и дипломном проектировании.

Список источников

- ГОСТ 15467–79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1979. 21 с.
- Орлов А.И. Экспертные оценки: учеб. пособие. М., 2002. 31 с.

3. Дэвид Г. Метод парных сравнений. М.: Статистика, 1978. 144 с.

4. Скворцов Д.В., Рошин Г.Б. Методика оценки технического уровня отечественных образцов космических аппаратов и их зарубежных аналогов // Труды Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы создания и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники». Т. 1. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2012. С. 480–485.

5. Методика оценки уровня технического совершенства отечественных образцов ВВСТ и их зарубежных аналогов. М.: 27 НИИ МО РФ, 2010. 36 с.

6. Асаи К., Иваи Д. и др. Прикладные нечеткие системы. М.: Мир, 1993. 368 с.

7. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1989. 316 с.

8. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. М.: Радио и связь, 1991. 224 с.

9. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 165 с.

10. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. М.: Радио и связь, 1982. 432 с.

11. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2011. 798 с.

12. Борисов В.В., Круглов В.В., Федурлов А.С. Нечеткие модели и сети. М.: Горячая линия. 2007. 284 с.

13. Денисов А.М., Краснощеков С.Н., Скворцов Д.В. и др. Структура алгоритмического обеспечения ПМК оценивания достижимых ТТХ перспективных КА // Сборник научных статей III Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы создания и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники». Т. 2. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2016. С. 111–115.

References

1. GOST 15467–79. Product quality management. Basic concepts. Terms and definitions. Moscow: Publishing House of Standards, 1979. 21 p.

2. Orlov A.I. Expert assessments: a textbook. Moscow, 2002. 71 p.

3. David G. The Method of Paired Comparisons. Moscow: Statistika, 1978. 144 p.

4. Skvortsov D.V., Roschin G.B. A method of assessment of the technical level of domestic spacecrafts and their foreign counterparts // Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference «Modern problems of creation and exploitation of weapons, military and special equipment». St. Petersburg. Vol. 1. Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky, 2012. Pp. 480–485.

5. Methodology for assessing the level of technical excellence of domestic VVST samples and their foreign analogues. Moscow: 27 Scientific Research Institute of the Ministry of Defense of the Russian Federation, 2010. 36 p.

6. Asai K., Iwai D. et al. Applied fuzzy systems. Moscow: Mir Publ., 1993. 368 p.

7. Saaty T. Decision Making: The Analytic Hierarchy Process. Moscow: Radio and Communications, 1989. 316 p.

8. Saaty T., Kerns K. Analytical planning. Organization of systems. Moscow: Radio and Communications, 1991. 224 p.

9. Zade L. The concept of a linguistic variable and its application to approximate decision making. Moscow: Mir Publ., 1976. 165 p.

10. Kofman A. Introduction to the theory of fuzzy sets. Moscow: Radio and Communications, 1982. 432 p.

11. Pegat A. Fuzzy modeling and control. Moscow: BINOM. Laboratory of knowledge, 2011. 798 p.

12. Borisov V.V., Kruglov V.V., Fedulov A.S. Fuzzy models and networks. Moscow: Hotline, 2007. 284 p.

13. Denisov A.M., Krasnoshchekov S.N., Skvortsov D.V. et al. The structure of algorithmic support for PMK assessment of achievable performance characteristics of promising spacecraft // Collection of scientific articles of the III All-Russian scientific and practical conference «Modern problems of the creation and operation of weapons, military and special equipment». Vol. 2. St. Petersburg: Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky. 2016. Pp. 111–115.

УДК 355.415.5

doi: 10.53816/23061456_2025_7–8_14

**МЕТОД РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
ПРИ УПРАВЛЕНИИ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ОБЪЕКТОВ ХРАНЕНИЯ РАКЕТ
И БОЕПРИПАСОВ**

**METHOD OF DEVELOPING DECISION SUPPORT SYSTEM
IN THE MANAGEMENT OF SAFETY OF ROCKET
AND AMMUNITION STORAGE FACILITIES**

Д-р техн. наук В.И. Алчинов, А.В. Демяшкин

D.Sc. V.I. Alchinov, A.V. Demyashkin

Филиал ВА МТО им. А.В. Хрулева (г. Пенза)

Статья посвящена повышению уровня безопасности объектов хранения ракет и артиллерийских боеприпасов. При управлении безопасностью объектов необходимо реализовать технологии поддержки принятия решений, шире применять современные возможности для автоматизации процессов управления. Внедрение системы поддержки принятия решений позволит: сократить время, необходимое лицу, принимающему решение, на обработку разнородной информации и выработку правильного решения; провести анализ имеющихся схожих прецедентов и выработать оптимальное решение в сложившейся ситуации, снизить возможный ущерб от чрезвычайной ситуации (предотвратить возникновение чрезвычайной ситуации). Рассмотрен метод разработки системы поддержки принятия решений на основе прецедентов.

Ключевые слова: управление безопасностью, объект хранения ракет и артиллерийских боеприпасов, система поддержки принятия решений, прецедент, расстояние Евклида — Махаланобиса.

The article is devoted to improving the safety of rocket and artillery ammunition storage facilities. When managing the safety of objects, it is necessary to implement technology of decision-making support, to apply modern possibilities for automation of management processes. Implementation of decision support system will allow: reduce the time required by the decision to process heterogeneous information and to develop the right solution; analyze existing similar precedents and develop the optimal solution in the situation, reduce the possible damage from emergency (prevent emergency emergencies). The method of developing a system of decision-making support is considered on the basis of precedents.

Keywords: safety management, rocket storage facility and artillery ammunition, decision support system, precedent, Euclid — Mahalanobis distance.

В настоящее время управление безопасностью объектов хранения ракет и артиллерийских боеприпасов (ОХБ) во многом определяется обоснованностью и своевременностью принятия эксплуатационно-технических решений.

Проблема несоответствия возросшего уровня угроз безопасности ОХБ имеющимся возможностям обеспечения безопасности с использованием современных технологий обработки информации и поддержки принятия решений

ставит перед нами серьезные задачи. Состояние системы управления безопасностью ОХБ в настоящий момент не соответствует требованиям, определяемым характером существующих опасностей и, как следствие, способствует ущербу от последствий их реализации.

Проведенный анализ происшествий и чрезвычайных ситуаций, произошедших на ОХБ в последние годы (в том числе в современных локальных войнах и вооруженных конфликтах), показал, что вопрос управления безопасностью объекта остается актуальным.

Но помимо ущерба, наносимого противником, в перечне потенциальных угроз безопасности внутренние угрозы, как показывает статистика происшествий, имеют особую значимость (рис. 1):

- нарушения правил техники безопасности — 20,6 %;
- недостаточные знания и навыки исполнителей — 6,2 %;
- технологическая недисциплинированность — 2,4 %;
- умышленные действия — 11,5 %;
- нарушение эксплуатационных требований — 25,8 %;
- нерегламентированное воздействие окружающей внешней среды — 1,4 %;
- удары молнии — 3,8 %;
- степной и лесной пожары — 4,4 %;
- разряд статического электричества, короткое замыкание — 4,3 %;
- заводской брак — 2,9 %;
- старение и износ оборудования (коррозия, окисление) — 3,3 %;

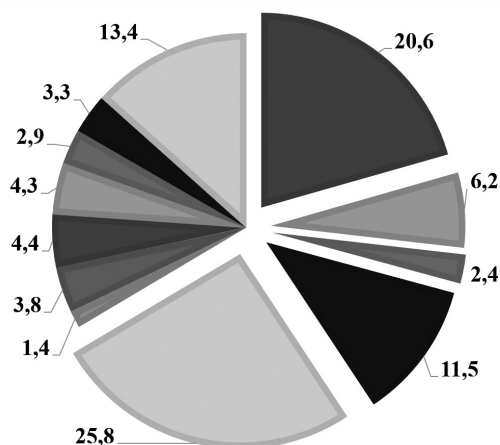


Рис. 1. Анализ факторов, приводящих к ЧС

– конструктивные причины (преждевременное срабатывание, разрыв ракетного двигателя) — 13,4 %.

Доля предпосылок, зависящих от исполнителей (персонала ОХБ), значительно превалирует над другими факторами.

Но ОХБ также обладают широким внешним и внутренним информационным полем для мониторинга и оценки состояния безопасности даже без учета социального фактора. Возникает необходимость систематизировать сферу деятельности должностных лиц управления ОХБ по получению, обработке и оценке ситуационных данных с учетом множества факторов, характеризующих состояние безопасности ОХБ.

Важным инструментом снижения риска и повышения надежности управления безопасностью ОХБ является система поддержки принятия решений (СППР).

В настоящее время система управления безопасностью ОХБ представляет собой мониторинг ситуации и принятие решения начальником ОХБ (лицом, принимающим решение (ЛПР)) путем взаимодействия должностных лиц отделов, отделений и служб в соответствии с занимаемой должностью согласно организационно-штатной структуре объекта [1], включая дежурные силы и средства (рис. 2).

Однако обеспечение требуемой оперативности и обоснованности принятия решений при управлении безопасностью ОХБ крайне сложно не только в организационном, но и в научно-методическом аспекте. Это обусловлено рядом факторов, к которым, прежде всего, относятся:

- неопределенность оперативной обстановки;
- объем и разнообразие информации, подлежащей обработке в интересах управления безопасностью объекта;
- дефицит времени на обработку информации и принятие решений.

Тенденция изменения данных факторов такова, что уровень неопределенности неблагоприятных условий, объем и разнообразие информации, подлежащей обработке в интересах управления, возрастают, а время на обработку информации и принятие решений сокращается.

Особо важное значение приобретает оперативность принятия должностными лицами обоснованных решений по всем аспектам обеспечения безопасности эксплуатации боеприпасов на ОХБ.



Рис. 2. Существующая структура управления безопасностью арсенала комплексного хранения ракет и боеприпасов

Обобщенный анализ состояния средств поддержки управления безопасностью ОХБ позволяет констатировать факт, что несмотря на значительность работ по автоматизации управления материально-техническим обеспечением (МТО) войск, созданное и реализованное в современных комплексах средств автоматизированного управления специальное программное обеспечение (СПО) по объему и содержанию, полноте использования математических методов и программных средств обладает рядом существенных недостатков и не удовлетворяет потребностям должностных лиц по поддержке принятия решений и обеспечения безопасности.

Отсутствие средств поддержки расчетно-аналитических и логико-аналитических функций органов управления ОХБ приводит к тому, что большинство задач управления эксплуатацией боеприпасов должностные лица вынуж-

дены решать, опираясь на имеющиеся знания, личный опыт и интуицию. При этом интеллектуальный компонент управления практически полностью реализуется человеком, ограниченные психофизиологические возможности которого в условиях угрозы безопасности, неопределенности обстановки и жестких ресурсных ограничений не всегда позволяют принимать адекватные решения и объективно оценивать последствия их принятия.

Сложность формализации знаний для формирования моделей предметной области в СППР и решаемых в ней задач порождает центральную проблему — проблему построения полной модели предметной области [2, 3].

Имеется противоречие между необходимостью иметь совокупность приемов, способов принятия обоснованных решений по управлению безопасностью и недостаточностью существующих

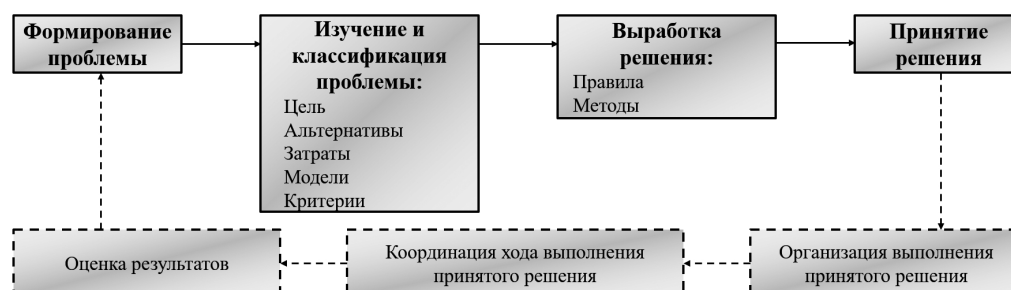


Рис. 3. Структура принятия решения

научно-методических положений, составляющих методологию решения задач поддержки эксплуатационно-технических решений.

Состояние предметной области послужило предпосылкой выдвижения гипотезы, предполагающей, что получение методов, моделей и программных средств управления безопасностью и разработки СППР обеспечит разработку усовершенствованной методологии решения задач управления безопасностью ОХБ, позволяющей реализовать целенаправленное поведение и разумные рассуждения ЛПР в сложной критической обстановке.

Решение научной задачи предусматривает совместное использование оптимизационного, ситуационного и прецедентного методов управления безопасностью ОХБ, позволяющих не только повысить оперативность принятия обоснованных ЭТР, но и с использованием принципа ситуационного формирования решений и вывода на основе прецедентов адаптировать их к текущей ситуации.

Высшим уровнем функциональности таких систем является человеко-машинное взаимодействие. Оно основано на выполнении функций естественного и искусственного интеллекта. Причем граница между этими функциями должна смещаться в сторону искусственного интеллекта по мере развития СППР путем формализации знаний, получаемых с использованием естественного интеллекта, и их включением в функциональность, реализуемую искусственным интеллектом.

В основе создания подобных систем лежат концепции представления, приобретения (извлечения) и формализации знаний о предметной области и решаемых в ней задач в базе знаний СППР.

Представление знаний (knowledge representation) — одно из наиболее сформировавшихся направлений искусственного интеллекта. К нему относятся разработка формальных языков и программных средств для отображения и описания когнитивных структур, концептов дескриптивной логики, онтологии предметной области, автоматизация рассуждений. Последнее, помимо автоматизации дедуктивных рассуждений, включает: автоматизацию индуктивных рассуждений, автоматизацию рассуждений на основе прецедентов (case-based reasoning, CBR), на основе ар-

гументации, на основе ограничений, автоматизацию рассуждений с неопределенностью, рассуждения о действиях и изменениях, автоматизацию немонотонных рассуждений и др.

Неопределенность формализации предметной области, необходимость получения большого объема знаний в предметной области и решаемых в ней задач обуславливают необходимость представления неалгоритмических знаний в виде совокупности частных моделей (формально-логических, продукционных, семантических сетей, фреймов и онтологий). Это требует наличия специализированных сред разработки, в частности гибридных информационных сред, и сервис-ориентированной архитектуры СППР.

Решением проблемы является разработка и применение такой технологии, которая позволяла бы пользователю (эксперту) при разработке моделей задач управления совместить роли системного аналитика и программиста. Это становится возможным при обеспечении доступа пользователю в вычислительную среду в системе понятий модели его предметной области, то есть при разработке и внедрении средств автоматизации приобретения знаний. Известные подходы к автоматизации получения знаний из различных источников классифицированы в зависимости от используемых в них методов получения (выявления) знаний, они приведены в табл. 1.

Сравнительные данные основных методов автоматизированного приобретения знаний показывают, что по наиболее критическому показателю «способ приобретения знаний» наиболее подходящими являются комбинированные методы, объединяющие два и более метода приобретения знаний [4], при этом подход использования моделей и методов решения конкретных типов задач при создании СППР уже был отмечен ранее.

Компетенции ЛПР, как правило, обусловлены знаниями и умениями, лежащими за пределами представлений формальных, логистических моделей, семантических сетей и онтологий. Эти компетенции и имеющиеся знания могут быть зафиксированы путем сохранения опыта решения задач управления в виде имевших место прецедентов в «Базе случаев», отражающих или сами решения задач (в «Базе решений»), или методы и способы их получения. Это обстоятельство позволяет выбрать в качестве одного из методов

Таблица 1

Сравнительные данные основных методов автоматизированного приобретения знаний

№ п/п	Подход (методы)	Достоинства	Недостатки
1	Методы построения деревьев решений	1. Простота и удобство для обучения и работы. 2. Легкость трансформации в правила	1. Пригодны только для предметных областей простейших игр. 2. Ориентированы на узкий круг диагностических задач
2	Методы репертуарных решеток	1. Хорошее теоретическое обоснование. 2. Эффективность и простота (метод триад). 3. Апробированность в решении задач анализа (диагностики, классификации, выбора)	1. Слабая эффективность на начальных стадиях извлечения знаний. 2. Использование количественных методов вместо качественных. 3. Навязывание стиля рассуждений, отличающегося от привычного пошагового стиля рассуждений экспертов
3	Использование моделей методов решения конкретных типов задач	1. Высокая эффективность при соответствии модели решаемой задаче. 2. Удобство для эксперта, играющего «в свою игру». 3. Хорошо агрегируется с другими методами. 4. Возможность создания хорошей модели общения	1. Необходимость иметь большую библиотеку моделей, охватывающую все возможные типы задач. 2. Проблема выбора адекватной модели. 3. Возможность не соответствия реальной задачи ни одной из выбранных моделей
4	Методы рассуждений на основе прецедентов (CBR)	1. Хорошо соответствует стилю рассуждений эксперта. 2. Отсутствуют ограничения на тип рассматриваемой задачи. 3. Возможность создания хорошей модели общения	1. Большая степень свободы рассуждений эксперта значительно загружает инженера по знаниям. 2. Дополнительная трудоемкость обобщения приобретенных знаний. 3. Слабая теоретическая и технологическая проработка методов реализации на практике
5	Методы конструктивной индукции	1. Хорошее теоретическое обоснование. 2. Отсутствует необходимость в инженере по знаниям. 3. Высокая скорость построения базы знаний для малых предметных областей	1. Отсутствует возможность построения модели предметной области и пригодность только для «игрушечных» областей. 2. Рутинность и утомительность процесса (повтор фразы «задайте другой пример») 3. Наличие «шума» в виде длинных, нерелевантных, несвязных правил, затрудняющих поддержку базы знаний
6	Метод онтологий	1. Простота реализации функциональных и нефункциональных требований и ограничений пользователя при поиске релевантных сервисов в базе знаний. 2. Возможность реализации референтной онтологии	1. Необходимость согласованной спецификации требований всех конечных пользователей СППР из-за отсутствия общепринятой технологии разработки общей онтологии. 2. Необходимость общей терминологической базы семантического описания возможных вариантов сценариев эксплуатационных процессов в ПОО
7	Комбинированные методы	1. Универсальность, мощность. 2. Возможность избежать индивидуальных недостатков каждого из методов	1. Проблемы выработки общей стратегии управления и поддержки всего процесса приобретения знаний

получения знаний метод CBR. Он позволяет сфокусироваться на прошлом опыте и связан с оценкой сходства прецедентов, поиском алгоритма адаптации прецедентов. Алгоритм решения данной задачи основывается на сравнении прецедентов с новым случаем в какой-либо метрике с использованием зависимостей между атрибутами случаев и атрибутами решений [5, 6, 7].

Извлечение знаний осуществляется из различных источников, а именно из памяти, опыта и интуиции экспертов — ЛПР, алгоритмов подготовки и принятия решений по управлению подчиненными силами и средствами, содержащихся в основных руководящих документах и т.д.

Достижение требуемой эффективности может быть обеспечено лишь на основе реализации принципа оптимальной адаптации старого решения к текущей ситуации. В соответствии с данным принципом механизм принятия решений должен быть следующим.

1. Решения по управлению безопасностью ОХБ относятся не к одному четко определенному варианту обстановки, а к некоторому классу K вариантов, отличающихся своими параметрами.

2. При формировании решений следует исходить из того, что до возникновения конкретной ситуации угрозы безопасности ОХБ до конца не известно, с каким из объектов из класса K мы будем иметь дело.

3. Последовательность принимаемых решений (стратегия управления) должна обеспечивать достижение максимальной эффективности применения средств обеспечения безопасности при реализации любого варианта обстановки из указанного класса K .

Суть процедуры автоматизированного принятия решений на основе рассуждений по прецедентам состоит в решении двух задач. Первая состоит в оценивании текущих значений параметров обстановки и идентификации текущей проблемы. Вторая — в поиске подходящего прецедента и использовании найденного прецедента для решения текущей проблемы по применению сил и средств системы обеспечения безопасности объекта [8].

Решение задач требует четкости в выборе метрики на множестве прецедентов, их согласования и адаптации.

Рассматриваемый метод основывается на использовании в процессах принятия решений

«Базы случаев» и «Базы данных», созданных за благовременно по результатам исследований. Будем полагать, что прецедент представлен в виде вектора с n признаками, которые характеризуют некоторую нештатную ситуацию (критическую ситуацию), связанную с чрезвычайным происшествием и ликвидацией его последствий. Для решения задачи поиска подходящего прецедента необходимо сначала уточнить понятие близости прецедентов.

Рассматриваемый прецедент есть образ в некотором n -мерном пространстве признаков и представляет собой в этом пространстве некоторую точку. Для определения расстояния от этой точки, координаты которой представляют параметры наблюдаемой ситуации, до класса n сходных объектов обычно используются некоторые метрики. В табл. 2 в обобщенном виде приведен перечень наиболее часто применяемых метрик и коэффициентов ассоциативности, используемых для установления меры близости объектов, описанных бинарными переменными [9]. Каждая из этих метрик имеет свои преимущества и недостатки.

Выбор метода оценивания меры близости является важным, так как влияет на результаты классификации и зависит от признаков конкретной задачи. Исходя из особенностей возможных ситуаций и набора их классификационных признаков в качестве меры близости прецедентов было выбрано обобщенное расстояние Евклида — Махаланобиса.

Для определения расстояния между двумя классами X_1 и X_2 обобщенная метрика Евклида — Махаланобиса имеет следующий вид:

$$R_g^2(X_1, X_2) = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2)^T \mathbf{A}^{-1} (\bar{x}_1 - \bar{x}_2), \quad (1)$$

где $\bar{x}_1$ и $\bar{x}_2$ — средние выборочные классов,

$\mathbf{A}^{-1}$ — матрица, являющаяся обратной стороной произведения

$$\mathbf{A} = (\mathbf{C}_1 + \mathbf{E})(\mathbf{C}_2 + \mathbf{E}), \quad (2)$$

где $\mathbf{C}_1$ и $\mathbf{C}_2$ — корреляционные матрицы для первого и второго классов соответственно,

$\mathbf{E}$ — единичная матрица.

Такая метрика удобна для распознавания объектов, в которых некоторые параметры, описывающие их, не изменяются.

Выбранная обобщенная метрика Евклида — Махаланобиса учитывает корреляционные свойства классов таким образом, что расстояние между точкой и классами стремится к расстоянию Евклида, когда дисперсии параметров класса стремятся к нулю. Это обстоятельство делает обобщенную метрику более предпочтительной, особенно в условиях неопределенности, когда корреляционные характеристики классов заранее не известны и сами классы формируются и уточняются в процессе измерений в реальном времени.

Для построения описаний прецедентов требуется не только метрическая характеристика их близости, но и некоторая функция согласования λ , позволяющая судить о степени близости структур прецедентов. Согласование λ является количественной мерой сравнимости элементов прецедентов из множества E .

$$\lambda : E \times E \rightarrow R \text{ такова, что} \quad (3)$$

$$\lambda_{(e, e_1)} = r \in R.$$

Таблица 2

Метрики установления близости объектов

Мера близости	Шкала измерения признаков	Примечание
Евклидово расстояние	Количественная	Представляет собой геометрическое расстояние в многомерном пространстве признаков
Квадратичное Евклидово расстояние R	Количественная	Придает большие веса расстояниям между более отдаленными объектами
Мера сходства Хемминга	Количественная	Определяется как отношение числа совпадающих признаков у образцов к их общему числу
Расстояние Чебышева	Количественная	Позволяет определить различимость двух объектов по одному признаку. Недостаток — полученные кластеры «склеиваются» друг с другом
Манхэттенское расстояние	Количественная	Приводит к близким к Евклидовой метрике результатам, но влияние отдельных больших разностей уменьшается
Расстояние Махаланобиса R_M	Количественная	Применяется в случае ненулевой корреляции признаков. Не учитывает распределение точек в классе
Процент несогласия	Качественная	Применяется, когда признаки являются категориальными
Простой коэффициент встречаемости	Номинальная (бинарная)	Учитывает одновременное отсутствие признака у рассматриваемых объектов
Коэффициент Чекановского	Номинальная (бинарная)	Коэффициенты a, b, c, d берутся из таблицы ассоциативности. Не учитывает одновременного отсутствия признака
Коэффициент Жаккара	Номинальная (бинарная)	Коэффициенты a, b, c берутся из таблицы ассоциативности. Не учитывает одновременного отсутствия признака
Мера сходства Роджерса — Танимото	Количественная	Определяется по числу совпадающих единичных признаков
Метрика Брея — Кертиса	Количественная	Перед использованием метрики данные необходимо стандартизовать и они должны быть неотрицательными
Обобщенное расстояние Евклида — Махаланобиса R_M	Количественная	Учитывает корреляционные свойства классов

Сравнимость элементов означает, что они принадлежат одному и тому же типу, и домену. И тогда

$\lambda_{(e, e_1)} > 0$ может рассматриваться как «напоминание» о e_1 при обнаружении e ;

$\lambda_{(e, e_1)} = 0$ означает, что «напоминание» о e_1 отсутствует;

$\lambda_{(e, e_1)} < 0$ указывает, что e не может рассматриваться в качестве «напоминания» о e_1 .

Согласование между парой прецедентов будет описываться глобальной функцией согласования Λ .

$$\Lambda : P(E) \times P(E) \rightarrow R, \quad (4)$$

где $P(E)$ — множество элементов;

R — множество рациональных чисел.

Большое значение Λ соответствует большей степени согласования прецедентов. Отрицательные значения функции согласования интерпретируются как рассогласование, а нулевое — как нейтральное.

Использование найденного прецедента представляет собой задачу адаптации старого решения к текущей ситуации. Он решается с помощью операторов адаптации.

Оператор адаптации SAO представляет собой пятерку слотов [10].

Здесь СТАРОЕ ЗНАЧЕНИЕ — значение атрибута АТРИБУТ, которое оператор выбрал из описания области значений атрибута. Это значение запоминается оператором, если был применен бэктрекинг (возврат к точке ветвления). ДЕЙСТВИЯ — множество действий, которые были использованы для изменения значений атрибута АТРИБУТ. Если используется бэктрекинг, оператор использует это множество для определения действий, которые еще не были применены. ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ — множество значений, которые уже испытывались. ЗАВИСИМОСТИ — множество иных операторов, которые могут быть применены после того, как SAO изменит значение атрибута АТРИБУТ.

В самом общем виде алгоритм адаптации выглядит следующим образом.

Шаг 1. Запомнить текущее значение атрибута в слоте старых значений.

Шаг 2. Выбрать подходящее действие. Запомнить его в слоте ДЕЙСТВИЯ.

Шаг 3. Выполнить действие (если оно возвращает значение атрибута, не удовлетворяющее ограничениям, то добавить действие в слот ДЕЙСТВИЯ, а возвращенное значение атрибута в слот ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ; выбрать новое значение атрибута). Если значение атрибута удовлетворяет ограничениям, то завершение алгоритма; возвращается найденное значение.

Шаг 4. Если не существует значения атрибута, удовлетворяющего ограничениям, выполнить бэктрекинг и выбрать другое действие. Перейти к шагу 3.

Управление безопасностью на основе прецедентов использует предшествующий опыт для решения новых задач. Это несет в себе двойную выгоду. Во-первых, система управления безопасностью ОХБ становится адаптивной к предметной области. Такая система может на основе удачных и неудачных попыток управления пополнять свои знания о предметной области или уточнять их. Во-вторых, использование опыта может повысить эффективность управления, так как используются фрагменты готовых решений из библиотеки.

Таким образом, на основе анализа различных принципиальных подходов были исследованы условия создания эффективной системы поддержки управления безопасностью. В результате были сформулированы следующие положения:

- современное состояние информационного обеспечения управления безопасностью ОХБ не удовлетворяет требованиям по подготовке, обоснованному принятию оперативных решений;

- необходима разработка и внедрение СППР, позволяющей реально повысить оперативность принятия обоснованных решений;

- СППР предполагает наличие развитого аппарата моделирования предметной области, реализующего принцип оптимальной адаптации к условиям возможных угроз;

- подготовку принятия решений следует рассматривать как аргументацию рассуждений на основе прецедентов;

- наиболее предпочтительной метрикой на множестве прецедентов является обобщенное расстояние Евклида — Махаланобиса;

- определены структура операторов адаптации прецедентов и общий алгоритм адаптации.

Список источников

1. Руководство для арсеналов комплексного хранения ракет и боеприпасов. Ч. 1. Общие положения. Ракеты и боеприпасы: введено в действие приказом начальника ГРАУ Минобороны России от 08.12.2016 № 66. М.: ГРАУ Минобороны России, 2016. 395 с.
2. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука, 1996. 288 с.
3. Трахтенгерц Э.А. Компьютерные методы реализации экономических и информационных управленческих решений. М.: Синтез, 2009. 396 с.
4. Цыгичко В.Н., Черешкин Д.С., Смолян Г.Л. Безопасность критических инфраструктур. М.: Ленанд, 2019. 200 с.
5. Кочкин Г.А. Разработка и внедрение в состав СППР компонента формирования вариантов решения на основе прецедентов // Актуальные проблемы защиты и безопасности: труды XIV Всерос. науч.-практ. конф. РАРАН. Т. 6. 2011. С. 30–32.
6. Варшавский П.Р., Еремеев А.П. Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // Искусственный интеллект и принятие решений. 2009. № 2. С. 45–47.
7. Baydin A.G., Mantaras R.L., Simiff S., Sierra C. CBR with Commonsense Reasoning and Structure Mapping: An Application to Mediation // Proc. 29th International Conference on Case-Based Reasoning, ICCBR 2021, Greenwich, London. September 12–15, 2021. LNCS (LNAI). Springer, Heidelberg, 2021. Vol. 6880. 378 p.
8. Еремеев А.П., Варшавский П.Р., Поляков С.А. Программная реализация модуля анализа данных на основе прецедентов для распределенных интеллектуальных систем // Программные продукты и системы. 2021. Т. 34, № 3. С. 32–38.
9. Осипов Г.С. Лекции по искусственному интеллекту. 3-е изд., стереотип. М.: Ленанд, 2018. 272 с.
10. Алчинов В.И. Принятие решений должностными лицами на основе прецедентного метода // Известия: науч.-техн. сб. ВА РВСН им. Петра Великого. № 312. Современное состояние и перспективы развития разработки, производства, эксплуатации и утилизации конструктивных материалов и специальных топлив. Балашиха, 2024. С. 248–252.

References

1. Manual for arsenals of integrated storage missiles and ammunition. P. 1. General terms. Missiles and ammunition: introduced in effect by the order of chief of the count of the Ministry of Defence of Russia from 08.12.2016 № 66. M.: Grau Minoborons of Russia, 2016. 395 p.
2. Pospelov D.A. Situational management: theory and practice. M.: Science, 1996. 288 p.
3. Trachtengertz E.A. computer methods of realization of economic and information management decisions. Moscow: synthesis, 2009. 396 p.
4. Gypsichko V.N., Cherishkin D.S., Smolyan G.L. Security of critical infrastructure. M.: Lenand, 2019. 200 p.
5. Kochkin A. development and implementation of the PPR component of the formation of solutions based on precedents // actual problems of protection and security: works XIV Vseros. scientific. pract. Confederate. RARAN (St. Petersburg, 4–6 April 2011). Vol. 6 / Akad. rocket. and artilleres. science. St. Petersburg: NPO Specialmaterialov, 2011. Pp. 30–32.
6. Warsaw P.R., Yermeev A.P. modeling of reasoning based on precedents in intelligent systems to support decision-making / artificial intelligence and decision-making. 2009. No 2. Pp. 45–47.
7. Baydin A.G., Mantaras R.L., Simiff S., Sierra C. CBR with common sense Reasoning and Structure Mapping: An Application to Mediation // Proc. 29th International Conference on Case-Based rest, ICCBR 2021, Greenwich, London. September 12–15, 2021. LNCS (LNAI). Springer, Heidelberg, 2021. Vol. 6880. 378 p.
8. Yermeev A.P., Warsaw P.R., Poles S.A. Program implementation of the data analysis module based on precedents for distributed intellectual systems // Software products and systems. 2021. Vol. 34. No 3. Pp. 32–38.
9. Osipov G.S. Lectures on artificial intelligence. 3 ed., stereotype. M.: Lenand, 2018. 272 p.
10. Alchinov V.I. Decision-making by officials based on precedent method // News: scientific-technical collection VA RVSNI named by Peter the great. № 312. Modern state and prospects for development, production, exploitation and utilization of constructive materials and special fuel. Balashikha, 2024. Pp. 248–252.

УДК 629.783

doi: 10.53816/23061456_2025_7–8_23

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НЕРАВНОТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ
ПОЗИЦИОНИРОВАНИИ МОРСКИХ СУДОВ В БУХТАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ЛОКАЛЬНЫХ МНОГОПОЗИЦИОННЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

**APPLICATION OF THE METHOD OF NON-PRECISION MEASUREMENTS
IN THE POSITIONING OF SHIPS IN BAYS USING LOCAL MULTI-POSITION
RADIO NAVIGATION SYSTEMS**

Д-р техн. наук А.А. Филиппов¹, А.В. Гаврилова¹, Н.А. Корельский², д-р воен. наук В.П. Андрийчук³

D.Sc. A.A. Filippov, A.V. Gavrilova, N.A. Karelsky, D.Sc. V.P. Andriychuk

¹Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского,

²Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,

³Михайловская военная артиллерийская академия

Возможность применения локальной радионавигационной системы (ЛРНС) для обеспечения позиционирования морского судна (МС) по маршруту с необходимой точностью в местах, где сигналы глобальной спутниковой РНС могут содержать естественные помехи, а геометрия движения элементов Спутниковой радионавигационной системы (СРНС) может быть недостаточной предъявляемым требованиям для определения местоположения с требуемой точностью, является актуальной и в настоящее время. В представленной работе рассматривается принцип построения локальной радионавигационной системы для позиционирования маломерных морских судов на дальности до 100 км с СКО (среднеквадратическим отклонением) не превышающем 1 метр. Предлагаются рациональные варианты размещения опорных станций ЛРНС для обеспечения требуемой точности, а также решается задача оценки точности путем обработки измерений предложенным в работе методом с использованием как равноточных, так и неравноточных измерений.

Ключевые слова: локальная радионавигационная система, точность местоположения, равноточные и неравноточные измерения.

The possibility of using a local radio navigation system (LRNS) to ensure the positioning of a marine vessel (MS) along the route with the necessary accuracy in places where global satellite RNC signals may contain natural interference, and the geometry of movement of the elements of the Satellite Radio Navigation System (SRNS) may not be sufficient to meet the requirements for determining the location with the required accuracy, is relevant in the present tense. The presented paper discusses the principle of constructing a local radio navigation system for positioning small-sized naval vessels at a range of up to 100 km with a standard deviation of no more than 1 meter. Rational options for the placement of the reference stations of the LRNS are proposed to ensure the required accuracy, and the problem of estimating accuracy is solved by processing measurements using the method proposed in the work using both equal-precision and non-precision measurements.

Keywords: local radio navigation system, location accuracy, equal-precision and non-precision measurements.

Варианты размещения опорных станций ЛРНС для обеспечения требуемой точности позиционирования

Первоначально рассматриваются варианты размещения опорных станций ЛРНС. Для определения местоположения (МП) морских судов с использованием ЛРНС выбран дальномерный метод [1].

Значение СКО ошибки определения МП МС в разрабатываемой ЛРНС допустимо рассматривать на уровне 1 метра.

Геометрический фактор для линий положения при таких условиях составит

$$\Gamma = \frac{\sigma_{\text{м.п.}}}{\sigma_{\text{л.п.}}} = \frac{1}{0,5} = 2. \quad (1)$$

В таком случае, при геометрическом факторе не больше 2 угол пересечения линий положения должен составлять не более 45° .

$$\alpha_{\text{л.п.}} = \arcsin\left(\frac{\sqrt{2}}{\Gamma}\right) = \left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right) = 45^\circ. \quad (2)$$

Из проведенного анализа для обеспечения заданной дальности (100 км) и при достижении минимальной ошибки МП, размещать опорные станции предлагается на расстоянии 50 км друг от друга. Расположение опорных станций (ОС) ЛРНС системы с дальномерным методом определения МП представлено на рис. 1.

В данной системе установлено по три пары ОС на расстоянии 30 км друг от друга. Такая установка обеспечивает взаимное покрытие мертвых зон, показанных штриховыми линиями. Таким образом, рабочая зона принимает вид, представленный на рис. 2.

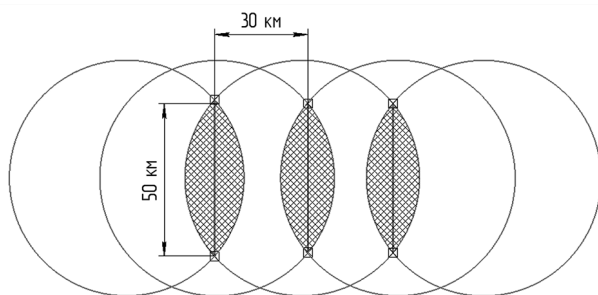


Рис. 1. Расположение ОС системы с использованием дальномерного метода

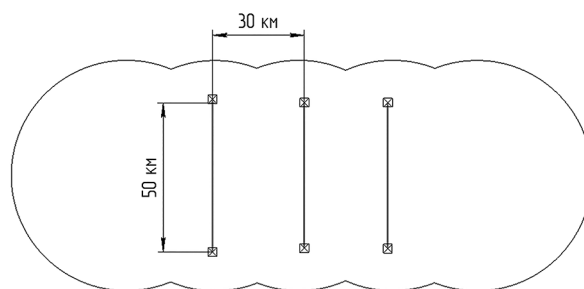


Рис. 2. Вид рабочей зоны ЛРНС с использованием дальномерного метода

Помимо основных методов определения местоположения, возможны комбинации методов согласно [2, 7–9], то есть использование возможности измерения дальности двумя и более методами.

Так, в дальномерной системе для повышения точности МП и увеличения дальности действия системы, предпочтительно добавить в цепочки дополнительные ОС. В результате оценки положений на плоскости существующих опорных станций возможно добавление еще трех опорных станций в состав локальной РНС [6, 8].

В результате, измерения навигационных параметров может осуществляться методами [1, 4, 6, 8, 10]: дальномерным и разностно-дальномерным. Рабочая зона при измерении местоположения с помощью комбинации методов будет выглядеть в соответствии с рис. 3.

При таком рациональном размещении опорных станций будет обеспечено определение точности местоположения не ниже 1 метра при дальности действия системы до 100 км, что соответствует целевой установке.

Для размещения многопозиционной локальной радионавигационной системы предлагается Кандалакшский залив. На рис. 4 и 5 показано рациональное размещение опорных станций и ра-

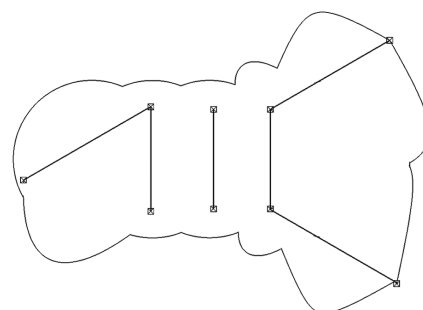


Рис. 3. Вид рабочей зоны системы с использованием комбинации методов



Рис. 4. Рабочая зона системы при измерении дальномерным методом



Рис. 5. Рабочая зона системы при измерении комбинацией методов

бочие зоны системы при измерении дальномерным и комбинированным методами [11–13].

В таком случае, размеры рабочей зоны будет находиться в пределах 100...150 км при обеспечении значений СКО на уровне 1 м, что соответствует поставленной задаче.

Оценка точности местоположения морских судов с использованием разработанной многопозиционной комбинированной ЛРНС из неравноточных цепей ЛРНС

При оценке точности местоположения морского судна, полученные значения можно считать равноточными, и возможно оценить случайные ошибки измерений и установить, насколько точно и повторяемо выполняется процесс [1, 3]. Но для этого необходимо выполнять условия:

- точность измерительной аппаратуры должна всегда оставаться неизменной;
- параметры среды для всех измерений должны быть постоянными.

В реальных условиях определения местоположения (МП) выполнение вышеупомянутых условий маловероятно по следующим причинам [4].

1. Навигационная аппаратура, необходимая для проведения измерений, включает в свой состав системы, параметры которых зависят от внешних факторов, например, температуры, влажности и загрязнения.

2. Выполнять измерения могут разные операторы, что может привести к нарушению калибровки оборудования.

3. Проведение измерений в разное время суток. В данной системе местоположение определяется комбинацией методов, как уже было отмечено ранее применяемые методы обладают разной оценкой точности [5].

Таким образом, измерения местоположения целесообразно считать, как неравноточные и производить их оценку следующим способом.

Оценка точности местоположения морского судна, включает в себя следующие этапы:

1. Вычисление результатов измерений в серии осуществляется по выражению

$$x_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_{ji}} x_{ji}}{n_{ji}}, \quad (3)$$

где x_{ji} — результат i -го измерения точности местоположения x_j -й серии измерений;

n_{ji} — число проводимых i -х измерений в j -й серии измерений.

2. Вычисление погрешности i -го результата измерения в каждой серии.

$$\Delta_{ji} = x_{ji} - x_j. \quad (4)$$

3. Вычисление среднеквадратического отклонения.

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_{ji}} \Delta_{ji}^2}{n_{ji}}}. \quad (5)$$

4. Оценка точности измерений СКО.

$$\delta_j = \frac{\sigma_j}{\sqrt{2n_{ji}}}. \quad (6)$$

5. Оценка веса результатов измерений по выражению

$$p_j = \frac{k}{\delta_j}, \quad (7)$$

где k — некое число, полученное по предварительным результатам от навигационной аппаратуры, которая осуществляет более точные измерения по сравнению с другими, то есть эталона.

В качестве такой аппаратуры рекомендуется использовать приборы с максимальным классом точности.

6. Вычисление оценки точности местоположения по результатам обработки измерений.

$$X_{\text{точн.}} = \frac{x_1 \cdot p_1 + x_2 \cdot p_2 + x_j \cdot p_j + \dots + x_{n_j} \cdot p_{n_j}}{p_1 + p_2 + \dots + p_{n_j}}. \quad (8)$$

7. Вычисление погрешности оценки точности местоположения по результатам исходя из выражения

$$M_{\text{точн.}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n_j} (X_{\text{точн.}} - x_j)^2 \cdot p_j}{(p_1 + p_2 + \dots + p_{n_j}) \cdot (n_j - 1)}}. \quad (9)$$

Апробация данного метода выполнялась на основе имитационного моделирования. В ходе моделирования было получено шесть векторов серий измерений, распределенных по нормальному закону. Данные вектора (табл. 1) представляют собой результаты измерений ошибки определения местоположения, полученные при разных методах определения местоположения.

Обработка данных векторов осуществлялась на основе обработки результатов методом равноточных измерений и предложенным методом, в качестве эталонной аппаратуры был выбран вектор 6, поскольку он обладает наименьшим СКО. Результаты обработки представлены в табл. 2.

Исходя из результатов моделирования, можно отметить, что при обработке измерений предложенным методом, результаты показывают необходимую точность определения местоположения с погрешностью на 19,2 % меньшей, чем при обработке результатов методом равноточных измерений, как наглядно это демонстрирует рис. 6.

Заключение

Задача обеспечения необходимой точности позиционирования малоразмерных судов до сих пор остается актуальной. Предложенный в работе вариант построения ЛРНС позволяет определять местоположение с точностью не ниже одного метра в зоне прибрежного плавания малоразмерных судов на дальностях до 100 км от опорных станций локальных многопозиционных РНС.

Системы управления МС с использованием локальных РНС не уступают по точности бортовым системам навигации. В условиях непреднамеренных и преднамеренных помех могут использоваться для управления МС с точностью не ниже спутниковых РНС. Применение пространственно-временной обработки и доплеровской фильтрации навигационных сигналов в НАП ЛРНС позволяет повысить соотношение сигнал/помеха на 35–40 дБ в зависимости от взаимного расположения постановщика помех, МС, избирательности фильтров доплеровской частоты (ФДЧ) и обеспечить более точное слежение за навигационным сигналом. Дополнительное повышение помехоустойчивости навигационного комплекса обеспечивает «мерцающий» режим работы опорных станций ЛРНС, согласованный по частоте с контуром управления МС.

Таблица 1

Вектора, представляющие результаты измерений

Номер серии измерений, j	Метод определения местоположения	Число измерений в серии, n_{ij}	Результаты измерений в серии, x_j	СКО серии, σ_j	Вес серии измерений, p_j
1	Дальномерный	5	1,029	0,054	0,889
2	Дальномерный	3	1,083	0,089	0,539
3	Разностно-дальномерный	6	1,285	0,076	0,632
4	Дальномерный	4	1,013	0,083	0,578
5	Разностно-дальномерный	4	1,370	0,187	0,257
6	Дальномерный	2	1,046	0,048	1,000

Таблица 2

Результаты обработки измерений

	Обработка результатов методом равноточных измерений	Обработка результатов предложенным методом
Оценка точности местоположения	1,13767	1,09492
Погрешность оценки точности местоположения	0,06176	0,05182

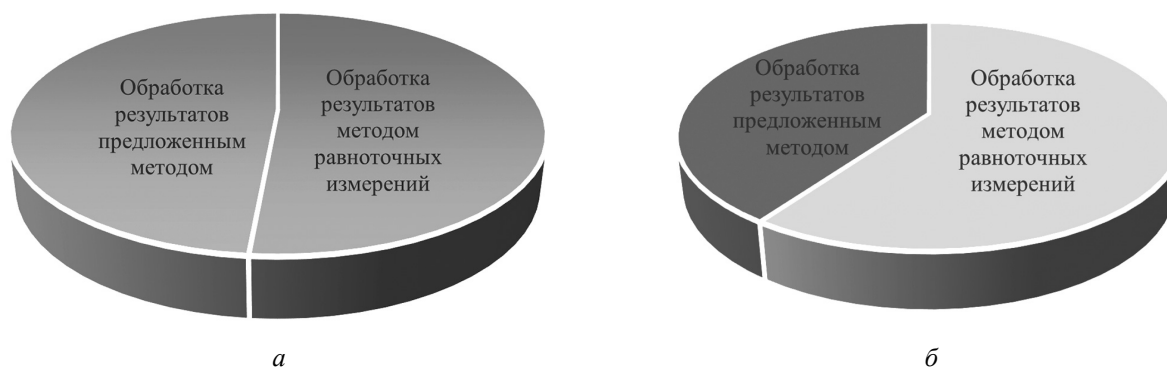


Рис. 7. Сравнительные диаграммы результатов: а — измерений оценки точности местоположения; б — погрешности оценки точности местоположения

Список источников

1. Корельский Н.А. Анализ мешающих факторов и методов определения местоположения в локальной радионавигационной системе и сравнительный анализ их показателей // Актуальные проблемы защиты и безопасности: Труды XXVI Всероссийской научно-практической конференции. 2023. С. 260–268.
2. Тяпкин В.Н., Гарин Е.Н. Методы определения навигационных параметров подвижных средств с использованием спутниковой радионавигационной системы ГЛОНАСС: монография. Красноярск: Изд-во СФУ, 2012. 260 с.
3. Мишура Т.П., Епифанцев К.В. Метрология и радиоизмерения: учеб. пособие. Санкт-Петербург: Изд-во ГУАП, 2023. 79 с.
4. Новицкий П.В., Зograф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений: учеб. пособие. Ленинград: Энергоатомиздат, 1991. 304 с.
5. Сысуев С.Ю., Филиппов А.А., Пономарев А.Л. и др. Способ когерентной обработки информации многопозиционной РЛС при обнаружении наземных объектов бортовыми радиотехническими системами // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2017. № 9–10. С. 42–47.

6. Большаков В.Д., Маркузе Ю.В., Голубев В.В. Уравнивание геодезических построений: справочное пособие. Москва: Недра, 1989. 412 с.

7. Мухин А.И., Пучкова И.А., Коптев Д.С. Альтернативный способ мониторинга судов для обеспечения безопасного мореплавания при отсутствии радиоизлучений от AIS-Транспондеров // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2019. Т. 9. № 2 (31). С. 22–34.

8. Новицкий П.В. Оценка погрешностей результатов измерений. Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1991. 304 с.

9. Кузнецов Б.Ф. Стохастические модели и методы анализа информационно-измерительных систем АСУ ТП. Ангарск, Ангарская государственная техническая академия. 2007. 180 с.

10. Жилин С.И., Байкалова Т.В. Обработка неравноточных инженерно-геодезических измерений нестатистическими методами // Известия Алтайского государственного университета. 2011. № 1. С. 94–97.

11. Елисеев А.В., Крылова А.А., Остапенко А.В. Алгоритмы обработки измерений параметров движения маневрирующего объекта в условиях неравноточных измерений // Радиотехника. 2014. № 8. С. 29–38.

12. Баженов А.В., Захаренко Г.И., Бережнов А.Н., Савченко К.Ю. Радионавигационные системы: учеб. пособие. Ставрополь: СВВАИУ(ВИ), 2007. 202 с.

13. Вагущенко Л.Л. Современные информационные технологии в судовождении. Одесса: ОНМА, 2013. 135 с.

References

1. Korelskiy N.A. Analysis of interfering factors and methods of location determination in the local radio navigation system and comparative analysis of their indicators // Actual problems of protection and safety: Proceedings of the XXVI All-Russian Scientific and Practical Conference. 2023. Pp. 260–268.

2. Tyapkin V.N., Garin E.N. Methods for determining navigation parameters of mobile vehicles using the GLONASS satellite radio navigation

system: monograph. Krasnoyarsk: SFU Publishing House, 2012. 260 p.

3. Mishura T.P., Epifantsev K.V. Metrology and radio measurements: textbook. stipend. Saint-Petersburg: GUAP Publishing House, 2023. 79 p.

4. Novitsky P.V., Zograf I.A. Estimation of measurement errors: textbook. Leningrad: Energoatomizdat, 1991. 304 p.

5. Sysuev S.Yu., Filippov A.A., Ponomarev A.L. et al. A method of coherent information processing of a multi-position radar when detecting ground objects by on-board radio engineering systems // Issues of defense technology. Episode 16. Technical means of countering terrorism. 2017. No 9–10. Pp. 42–47.

6. Bolshakov V.D., Markuse Yu.V., Golubev V.V. Equalization of geodetic constructions: a reference manual. Moscow: Nedra Publ., 1989. 412 p.

7. Mukhin A.I., Puchkova I.A., Koptev D.S. An alternative method of vessel monitoring to ensure safe navigation in the absence of radio emissions from AIS transponders // Proceedings of the Southwestern State University. Series: Management, computer engineering, computer science. Medical instrumentation. 2019. Vol. 9. No 2 (31). Pp. 22–34.

8. Novitsky P.V. Estimation of measurement errors. Leningrad: Energoatomizdat, Leningrad branch, 1991. 304 p.

9. Kuznetsov B.F. Stochastic models and methods of analysis of information and measurement systems of automated process control systems. Angarsk, Angarsk State Technical Academy. 2007. 180 p.

10. Zhilin S.I., Baykalova T.V. Processing of non-precision engineering and geodetic measurements by non-statistical methods // Proceedings of the Altai State University. 2011. No 1. Pp. 94–97.

11. Eliseev A.V., Krylova A.A., Ostapenko A.V. Algorithms for processing measurements of motion parameters of a maneuvering object in conditions of non-precision measurements // Radio Engineering. 2014. No 8. Pp. 29–38.

12. Bazhenov A.V., Zakharenko G.I., Berezhnov A.N., Savchenko K.Y. Radio navigation systems: textbook. Stavropol: SVVAIU(VI), 2007. 202 p.

13. Vagushchenko L.L. Modern information technologies in navigation. Odessa: ONMA, 2013. 135 p.

УДК 528.854.4

doi: 10.53816/23061456_2025_7–8_29

**АЛГОРИТМ ПОДГОТОВКИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ
ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ
С КОМПЕНСАЦИЕЙ НЕПОЛНОТЫ
ИНФОРМАЦИОННОГО ПРИЗНАКОВОГО ПРОСТРАНСТВА**

**ALGORITHM FOR PREPARING INITIAL DATA FOR RECOGNITION
OF COMPLEX TECHNICAL OBJECTS WITH COMPENSATION
OF INCOMPLETE INFORMATION SIGNIFICANT SPACE**

Канд. техн. наук А.В. Обухов¹, канд. техн. наук А.И. Зимовец², А.В. Гаврилова²

Ph.D. A.V. Obukhov, Ph.D. A.I. Zimovets, A.V. Gavrilova

¹ *Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»,
² Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского*

В статье рассматривается предварительный этап обработки информации, необходимый для эффективного распознавания сложных объектов в условиях неполноты, неопределенности и неоднородности исходных данных. Актуальность исследования обусловлена растущими требованиями к интеллектуальным системам анализа данных, функционирующим в нестандартных и слабоформализованных ситуациях. Предлагаемый алгоритм базируется на интеграции современных методов обработки больших данных, включая искусственные нейронные сети, механизмы нечеткого вывода, а также математический аппарат байесовских нечетких сетей. Такая комбинация позволяет повысить устойчивость системы к внешним искажениям информации. Целью статьи является описание общей архитектуры и функциональной структуры модулей программного обеспечения, обеспечивающих сокращение времени обработки данных без снижения качества распознавания.

Ключевые слова: Байесовские нечеткие сети, большие данные, интеллектуальные системы, нейронные сети, нечеткий вывод, сложные технические объекты.

The article examines the preliminary stage of information processing required for the effective recognition of complex objects under conditions of data incompleteness, uncertainty, and heterogeneity. The relevance of the study is driven by the increasing demands placed on intelligent data analysis systems operating in non-standard and weakly formalized environments. The proposed algorithm is based on the integration of modern big data processing methods, including artificial neural networks, fuzzy inference mechanisms, and the mathematical framework of Bayesian fuzzy networks. This combination enhances the system's robustness against external information distortions. The purpose of the article is to describe the general architecture and functional structure of the software modules that enable reduced data processing time without compromising recognition accuracy.

Keywords: Bayesian fuzzy networks, Big data, Intelligent systems, Neural networks, Fuzzy inference, Complex technical objects.

Введение

Наблюдение текущей обстановки в околоземном космическом пространстве является важной задачей, которая должна быть решена в интересах предупреждения опасных сближений и упреждения столкновений отечественных космических аппаратов (КА) с различными техногенными объектами искусственного происхождения. Безопасное функционирование отечественных группировок КА в условиях постоянно возрастающего количества техногенных объектов становится проблематичным. Из-за отказа оборудования или недостаточного количества топлива, вышедшие из строя КА не всегда могут быть вовремя переведены на орбиты захоронения, что влечет за собой риск столкновения с действующими КА. Минимизировать такую вероятность возможно, если вести непрерывное и глобальное наблюдение обстановки в космическом пространстве. Вопросы обеспечения безопасности функционирования КА в космическом пространстве, научные разработки и предлагаемые технические решения в настоящее время являются актуальными и востребованными.

С учетом серьезных изменений в области разработки и развертывания зарубежными странами космических аппаратов двойного назначения, значительного совершенствования их технических характеристик и повышения защищенности благодаря технологиям снижения заметности, особое внимание уделяется безопасности в космосе. На орбитах Земли стремительно накапливается космический мусор, включающий отработавшие спутники, фрагменты ракет и других аппаратов. Эти объекты представляют серьезную угрозу для активных спутников и космических станций, поскольку столкновения с ними могут привести к повреждению или разрушению техники, создавая цепные реакции неконтролируемого увеличения обломков. Все это подчеркивает необходимость обработки больших объемов данных о сложных технологических объектах, что позволяет лучше понимать риски и управлять безопасностью на орбите [1–3].

Учитывая важные изменения в сфере создания и развертывания зарубежными странами космических аппаратов двойного назначения, значительное совершенствование технического

облика КА [4, 5] и повышение их защищенности за счет технологического снижения заметности [6, 7], важность задачи обработки больших объемов данных о сложных технологических объектах не оставляет сомнений.

В настоящее время для решения задачи распознавания применяются такие способы обработки информации, как описание распознаваемых объектов на языке признаков (такой способ не исключает дублирования характеристик, что является его слабой стороной), статистический подход (однако при его применении точность распознавания зависит от квалификации эксперта, обрабатывающего данные) и выбор оптимального решающего правила, в частности применение вероятностных систем распознавания без обучения (однако в современных условиях стремительной эволюции космической техники этот способ становится малоэффективным).

Таким образом, можно сделать вывод о том, что традиционных инструментов и методов недостаточно, чтобы справиться с объемом, динамикой и сложностью представляемой информации. Анализ таких объемов данных в реальном масштабе времени требует применения новых технологий, архитектур и инструментария, обеспечивающих высокий уровень производительности. В статье предлагается комплексное применение различных современных методов обработки больших объемов данных, включающих в себя такие технологии, как искусственный интеллект и нечеткий вывод, применение систем, работающих со слабоструктурированными данными, а также теории вероятности и математической статистики, теории байесовских нечетких сетей.

Математическая постановка задачи распознавания сложных объектов

Под задачей распознавания понимается отнесение наблюдаемого объекта по измеренным координатным и некоординатным признакам к одному из заранее определенных типов. Для космических объектов координатными данными являются сведения о дальности, угловом положении космического аппарата, а также параметрах движения его центра масс, некоординатными — сведения о форме, структуре внешней поверхности, отражательных и излучательных

характеристиках объекта и его элементов, параметрах стабилизации и ориентации, получаемых из принимаемых от объекта сигналов.

Необходимость подготовки исходных данных для системы распознавания обусловлена их неполнотой и разнородностью. За один сеанс наблюдения один космический объект (КО) может появиться в нескольких зонах обзора станций наблюдения различной природы. Объединив эти данные, возможно собрать более полную информацию о КО за короткий срок.

В качестве исходных данных на вход системы распознавания космических объектов подается информация о параметрах КО от средств наблюдения различной природы (оптических и радиолокационных). При этом выходными данными является множество типов космических объектов.

Таким образом, требуется найти соответствие между входным потоком данных и каталогизированными выходными значениями типов КО:

$$\begin{cases} k_i = \arg \max P_i(S) \\ P_i(S) \geq P_{\text{треб}} \\ t_i \leq t_{\text{треб}} \end{cases}, \quad (1)$$

где k_i — КО, подлежащий распознаванию;

$P_i(S)$ — вероятность распознавания типа КО при текущем состоянии каталога космических объектов;

$P_{\text{треб}}$ — требуемая точность распознавания;

$t_{\text{треб}}$ — требуемое время распознавания.

Компенсировать недостатки существующих методов распознавания КО можно, разработав систему распознавания с самообучением, которая будет учитывать неполноту и неточность исходных данных. Для решения поставленной задачи предлагается применять такие современные способы обработки больших объемов данных, как нейронные сети и нечеткий вывод, теории байесовских нечетких сетей.

Алгоритм подготовки исходных данных для распознавания сложных технических объектов

На рис. 1 представлен подготовительный этап обработки информации — схема алгоритма формирования базы правил нечеткого вывода.

На данном этапе производится формирование весовых коэффициентов параметров наблюдения космических объектов и базы правил нечеткого вывода. Фрагмент обучающей выборки представлен в табл. 1, где Shine — средний приведенный блеск, ESS — эффективная площадь рассеяния, HP — высота перигея, HA — высота апогея, OI — наклонение орбиты КО, PSC — периодичность блеска КО, OP — период обращения КО. Отсутствие значений в некоторых полях таблицы обусловлено неполнотой получаемых от средств наблюдения данных.

В качестве выходных данных взяты 4 типа космических спутников (Starlink, Iridium, OneWeb и GeoEye), фрагменты космического мусора (F/DEB) и один запасной тип — «неизвестные КО» (UNID) для некаталогизированных объектов.

Для моделирования обучающей выборки были использованы исходные данные информационно-аналитических отчетов Многоканального мониторингового телескопа Российской академии наук ММТ-9 [8].

А. Этап формирования весовых коэффициентов параметров наблюдения

Формирование весовых коэффициентов необходимо для того, чтобы компенсировать недостатки, связанные с формированием базы

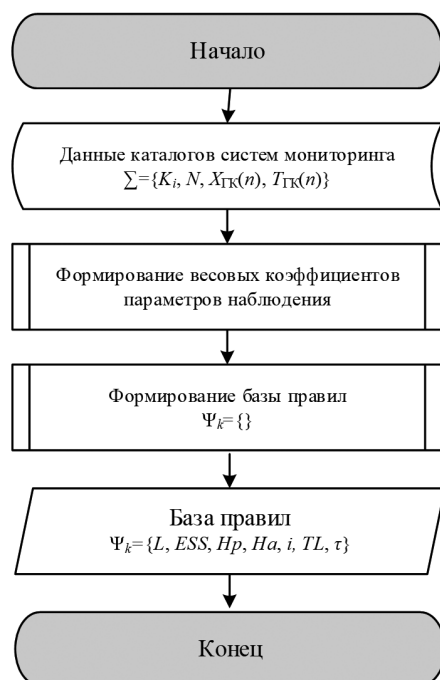


Рис. 1. Схема формирования базы правил нечеткого вывода

Таблица 1

Фрагмент обучающей выборки для формирования лингвистических переменных

Shine	ESS	HP	HA	OI	PCS	OP	Res
2,6	135,21	29375	171	27,02	510,22	–	UNID
4,5	–	779	776	86,4	100,4	–	Starlink
6,1	–	780	776	86,39	100,4	–	Starlink
5,9	–	779	777	86,4	100,4	–	Starlink
Shine	ESS	HP	HA	OI	PCS	OP	Res
5,4	–	701	677	87,03	98,53	–	Starlink
4,8	–	656	652	86,661	97,81	–	Starlink
8,9	–	443	441	51,64	93,43	–	UNID
6,2	–	779	776	86,4	100,4	–	Starlink
10	–	1136	676	97,68	103,12	0,11	F/DEB
3,3	–	23234	23210	56,69	844,71	–	UNID
8,1	–	2288	1065	99,66	119,91	0,05	F/DEB
2,4	–	35965	805	5,55	646,35	0,4	F/DEB
3	2,49	21490	21275	55,15	767,19	3,18	UNID
8,6	–	692	659	87,44	98,26	–	OneWeb
7,1	–	615	582	87,55	96,66	–	OneWeb

правил (в частности, проблему дублирования параметров наблюдения, которая ведет за собой избыточность исходных данных и приводит к загрузке ресурсоемкости всей системы).

Для вычисления весовых коэффициентов параметров наблюдения был разработан комбинированный способ расчета на основе метода базового критерия и энтропийном подходе. Все множество признаков наблюдения разбивается на группы важности, самые несущественные критерии относят к базовой группе и задают значения коэффициента β_i , показывающего уровень превосходства критериев i -й группы по сравнению с критериями базовой группы. В рамках работы все признаки наблюдения были разделены на три группы.

1. Координатные признаки x_i : высота перигея (HP), высота апогея (HA), наклонение орбиты (OI), период обращения (OP), доступные для наблюдения любыми средствами.

2. Частные некоординатные признаки x_{jk} , такие как периодичность изменения блеска (PCS), присущая для наблюдения только оптическим средствам.

3. Общие некоординатные признаки x_{jl} , такие как средний приведенный блеск (Shine) и эк-

вивалентная площадь рассеяния (ESS). Средний приведенный блеск наблюдается оптическими средствами, эквивалентная площадь рассеяния является радиолокационной характеристикой, однако оба этих показателя могут характеризовать физические характеристики КО — его форму, размеры, материалы, из которых он состоит.

Нормировка локальных критериев производится по следующей формуле:

$$\sum_{i=1}^q n_i \cdot \beta_i \cdot \alpha = 1, \quad \text{при условии } \sum_{i=1}^q n_i = n, \quad (2)$$

где q — количество групп важности локальных критериев;

n_i — количество локальных критериев, которые входят в состав i -й группы;

β_i — коэффициент степени превосходства критериев i -й группы;

α — коэффициент критериев базовой группы, при этом $\alpha = \alpha_q = \alpha \cdot \beta_q$.

Процесс определения весовых коэффициентов производится следующим образом. Пусть при обучении нейронной сети по априорно известным данным были получены:

– матрица $M \times N$, где M — количество типов распознавания; N — количество параметров распознавания;

– статистические вероятности правильного распознавания j -го типа на основе i -го параметра P_{ij} , $i = 1, \dots, N$; $j = 1, \dots, M$.

Таким образом, искомая матрица будет выглядеть следующим образом:

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1N} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{M1} & P_{M2} & \dots & P_{MN} \end{bmatrix}, \quad i = 1, \dots, N; \quad j = 1, \dots, M. \quad (3)$$

На следующем этапе производится вычисление значений энтропии в соответствии с формулой

$$H_{ij} = -P_{ij} \ln P_{ij}, \quad i = 1, \dots, N; \quad j = 1, \dots, M. \quad (4)$$

Вычисляется результирующее значение энтропии признаков:

$$H_i = \sum_{j=1}^M P_{ij}, \quad i = 1, \dots, N; \quad j = 1, \dots, M. \quad (5)$$

Далее производится поиск минимального значения энтропии:

$$H_{\min} = \min H_i, \quad i = 1, \dots, N. \quad (6)$$

И назначаются весовые коэффициенты относительно минимального значения энтропии:

$$\hat{c} = H_{\min} / H_i, \quad i = 1, \dots, N. \quad (7)$$

Результат присвоения весовых коэффициентов для заданной обучающей выборки параметрам наблюдения представлен в табл. 2.

Вероятностная функция точности распознавания будет выглядеть как сумма весовых коэффициентов координатных параметров, частных некоординатных параметров и дизъюнкция общих некоординатных параметров.

В. Этап формирования базы правил нечеткого вывода

Моделирование базы правил нечеткого вывода было реализовано в среде MatLab с помощью адаптивной сети ANFIS [9]. Для проведения расчетов использовались треугольная и трапециевидная функции принадлежности с использованием нечеткого вывода Мамдани. Разработан пользовательский интерфейс для обработки информации о космических объектах на основе базы продукционных правил из MatLab с применением байесовского нечеткого классификатора на языке Python. [10, 11]. В программе имеется возможность менять состав входных и выходных лингвистических переменных, корректировать значения их термов, добавлять значения признаков и классов. Программа наглядно показывает расчетные значения классов КО в зависимости от исходных данных.

Основные результаты моделирования представлены на рис. 2–3.

Предложенный алгоритм позволяет описать структуру обработки больших объемов разнородных данных для задачи распознавания космических объектов. Его особенностью является реализация сразу нескольких направлений обработки больших данных, таких как нейронные сети, байесовский нечеткий вывод и технологии вычисления массового параллелизма.

Таблица 2

Ранжирование весовых коэффициентов параметров наблюдения

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение параметра	Весовой коэффициент	Группа важности
1	Высота перигея	HP	0,1732	I
2	Высота апогея	HA	0,1731	
3	Наклонение орбиты	OI	0,1729	
4	Период обращения	OP	0,1727	
5	Периодичность изменения блеска	PCS	0,1613	II
6	Средний приведенный блеск	Shine	0,1032	III
7	Эквивалентная площадь рассеяния	ESS	0,1029	

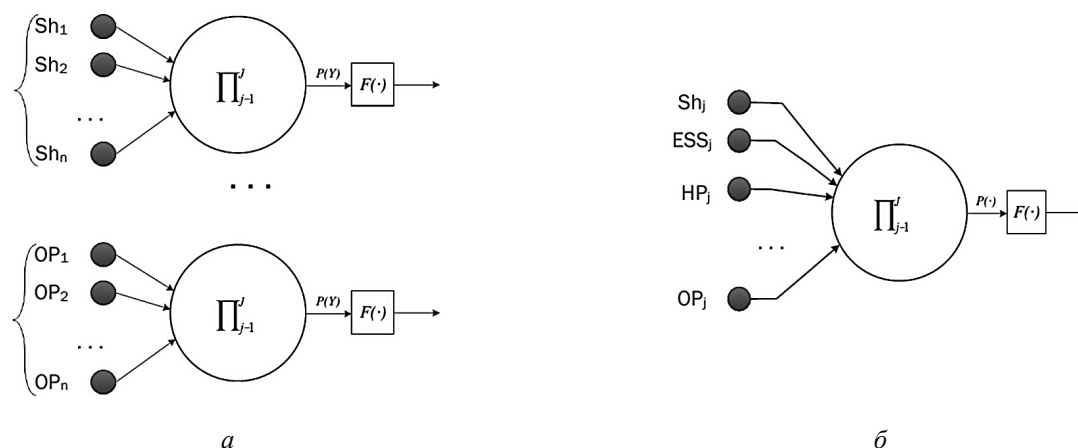


Рис. 2. Формальная модель байесовского классификатора: а — нормализация отдельных признаков наблюдения; б — нормализация по типам

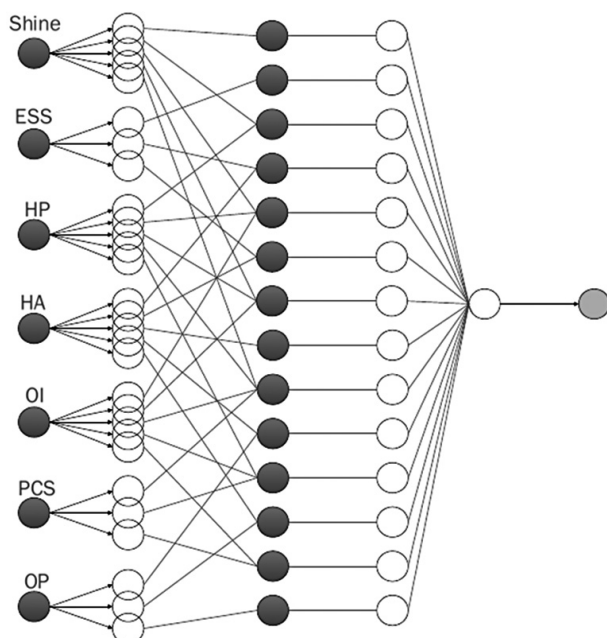


Рис. 3. Структура сгенерированной системы нечеткого вывода

Реализация алгоритма в рамках специального программного обеспечения обработки больших данных позволит сократить время обработки без существенной потери качества распознавания.

Заключение

Сочетание байесовского подхода и нейронечеткого вывода является современным направлением в решении задач обработки больших объемов данных, в частности распознавания слож-

ных технических объектов. Предложенный алгоритм имеет широкие возможности применения в отношении значений параметров распознавания.

Перспективные направления предложенного исследования состоят, прежде всего, в сочетании с другими способами обработки больших объемов данных и в направлении расширения применения разработанного алгоритма на другие задачи. Это позволит обеспечить совершенствование предложенного алгоритма и расширить возможности практического применения.

Список источников

1. Зимовец А.И., Раскин А.В., Тарасов И.В., Марчук С.И. Международные аспекты использования космического пространства // Стратегическая стабильность. 2017. № 4 (81). С. 54–59.
2. Железняков А.Б. Космическая деятельность стран мира в 2022 году // Инновации. 2023. № 1 (291). С. 17–25.
3. Железняков А.Б. Космическая деятельность стран мира в 2023 году // Инновации. 2024. № 3 (299). С. 9–19.
4. Ардашов А.А., Силантьев С.Б., Фоминов И.В. Состояние и перспективы развития универсальных космических платформ для малых космических аппаратов // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2013. № 640. С. 34–41.
5. Гаврилова А.В., Конорев Д.В., Макаров М.М. Принцип построения бортовой радиолокационной системы при решении задач обна-

ружения малоразмерных объектов // Радиолокационное исследование природных сред: материалы XXXIII Всеросс. симп., посвящ. 100-летию со дня рождения д.т.н. проф. Ключева Н.Ф. (СПб, 19–20 апреля 2023 г.) С. 49–54.

6. Пайсон Д.Б. Малые спутники в современной космической деятельности // Технологии и средства связи. 2016. № 6 (117). Т. 6. С. 64–69.

7. Судакова Д.И. Отчетвенные спутники дистанционного зондирования Земли: анализ и современные тенденции // Проблемы и перспективы развития агропромышленного комплекса России. 2017. № 11. С. 31–32.

8. Информационно-аналитические отчеты ММТ-9. URL: <http://mmt9.ru/report/> (дата обращения: 15.01.2024).

9. Зимовец А.И., Зоткин М.Ю., Хомоненко А.Д., Яковлев Е.Л. Идентификация космических объектов на основе интеграции данных от различных систем наблюдения и нечеткого вывода // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2020. Т. 12. № 5. С. 4–13.

10. Зимовец А.И., Обухов А.В., Певнева А.Г. Модель нечеткого байесовского классификатора для обработки информации // Современные научные технологии. 2021. № 12–1. С. 78–83.

11. Зимовец А.И., Логашев С.В., Фоменко Ю.С. Программа обработки информации для классификации космических объектов с применением нечеткого вывода // Свид. о гос. рег. программ для ЭВМ RU 2021612668. 2021.

3. Zheleznyakov A.B. Space activities of world countries in 2023 // Innovations. 2024. No 3 (299). Pp. 9–19.

4. Ardashov A.A., Fominov I.V., Silantsev S.B. Current state and development prospects of universal space platforms for small spacecraft // Proceedings of A.F. Mozhaysky Military Space Academy. 2013. No 640. Pp. 34–41.

5. Gavrilova A.V., Konorev D.V., Makarov M.M. Principle of constructing an onboard radar system for detecting small-sized objects // Radar Research of Natural Media: Proceedings of the XXXIII All-Russian Symposium dedicated to the 100th anniversary of D.Sc.(Tech.) Prof. N.F. Klyuev (St. Petersburg, April 19–20, 2023). Pp. 49–54.

6. Payson D.B. Small satellites in modern space activities // Technologies and Communication Tools. 2016. No 6 (117). Vol. 6. Pp. 64–69.

7. Sudakova D.I. Domestic Earth remote sensing satellites: analysis and current trends // Problems and Prospects for the Development of the Agro-Industrial Complex of Russia. 2017. No 11. Pp. 31–32.

8. Information and Analytical Reports MMT-9. URL: <http://mmt9.ru/report/> (accessed: 15.01.2024).

9. Khomonenko A.D., Yakovlev E.L., Zimovets A.I., Zotkin M.Yu. Identification of space objects based on data integration from various observation systems and fuzzy inference // High Technology in Earth Space Research. 2020. Vol. 12. No 5. Pp. 4–13.

10. Obukhov A.V., Pevneva A.G., Zimovets A.I. Model of a fuzzy Bayesian classifier for information processing // Modern High Technologies. 2021. No 12–1. Pp. 78–83.

11. Fomenko Yu.S., Logashev S.V., Zimovets A.I. Information processing program for classification of space objects using fuzzy inference // State registration certificate for computer program RU 2021612668. 2021.

References

1. Marchuk S.I., Raskin A.V., Tarasov I.V., Zimovets A.I. International aspects of outer space utilization // Strategic Stability. 2017. No 4 (81). Pp. 54–59.

2. Zheleznyakov A.B. Space activities of world countries in 2022 // Innovations. 2023. No 1 (291). Pp. 17–25.

УДК 004:62-50

doi: 10.53816/23061456_2025_7-8_36

**МОДЕЛЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ЗАДАЧ
С ДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУДОЕМКОСТЬЮ
В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ
С ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМОЙ АРХИТЕКТУРОЙ**

**A MODEL FOR REPRESENTING TASK PROCESSING PROCESSES
WITH DYNAMIC LABOR INTENSITY IN A DISTRIBUTED COMPUTING
ENVIRONMENT WITH A SOFTWARE-DEFINED ARCHITECTURE**

Т.С. Швец

T.S. Shvets

Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского

В статье предложена модель обработки задач с переменной вычислительной сложностью в распределенной среде с программно-определяемой архитектурой. Основу модели составляют три ключевых компонента: механизм отрицательных заявок для управления перегрузками, контейнерная виртуализация для динамического масштабирования ресурсов и теория сетей очередей для анализа производительности. Модель представления процессов обработки задач с динамической трудоемкостью в распределенной вычислительной среде с программно-определяемой архитектурой ставит перед собой задачи оптимизации процессов вычислений, управления вычислительными ресурсами и обеспечения минимального времени выполнения задач. Такая модель должна обеспечивать высокую производительность, эффективное управление ресурсами и автоматизацию процессов адаптации к изменяющимся условиям. Основное внимание уделено динамическому управлению ресурсами при нестабильной нагрузке.

Ключевые слова: отрицательные заявки, контейнерная виртуализация, сети очередей, динамическая трудоемкость.

The article proposes a model for processing tasks with variable computational complexity in a distributed environment with a software-defined architecture. The model is based on three key components: a negative request mechanism for congestion management, container virtualization for dynamic resource scaling, and queue network theory for performance analysis. The model of representation of processes for processing tasks with dynamic labor intensity in a distributed computing environment with a software-defined architecture sets itself the task of optimizing computing processes, managing computing resources and ensuring minimal task execution time. Such a model should ensure high productivity, efficient resource management, and automation of adaptation processes to changing conditions. The main focus is on dynamic resource management under unstable load.

Keywords: negative applications, container virtualization, queue networks, dynamic labor intensity.

Введение

Современные информационные системы разрабатываются и функционируют с использованием широкого спектра технологий. Среди них, как одну из наиболее перспективных, необходимо выделить технологию, базирующуюся на микросервисной архитектуре с контейнерной виртуализацией.

Инфраструктура микросервисной информационной системы с контейнерной виртуализацией характеризуется динамическим изменением вычислительной структуры и параметров узлов (рис. 1).

В частности, при рассмотрении процессов масштабирования сервисов, реализуемых на основе контейнеризованных приложений, следует учитывать временные затраты на запуск необходимого числа контейнеров, проверку их работоспособности, а также остановку контейнеров, использование которых в данный момент не предполагается [4].

Длительность отдельных операций запуска, остановки контейнеров, проверки работоспособности (с учетом типа запущенного в контейнере приложения-сервиса) представляют собой случайные величины, учет которых необходимо реализовывать в соответствующих моделях.

В данной модели необходимо дополнительно учесть события, характеризующие управляемые воздействия на реконfigurирование в инфраструктуре. Причем учитывая случайный

характер моментов поступления в систему задач с динамической трудоемкостью в модель, необходимо учесть дополнительный поток указанных событий.

В данной работе представляется возможным представить данный поток в виде потока отрицательных заявок в СеМО.

Модель неэкспоненциальной G-сети Исходные данные и описание модели

Дано:

Разомкнутая СеМО состоит из M узлов. Сеть представлена в виде ориентированного графа, нулевая вершина которого (исток) идентифицирует источник заявок, вершины $1, 2, \dots, M$ — узлы сети, а $(M+1)$ -я вершина — выход (сток) сети. Граф без циклов. В сеть поступает два потока заявок: положительных (целевых) и отрицательных (событий, приводящих к потере заявок в узлах сети). Предполагается, что указанные потоки — простейшие. Переходы целевых заявок между узлами определяются стохастической матрицей передач $R^+ = \{r_{ij}^+\}$, $i, j = \overline{0, M+1}$, где r_{ij}^+ — вероятность перехода заявки из i -го в j -й узел. Отрицательные заявки распределяются по рабочим узлам согласно вектору вероятностей $R^- = \{r_i^-\}$, причем они в узлах не обслуживаются. Прибывающая в узел отрицательная заявка инициирует процесс удаления всех положительных заявок (как находящихся на обслуживании, так и находящихся в очереди). После этого

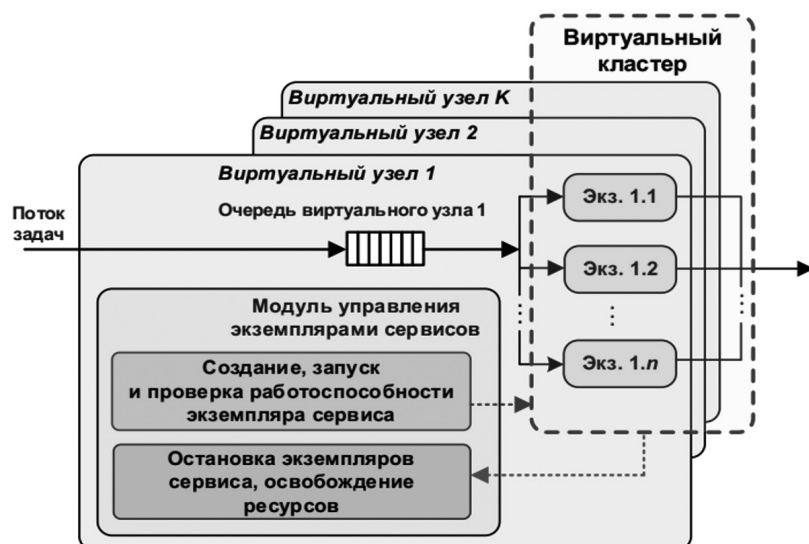


Рис. 1. Модель представления процесса обработки задач масштабируемым сервисом

отрицательная заявка мгновенно покидает узел. Положительная заявка, обслуженная в i -м узле, с вероятностью r_{ij}^+ переходит в j -й узел $r_{i(M+1)}^+$ покидает сеть. Каждая пораженная целевая заявка заново генерируется в источнике и отправляется в сеть. Дисциплины обслуживания в узлах FIFO. Очереди в узлах сети не ограничены. Для каждого i -го узла сети заданы моменты распределения чистой длительности обслуживания положительных заявок $\{b_{ij}\}$, $i = 1, L$, а также число каналов обслуживания n_i . Режим работы сети — стационарный.

Требуется:

Найти начальные моменты распределения времени пребывания положительной заявки в сети от первой ее генерации до попадания в сток.

Построить дополнительную функцию распределения времени пребывания положительной заявки в сети.

Традиционно, для расчета вероятностно-временных характеристик сложных СеМО (не имеющих аналитического решения) применяются аппроксимационные методы, в частности методы на основе потокоэквивалентной декомпозиции [2].

Особенности потокоэквивалентной декомпозиции G-сети

Для исследования характеристик СеМО в условиях, выходящих за пределы теоремы ВСМР, применяют аппроксимационные методы, основанные на потокоэквивалентной декомпозиции сети [1, 4].

Суть данных методов заключается в следующем. Задаются начальные приближения к потокам через узлы сети, после чего составляются и решаются уравнения баланса относительно средних значений входящих в узлы потоков. По результатам этих расчетов производится итерационный пересчет потоков, после стабилизации которых, каждый узел рассчитывается независимо как изолированная СМО. На заключительном этапе вычисляются агрегированные характеристики сети (распределение времени пребывания заявки в сети).

В зависимости от типа СеМО, узлов и характеристик потоков в сети этапы метода могут модифицироваться. Например, при расчете рассматриваемой модели G-сети, с простейшими

потоками и неэкспоненциальными узлами, в общую схему потокоэквивалентной декомпозиции необходимо внести следующие изменения.

Предположение о простейших потоках, циркулирующих в сети, после решения уравнений баланса потоков позволяет сразу перейти к расчету узлов сети как независимых СМО. Но так как «убитые» положительные заявки в узлах повторно генерируются в источнике и отправляются в сеть, то возникает необходимость в пересчете суммарной приведенной интенсивности потока положительных заявок с учетом повторно отправленных из источника.

При расчете узлов СеМО каждый узел представляется как СМО $M/H_2/n$ с учетом воздействий отрицательных заявок. Это обстоятельство требует внесения изменений в диаграммы и соответствующие им матрицы переходов, а также вывода условия баланса заявок с учетом ухода положительных заявок из узла из-за воздействия отрицательных.

Методика расчета временных характеристик. Этапы метода. Общая идея метода

Модель G-сети представляет собой описание функционирования сложной системы в условиях возмущений, которые описываются с помощью отрицательных заявок. Хотя указанные возмущения имеют однозначное представление в виде вектора передач $R^{\wedge}$ и суммарной средней интенсивности их потока $\Lambda^{\wedge}$, их влияние на элементы сети и на общий целевой показатель системы является неопределенным. Кроме того, во-первых, интенсивность и направление деструктивного воздействия среды могут непредсказуемо изменяться; во-вторых, состояние системы является также трудно предсказуемым из-за сложности внутренней структуры и проходящих в ней процессов; в-третьих, модель системы в виде G-сети описывает ее функционирование с учетом воздействий, что не позволяет выделить из нее модель объекта и модель среды.

В настоящей работе предлагается итерационный метод организации обработки заданий на основе изменения структуры сети и параметров ее узлов. Целевым показателем является время выполнения операций (полной обработки данных) с заданной вероятностью. Модификация

сети проводится итерационно на двух уровнях. В каждой итерации может проводиться одна операция изменения структуры сети, в рамках которой проводится весь цикл изменения параметров для выбранной структуры.

Алгоритмическая реализация метода

При расчете сети обслуживания заявка должна пройти без «убийства» случайную, вообще говоря, последовательность ее узлов, определяемую маршрутной матрицей. Здесь ключевую роль играет вероятность q успешного прохождения узла при условии, что заявка до него добралась. Поток «эффективных» (находящих жертву) отрицательных заявок имеет интенсивность $\lambda^-(1-p_0)$. Здесь p_0 — вероятность свободного состояния системы. Соответственно доля убитых положительных заявок составит $(1-p_0)\lambda^-/\lambda^+$, а интересующая нас вероятность «счастливого» прохождения узла

$$q = 1 - \frac{\lambda^-}{\lambda^+}(1-p_0). \quad (1)$$

Для расчета временных показателей работы сети необходимо вычисление моментов распределения времени пребывания в узле отдельно для обслуженной и убитой заявок. Для обоих вариантов время ожидания распределено одинаково. Время пребывания на обслуживании в первом варианте окажется «штатным», а во втором — усеченным (остаточное время обслуживания, расчет моментов распределения которого общеизвестен). Соответственно моменты распределения времени занятости канала окажутся средневзвешенными, и именно они будут определять динамику продвижения очереди. Очевидна необходимость итерационного пересчета характеристик узлов.

Нумерация вершин

Ключевым элементом обсуждаемой расчетной схемы является расчет длительности неполного маршрута в зависимости от места гибели положительной заявки, что невозможно при повторном прохождении узлов. В связи с этим приходится делать допущение об отсутствии в сети циклических маршрутов (исключая повторную

генерацию убитой заявки). Тогда можно перенумеровать узлы на основе отношений предшествования — например, с помощью известного алгоритма Форда. Перенумерация позволяет искать предшественников узла j только среди узлов с номерами $i = \overline{1, j-1}$. Более того, на уровне программной реализации имеет смысл просматривать этот список в обратном порядке и прекращать просмотр при первом же нарушении непосредственного предшествования.

Далее мы всюду предполагаем, что упомянутая перенумерация проведена.

Особенности расчета узлов

Прибытие отрицательной заявки «выбивает» из канала положительную, уменьшая число заявок в системе на единицу, и в этом смысле эквивалентно завершению обслуживания. Однако этот эффект не растет по числу занятых каналов и, следовательно, не может быть учтен пересчетом их быстродействия. С другой стороны, его нельзя отразить и через уменьшение интенсивности прибытия положительных заявок λ^+ , поскольку прибытие отрицательной заявки в свободную систему не оказывает на нее никакого действия. Следовательно, для обхода узлов с положительными и отрицательными заявками необходимо разрабатывать специальные методы. Метод расчета узлов с положительными и отрицательными заявками представлен в [5].

Баланс межузловых потоков

Обозначим λ^+ суммарную интенсивность внешнего потока и зададим матрицу вероятностей межузловых переходов $R = \{r_{i,j}\}, i, j = \overline{0, M+1}$. Здесь узел «0» — источник заявок, «M+1» — сток (при попадании в него фиксируется окончание пребывания заявки в сети), а прочие узлы считаются рабочими и производят фактическое обслуживание. Заявка, получившая полное обслуживание, переходит в один из очередных рабочих узлов или покидает сеть; «убитая» заявка мгновенно вновь появляется в источнике и адресуется в один из рабочих узлов.

Указанные соображения приводят к системе линейных алгебраических уравнений относительно интенсивностей $\{\lambda_i^+\}$, входящих в узлы потоков:

$$\lambda_i^+ = \Lambda^+ r_{0,i} + \sum_{j=1}^M \lambda_j^+ [q_j r_{j,i} + (1 - q_j) r_{0,i}], \quad i = \overline{1, M}. \quad (2)$$

Второе слагаемое в квадратных скобках соответствует доле повторно генерируемых заявок, направляемых из источника в i -й узел. Отметим, что вероятности $\{q_i\}$ зависят от интенсивностей входящих в узлы положительных и отрицательных потоков, что определяет необходимость решения системы (2) внутри итерационного цикла. На первом шаге для всех j разумно принять

$$q_j = \int_0^{\infty} e^{-\lambda_j t} dB_j(t), \quad (3)$$

(вероятность неприбытия отрицательных заявок за время обслуживания положительной), а далее уточнять их согласно (1).

Конечные результаты решения системы (2) следует проверить на загрузку: для всех узлов должно выполняться условие $n / b + \lambda^- > \lambda^+$ (максимальная интенсивность ухода заявок должна превышать интенсивность их прибытия). Таким образом, необходимо выполнение условия

$$\frac{n}{b} > \lambda^+ - \lambda^-. \quad (4)$$

При его нарушении необходима корректировка исходных данных. Это могут быть изменение маршрутизации заявок, увеличение количества каналов в критических узлах или повышение быстродействия каналов — с учетом экономических и иных соображений.

По окончательному решению системы (2) можно определить приведенную интенсивность потока из источника, состоящую из внешнего потока и потоков заявок, обслуживание которых было прервано в различных узлах:

$$\Lambda_{\Sigma}^+ = \Lambda^+ + \sum_{j=1}^M \lambda_j (1 - q_j). \quad (5)$$

Формирование конечного результата

В этом пункте при организации вычисления сумм учитываются соображения, изложенные в разделе о нумерации вершин. Первый узел имеет только одного предшественника (источ-

ник), единичную вероятность предшественника и нулевую задержку в нем.

После завершения итераций для каждого узла вычисляются:

а) моменты $\{\omega_j\}$ распределения времени ожидания в очереди; моменты $\{\upsilon_j\}$ пребывания в узле обслуженной заявки и $\{\hat{\upsilon}_j\}$ — прерванной;

б) кумулянтная вероятность $Q_j^{'}$ добраться до j -го узла. Она равна отношению интенсивности входящего в узел потока к общей интенсивности потока из источника:

$$Q_j^{'} = \lambda_j / \Lambda_{\Sigma}^+.$$

в) вероятность успешного прохождения j -го узла

$$Q_j = q_j Q_j^{'}$$

г) вероятность убиения заявки именно в j -м узле

$$\hat{Q}_j = (1 - q_j) Q_j^{'}$$

д) кумулянтные моменты распределения времени пребывания в сети j -убитой заявки

$$\hat{V}_j = \left(\sum_{i=1}^{j-1} r_{i,j} V_i \right) * \hat{\upsilon}_j$$

и аналогичные моменты для j -прошедшей

$$V_j = \left(\sum_{i=1}^{j-1} r_{i,j} V_i \right) * \upsilon_j,$$

(здесь и далее * означает оператор свертки в моментах).

Теперь можно рассчитать наборы моментов средней длительности жизни в цикле для убиенной заявки

$$A = \sum_{j=1}^M \hat{Q}_j \hat{V}_j$$

моментов времени пребывания в сети при успешном (полном) ее прохождении

$$B = \sum_{j=1}^M r_{j,M+1} V_j,$$

и, наконец, вероятность «счастливого» прохождения сети

$$x = \sum_{j=1}^M r_{j,M+1} Q_j.$$

Искомое распределение полного времени ожидания ответа сети мы сначала получим в терминах преобразований Лапласа — Стильтеса (ПЛС), построенных по моментам соответствующих распределений. Пусть

$\alpha(s)$ — ПЛС распределения длительности неполного прохода,

$\beta(s)$ — то же для успешного прохода.

Тогда результирующая ПЛС

$$\gamma(s) = \sum_{k=1}^{\infty} [(1-x)\alpha(s)]^{k-1} x\beta(s) = \frac{x\beta(s)}{1-(1-x)\alpha(s)}.$$

Умножим обе части этого равенства на знаменатель правой и разложим все ПЛС по степеням параметра. В коэффициенты этого разложения будут входить моменты известных и искомого распределений. Приравнявая множители при одинаковых степенях s в левой и правой частях равенства, получаем рекуррентное выражение для моментов времени реакции сети

$$g_k = b_k + \frac{1-x}{x} \sum_{i=0}^{k-1} \frac{k!}{i!(k-i)!} g_i a_{k-i}, \quad k = 1, 2, \dots$$

при начальных

$$g_0 = 1, \quad g_1 = b_1 + \frac{1-x}{x} a_1.$$

По найденным моментам можно построить аппроксимацию дополнительной функции распределения времени пребывания заявки в сети до ее «полного удовлетворения».

Проверка адекватности модели G-сети и численного метода расчета.

Исходные данные

Вычислительная сеть представлена СеМО с тремя узлами S1, S2, S3. Узлы S0 и S4 — источник заявок и сток соответственно. Из источника в сеть поступают два пуассоновских потока положительных и отрицательных заявок со средними интенсивностями $\Lambda^+ = 3$ з/с и $\Lambda^- = 1,5$ з/с. Количество обслуживающих приборов в узлах примем $n = n_2 = n_3 = 2$. Обслуживание положительных заявок в узлах осуществляется со средними длительностями $b_1 = 0,25$ с, $b_2 = 0,3$ с, $b_3 = 0,15$ с и с коэффициентом вариации $v = 1,9$. Воспользуемся процедурами подбора параметров Г-аппроксимации и расчета моментов Г-распределения по подобранным параметрам. В результате получим для каждого узла три начальных момента распределения обслуживания (табл. 1).

Структура сети, направления и соответствующие им вероятности переходов заявок представлены на рис. 2. и в табл. 2.

Таблица 1

Подбор параметров и расчет начальных моментов Г-распределения

	Исходные данные		Параметры Г-распределения		Моменты Г-распределения		
	b	v	a	μ	b_1	b_2	b_3
Узел 1	0,25	1,9	0,277	1,108	0,25	0,2881	0,5921
Узел 2	0,3		0,277	0,9234	0,3	0,4149	1,0231
Узел 3	0,15		0,277	1,8467	0,15	0,1037	0,1279

Таблица 2

Матрица передач R^+

Узлы	S0	S1	S2	S3	S4
S0	0	0,5	0,5	0	0
S1	0	0	0	0,5	0,5
S2	0	0	0	0,5	0,5
S3	0	0	0	0	1
S4	0	0	0	0	0

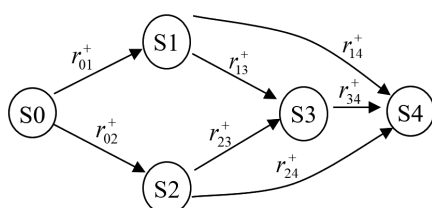


Рис. 2. Структура G-сети с переходами заявок согласно матрице R^+

Таблица 3

Результаты расчета G-сети численным методом

	q_1	q_2	q_3	ω_1	ω_2	ω_3	v_1	v_2	v_3
S1	0,078	0,036	0,017	0,038	0,009	0,002	0,145	0,044	0,019
S2	0,139	0,072	0,039	0,068	0,017	0,005	0,183	0,064	0,030
S3	0,012	0,003	0,001	0,006	0,001	0,0002	0,078	0,015	0,004
Сеть	—	—	—	—	—	—	0,6602	0,8397	—

Отрицательные заявки суммарной интенсивности $\Lambda^- = 1,5$ распределены по рабочим узлам с вероятностями $\{0,3; 0,3; 0,4\}$ соответственно.

Расчет G-сети численным методом

Произведем расчет узлов сети, найдем вероятности поражения целевых заявок в них и итерационно пересчитаем потоки в сети.

После пересчета потоков перейдем к расчету сети разработанных процедур. Результаты расчета приведены в табл. 3.

Заключение

Предложенный метод организации обработки заданий позволяет на основе модели G-сети сформировать требования к значениям параметров и структуре сети для достижения требуемого уровня целевого показателя функционирования системы в условиях влияния деструктивных факторов.

Разработанный метод расчета временных характеристик неэкспоненциальной G-сети позволяет получить значение времени обработки заявки от первого ее появления до полного обслуживания сетью с учетом вынужденных повторных генераций и отправки на обслуживание из-за воздействия отрицательных заявок.

Список источников

1. Вычислительные системы и их программное обеспечение. Модели, методы и средства исследования: учебник; под ред. Ю.И. Рыжикова и А.Д. Хомоненко. МО РФ, 1996. 312 с.
2. Рыжиков Ю.И. Алгоритмический подход к задачам массового обслуживания: монография. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2013. 496 с.
3. Рыжиков Ю.И., Хомоненко А.Д. Итеративный метод расчета многоканальных систем с

произвольным распределением времени обслуживания // Проблемы управления и теория информации. 1980. № 3. С. 32–38.

4. Рыжиков Ю.И. Компьютерное моделирование систем с очередями: курс лекций. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2007. 163 с.

5. Швец Т.С. Имитационное моделирование. Теория и практика (ИММОД-2023) // Расчет характеристик многоканального узла неэкспоненциальной сети с отрицательными заявками с групповым удалением положительных. 2023. С. 770–779.

6. Радченко В.Г., Богданов И.Н. Распределенные вычислительные системы. СПб.: БХВ-Петербург, 2021. 480 с.

7. Курячий А.В., Башлаков К.А. Программно-конфигурируемые сети и виртуализация. М.: ДМК Пресс, 2020. 320 с.

8. Лось Д.А., Королюк В.В. Теория массового обслуживания в современных вычислительных системах. М.: Физматлит, 2019. 256 с.

9. Петров А.М., Соколов И.К. Алгоритмы динамического распределения ресурсов в гетерогенных облачных средах // Информационные технологии. 2022. Т. 28. № 5. С. 45–52.

10. Кузнецов Е.Р., Михайлов Д.Ю. Механизмы отрицательных заявок в распределенных системах реального времени // Программная инженерия. 2021. № 8. С. 12–20.

11. Громов Ю.Ю., Белов А.А. Контейнерная виртуализация в задачах обработки данных с динамической нагрузкой // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2023. Т. 14. № 3. С. 78–89.

12. Отчет НИР «Разработка моделей обработки задач с динамической трудоемкостью». М.: ИППИ РАН, 2021. 95 с.

Resources

1. Computing systems and their software. Models, methods and research tools: textbook ed.

by Yu.I. Ryzhikov and A.D. Khomonenko. Ministry of Defense of the Russian Federation, 1996. 312 p.

2. Ryzhikov Yu.I. Algorithmic approach to queuing tasks: monography, St. Petersburg: Mozhaisky Central Research Institute, 2013. 496 p.

3. Ryzhikov Yu.I., Khomonenko A.D. Iterative calculation method for multichannel systems with arbitrary service time distribution // Management problems and information theory. 1980. No 3. Pp. 32–38.

4. Ryzhikov Yu.I. Computer modeling of systems with queues: a course of lectures. St. Petersburg: Mozhaisky Academy of Fine Arts, 2007. 163 p.

5. Shvets T.S. Simulation modeling. Theory and practice (IMMOD-2023) // Analysis of the characteristics of a multichannel node of a non-exponential network with negative signals with group deletion of positive ones. 2023. Pp. 770–779.

6. Radchenko V.G., Bogdanov I.N. Distributed computing systems. St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2021. 480 p.

7. Kuryachiy A.V., Bashlakov K.A. Software-configurable networks and virtualization. Moscow: DMK Press, 2020. 320 p.

8. Los D.A., Korolyuk V.V. Theory of queuing in modern computing systems. Moscow: Fizmatlit, 2019. 256 p.

9. Petrov A.M. Sokolov I.K. Algorithms of dynamic resource allocation in distributed cloud environments // Information Technologies. 2022. Vol. 28, No 5. Pp. 45–52.

10. Kuznetsov E.R., Mikhailov D.Y. Mechanisms of negative applications in distributed real-time systems // Software Engineering. 2021. No 8. Pp. 12–20.

11. Gromov Yu.Yu., Belov A.A. Container virtualization in dynamic load data processing tasks // Scientific and Technical Bulletin of St. Petersburg State University. 2023. Vol. 14, No 3. Pp. 78–89.

12. Research report «Development of models for processing tasks with dynamic labor intensity». M.: IPPI RAS, 2021. 95 p.

УДК 62-523.8

doi: 10.53816/23061456_2025_7–8_44

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИГАТЕЛЯ
С АДАПТИВНОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМ СОСТОЯНИЕМ**
**MATHEMATICAL MODEL OF A MOTOR WITH AN ADAPTIVE THERMAL
MANAGEMENT SYSTEM**

Ф.Н. Гханем, канд. техн. наук В.Р. Эдигаров

F.N. Ghanem, Ph.D. V.R. Edigarov

Филиал ВА МТО им. А.В. Хрулева (г. Омск)

В статье представлена разработанная математическая модель двигателя с адаптивной системой управления тепловым состоянием (АСУ ТС) с варьированием наиболее значимыми внешними и внутренними факторами, влияющими на работу системы охлаждения дизельного двигателя. Разработанная математическая модель обеспечивает возможность управления элементами системы охлаждения дизельного двигателя для поддержания оптимальной температуры охлаждающей жидкости, что обеспечивает наименьший расход топлива при различных режимах работы, при различных температурах окружающей среды и динамике ее изменения за счет адаптивного управления элементами системы охлаждения (вентилятором, водяным насосом, электронным термостатом и жалюзи). В статье представлен вывод полученных уравнений и параметров управления системой охлаждения дизельного двигателя.

Ключевые слова: адаптивная электронная схема управления, система охлаждения двигателя силовой установки, адаптивная система управления тепловым состоянием.

The article presents a developed mathematical model of an engine with an adaptive thermal management system (ATMS) by varying the most significant external and internal factors affecting the operation of the diesel engine cooling system. The developed mathematical model provides the ability to control the elements of the diesel engine cooling system to maintain the optimal coolant temperature, which ensures the lowest fuel consumption at various operating modes, at different ambient temperatures and the dynamics of its change due to the adaptive control of the cooling system elements (fan, water pump, electronic thermostat and blinds). The article presents the derivation of the obtained equations and control parameters of the diesel engine cooling system.

Keywords: adaptive electronic control circuit, power plant engine cooling system, adaptive thermal management system.

С помощью математического моделирования (решения задач на компьютере с использованием математических моделей) можно проанализировать протекание отдельных рабочих процессов и всего рабочего цикла двигателя, прогнозировать его основные показатели, характеристики и, таким образом, оценить его функ-

ционирование на военной технике в процессе эксплуатации. Математические модели широко используют при проектировании микропроцессорных систем управления двигателями, непосредственно при отработке управления двигателями и создании методов их диагностирования, а также при решении ряда других задач [1].

Задачей предлагаемой математической модели двигателя с АСУ ТС является расчет параметров элементов системы охлаждения с целью поддержания оптимальной температуры охлаждающей жидкости в системе охлаждения двигателя при различных режимах работы, при различных температурах окружающей среды и динамики ее изменения за счет адаптивного управления ее элементами (вентилятором, водяным насосом, электронным термостатом и жалюзи).

Требования к математической модели двигателя с АСУ ТС следующие [2, 7].

1. Требования к управлению водяным насосом, то есть контроль скорости вращения водяного насоса и от него управление расходом охлаждающей жидкости, которое определяется количеством тепла, рассеиваемым от двигателя охлаждающей жидкостью. При этом минимальная частота вращения должна обеспечивать распределение тепла от головки блока цилиндров на все части двигателя на этапе прогрева двигателя, а максимальная частота вращения должна обеспечивать максимальный отвод тепла от двигателя и поступление жидкости по главному контуру через радиатор.

2. Требования к управлению скоростью вращения вентилятора охлаждения, то есть управление скоростью воздушного потока через радиатор. Он включает в себя контроль количества тепла, которое должно быть рассеяно от теплоносителя в радиаторе во внешнюю среду. Минимальная скорость вращения вентилятора соответствует случаям прогрева двигателя, а максимальная скорость позволяет рассеивать максимально возможное количество тепла от охлаждающей жидкости при повышении температуры охлаждающей жидкости или температуры внешней среды.

3. Требования к управлению термостатом, то есть управление работой термостата (управление открытием и закрытием клапана термостата), который должен обеспечивать прохождение определенного количества жидкости, через радиатор, пропорциональное температуре охлаждающей жидкости. Здесь следует отметить, что механический терморегулятор не в полном объеме обеспечивает необходимую адаптивность управления, что позволяет определить требования к электронной схеме терморегулятора.

4. Требования к управлению жалюзи, то есть обеспечение открытия и закрытия жалюзи пропорционально температуре окружающего воздуха, а также интенсивности работы вентилятора и тепловой нагруженности двигателя.

5. Другие требования, такие как тактико-технические, конструкторские, технологические (производственные), в том числе по возможности обслуживания и ремонта.

Температуру охлаждающей жидкости можно представить в виде функции:

$$T_{\text{ож}} = f(t_v, t_{w1}, t_{w2}, t_{\text{окр}}, n, w_n, w_{\text{Вент}}, \theta_t, \theta_{\text{ж}}), \quad (1)$$

где t_v — температура охлаждающей жидкости на входе в двигатель;

t_{w1} — температура охлаждающей жидкости на входе в радиатор;

t_{w2} — температура охлаждающей жидкости на выходе из радиатора;

$t_{\text{окр}}$ — температура окружающего воздуха;

n — частота вращения коленчатого вала двигателя;

w_n — частота вращения водяного насоса;

$w_{\text{Вент}}$ — частота вращения вентилятора;

θ_t — угол поворота термостата;

$\theta_{\text{ж}}$ — угол поворота жалюзи.

Математическая модель, описывающая адаптивную схему управления системой охлаждения двигателя, включает управление водяным насосом, скоростью вращения его приводного электродвигателя, также вентилятором, термостатом и жалюзи (углом поворота сервомотора). Таким образом, искомая зависимость примет вид:

$$\begin{bmatrix} w_n = \eta_n \cdot w_{\text{эн}}; \\ w_{\text{Вент}} = \eta_{\text{Вент}} \cdot w_{\text{эВент}}; \\ \theta_t = \eta_t \cdot \theta_{\text{ст}}; \\ \theta_{\text{ж}} = \eta_{\text{ж}} \cdot \theta_{\text{сж}} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где $w_{\text{эн}}$ — частота вращения электродвигателя водяного насоса;

$w_{\text{эВент}}$ — частота вращения электродвигателя вентилятора;

$\theta_{\text{ст}}$ — угол поворота сервомотора термостата;

$\theta_{\text{сж}}$ — угол поворота сервомотора жалюзи;

η_n — коэффициент электродвигателя насоса;

$\eta_{\text{Вент}}$ — коэффициент электродвигателя вентилятора;

$\eta_{\text{т}}$ — коэффициент сервомотора термостата;

$\eta_{\text{ж}}$ — коэффициент сервомотора жалюзи.

При этом коэффициенты

$\eta_{\text{н}}, \eta_{\text{Вент}} = (0,92 - 0,95)$, $\eta_{\text{т}}, \eta_{\text{ж}} = (0,95 - 0,99)$ зависят от типа двигателя и производителя [3].

Скорость вращения электродвигателя водяного насоса прямо пропорциональна управляющему сигналу, посылаемому из блока управления, который является электрическим сигналом, а также для двигателя вентилятора, в то время как величина угла наклона серводвигателя для термостата и жалюзи пропорциональна величине сигнала, посылаемого из цепи управления. Таким образом, уравнение (2) можно записать в виде:

$$\begin{bmatrix} w_{\text{н}} = f(V_1); \\ w_{\text{Вент}} = f(V_2); \\ \theta_{\text{ст}} = f(V_3); \\ \theta_{\text{сж}} = f(V_4) \end{bmatrix},$$

где V_1 — напряжение, подаваемое из блока управления на электродвигатель водяного насоса;

V_2 — напряжение, подаваемое из блока управления на электродвигатель вентилятора;

V_3 — напряжение, подаваемое из блока управления на сервомотор термостата;

V_4 — напряжение, подаваемое из блока управления на сервомотор жалюзи.

Таким образом, уравнение (1) можно записать в виде:

$$T_{\text{ож}} = f(t_v, t_{w1}, t_{w2}, t_{\text{окр}}, n, V_1, V_2, V_3, V_4),$$

которое является целевой функцией.

Теперь рассмотрим основные граничные состояния элементов системы охлаждения:

– при $T_0 \leq T_{\text{ож}} \leq T_{\text{т}}$, тогда

$$\begin{bmatrix} V_1 = \left[V_0 + \left(\frac{T_{\text{ожа}} - T_{\text{ож}}}{2} \right) \cdot K_1 \right]; \\ V_2 = 0; \\ V_3 = 0; \\ V_4 = 0 \end{bmatrix};$$

– при $T_{\text{т}} \leq T_{\text{ож}} \leq T_{\text{Вент}}$, тогда

$$\begin{bmatrix} V_1 = \left[V_0 + \left(\frac{T_{\text{ожа}} - T_{\text{ож}}}{2} \right) \cdot K_1 \right]; \\ V_2 = 0; \\ V_3 = \left[\left(\frac{T_{\text{ожа}} - T_{\text{ож}}}{2} \right) \cdot K_3 \right]; \\ V_4 = 0 \end{bmatrix};$$

– при $T_{\text{Вент}} \leq T_{\text{ож}}$ и (или) $n > n_{\text{д}}$, тогда

$$\begin{bmatrix} V_1 = \left[V_0 + \left(\frac{T_{\text{ожа}} - T_{\text{ож}}}{2} \right) \cdot K_1 \right]; \\ V_2 = \left[\left(\frac{T_{\text{ожа}} - T_{\text{ож}}}{2} \right) \cdot K_2 \right]; \\ V_3 = \left[\left(\frac{T_{\text{ожа}} - T_{\text{ож}}}{2} \right) \cdot K_3 \right]; \\ V_4 = \left[\left(\frac{T_{\text{ожа}} - T_{\text{ож}}}{2} \right) \cdot K_4 \right] \end{bmatrix},$$

где V_0 — управляющий сигнал, соответствующий начальной частоте вращения электродвигателя насоса;

T_0 — начальная температура охлаждающей жидкости (в момент запуска двигателя);

$T_{\text{т}}$ — температура охлаждающей жидкости, необходимая для начала открытия термостата;

$T_{\text{Вент}}$ — температура охлаждающей жидкости, необходимая для начала открытия жалюзи и включения электродвигателя вентилятора;

$T_{\text{ожа}}$ — оптимальная температура охлаждающей жидкости;

$n_{\text{д}}$ — предельная скорость вращения вала двигателя с точки зрения охлаждения;

K_1 — коэффициент регулирования электродвигателя водяного насоса;

K_2 — коэффициент регулирования электродвигателя вентилятора;

K_3 — коэффициент регулирования сервомотора термостата;

K_4 — коэффициент регулирования сервомотора жалюзи.

Теперь определим значения управляющих сигналов элементами системы охлаждения дизельного двигателя танка.

Скорость вращения водяного насоса можно представить в виде формулы

$$\omega_n = \frac{\omega_r}{\eta_l}, \quad (3)$$

где $\omega_r = \frac{G_{вн}}{r_k}$ — скорость жидкости в каналах жидкостного контура;

r_k — площадь поперечного сечения канала;

η_l — коэффициент полезного действия насоса, который зависит от сопротивления насоса инерции и типа материала, из которого изготовлены лопасти насоса, пузырьков воздуха внутри охлаждающей жидкости и других факторов, и его значение составляет приблизительно 0,80–0,82.

Условием достаточности производительности водяного насоса с учетом гидравлического сопротивления жидкостного контура системы охлаждения является

$$G_{вн} = \frac{G_{vPPA}(1 + \xi_v)}{\eta_{вн}},$$

где ξ_v — коэффициент гидравлических потерь, принимаемый равным 0,10–0,15;

$\eta_{вн}$ — коэффициент подачи насоса, учитывающий потери в насосе, равный 0,85–0,90.

Количество требуемой для охлаждения двигателя жидкости определяется по формуле

$$G_{vPPA} = \frac{Q_v}{C_{pv} \rho_v \Delta t_v}.$$

Таким образом, уравнение (3) можно записать как

$$\omega_n = \frac{Q_v(1 + \xi_v)}{C_{pv} \cdot \rho_v \cdot \Delta t_v \cdot r_k \cdot \eta_l \cdot \eta_{вн}},$$

что в окончательном виде выглядит как

$$\omega_n = \eta_n \cdot \frac{Q_v}{\Delta t_v}, \quad (4)$$

где Q_v — количество тепла, отводимого охлаждающей жидкостью;

Δt_v — разница в температуре охлаждающей жидкости между входом и выходом двигателя;

η_n — постоянная жидкостного контура.

$$\eta_n = \frac{(1 + \xi_v)}{C_{pv} \cdot \rho_v \cdot r_k \cdot \eta_l \cdot \eta_{вн}}.$$

Постоянная жидкостного контура связана с несколькими факторами, например с типом используемой жидкости, эффективностью водяного насоса, электродвигателя насоса и площадью поперечного сечения жидкостного контура.

С помощью уравнения (4) мы находим, что частота вращения насоса прямо пропорциональна количеству тепла, которое должно быть удалено из двигателя, и следовательно, чем большее количество тепла должно быть удалено, тем больше частота вращения насоса должна быть увеличена, а требуемая скорость насоса связана с разницей температур охлаждающей жидкости между входом и выходом двигателя. Расход жидкости должен быть согласован и со скоростью ее движения в каналах основных точек теплообмена.

Как отмечалось ранее, скорость течения жидкости в каналах должна обеспечивать эффективный отвод теплоты от более нагретых элементов двигателя и задаваться при разработке системы. Значение этой скорости определяется уравнением (4). Оно учитывает производительность водяного насоса, которая принимается с учетом отводимого количества теплоты от двигателя. В случае если поперечное сечение каналов в блоке и головке задано и неизменно, расход жидкости подлежит изменению с целью обеспечения оптимального значения скорости жидкости и эффективности притока теплоты в жидкость или ее оттока через поверхность охлаждения трубок радиатора [4].

Составим систему уравнений для охлаждающей жидкости при переходе из установившегося стационарного к нестационарному температурному режиму в виде:

$$Q_v = C_{pv} G_v (T_{ож} - T_v). \quad (5)$$

Уравнение (5) определяет количество теплоты, отводимое жидкостью, при стационарном установившемся температурном режиме системы и условии обеспечения заданного значения температуры охлаждающей жидкости. При воздействии внешних факторов температура охлаждающей жидкости изменяется, температурный режим переходит в нестационарный. Предположим, что восстановление температурного режима системы осуществляется путем изменения

расхода жидкости на δG_v . В этом случае количество теплоты, отводимое жидкостью, будет иметь вид:

$$Q'_v = C_{pv} (G_v \mp \delta G_v [(T_{ож} \mp \delta T_v) - T_v]). \quad (6)$$

В данном случае температура жидкости на выходе из двигателя переменна и является функцией расхода жидкости. Уравнение состояния описывает контур после воздействия возмущающих факторов и при регулировании системы путем изменения расхода охлаждающей жидкости, представленный уравнением (6), в котором знак (+) имеет место при увеличении и знак (–) — при уменьшении расхода жидкости. Поскольку ограничительным условием является то, что $Q'_v = Q_v$, уравнения (5) и (6) приравняем и запишем в виде:

$$G_v (T_{ож} - T_v) = C_{pv} (G_v \mp \delta G_v [(T_{ож} \mp \delta T_v) - T_v]).$$

Переменным параметром при изменении расхода жидкости в этом случае будет температура жидкости на выходе из двигателя. При увеличении расхода жидкости температура жидкости на выходе из двигателя будет уменьшаться $T_{ожа} < T_{ож}$ и $\delta T_{ож} = T_{ож} - T_{ожа}$, при уменьшении расхода жидкости — увеличиваться $T_{ожа} > T_{ож}$ и $\delta T_{ож} = T_{ожа} - T_{ож}$. Изменение температуры жидкости на выходе из двигателя при изменении расхода будет определяться по формуле

$$\delta T_{ож} = \frac{\Delta T_{ож}}{\frac{1}{K_n} \mp 1},$$

где $K_n = \frac{\delta G_v}{G_v}$ относительное изменение расхода жидкости. Тогда температура жидкости на выходе из двигателя при изменении ее расхода будет определяться по уравнению

$$T_{ож} = T_v + \frac{\Delta T_v}{\frac{1}{K_n} \mp 1}.$$

Если $T_v \neq \text{const}$, перепад температуры жидкости переменный, что приведет к изменению теплопередачи охлаждающей жидкостью. В этом случае теплопередача от ох-

лаждающей жидкости будет определяться по уравнению

$$Q'_v = C_{pv} G_v \frac{T'_v - T_v}{1 - \frac{1}{1 \mp K_n}}. \quad (7)$$

Приведенные аналитические исследования, предлагаемые формулы позволяют рассматривать процессы теплопередачи и влияние на них внутренних и внешних факторов в динамике путем построения графических зависимостей исследуемых функций. Расчетные аналитические исследования функции $Q_v = f(G_v)$ проведем на примере системы охлаждения с дизелем типа В-2.

Количество теплоты, поступающее в жидкость системы охлаждения, описывается уравнением (7). Отводимое жидкостью количество теплоты не остается постоянным. Графики функций $Q_v = f(G_v)$, представленные на рис. 1 и 2, рассчитаны для расхода жидкости от 0,8 до 3,2 кг/с.

Функция $T_{ож} = f(K_n)$ является регулировочной характеристикой расхода жидкости в зависимости от температуры ее на выходе из двигателя, рис. 3.

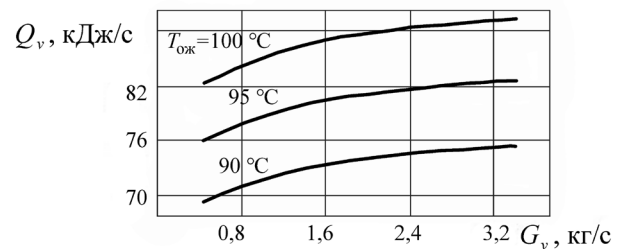


Рис. 1. Зависимость количества тепла от расхода жидкости при изменении температуры охлаждающей жидкости

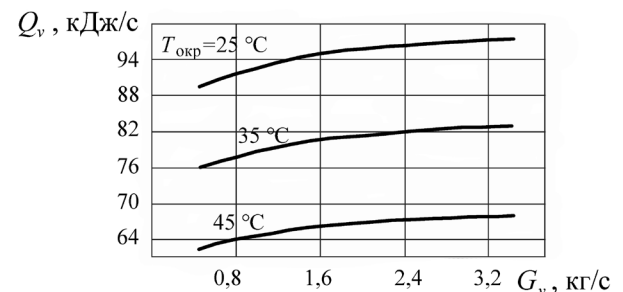


Рис. 2. Зависимость количества тепла от расхода жидкости при изменении температуры окружающего воздуха

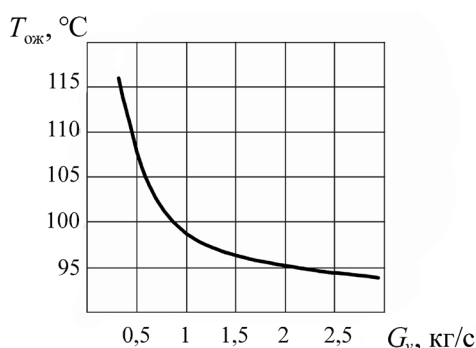


Рис. 3. Зависимость температуры охлаждающей жидкости на выходе из двигателя от расхода жидкости

Воздух является теплоносителем жидкостной системы охлаждения, который воспринимает теплоту от радиатора и рассеивает ее в окружающей среде. Процессы теплообмена и отвода теплоты воздухом осуществляются в воздушном тракте [5].

Расход воздуха, требуемый для отвода от радиатора заданного количества теплоты Q_F , определяется по формуле

$$G_{wPPA} = \frac{Q_{FPP}}{C_{pw} \cdot \rho_w \cdot \Delta T_w}.$$

Расход воздуха, как и охлаждающей жидкости, систем охлаждения танка является функцией процессов, происходящих в системе охлаждения, и зависит от количества отводимой жидкости от цилиндров двигателя теплоты $Q_F = Q_v$. Действительный расход воздуха системы определяется производительностью вентилятора. Условием достаточности производительности вентилятора с учетом потерь на преодоление аэродинамического сопротивления воздушного тракта является:

$$G_B = G_{wPP}(1 + \xi_w),$$

где ξ_w — суммарный коэффициент аэродинамических сопротивлений, принимаемый равным 0,15–0,20.

Обеспечение заданного температурного режима системы охлаждения, а соответственно, теплового состояния двигателя возможно при равенстве баланса теплоты, поступающей в охлаждающую жидкость, и рассеиваемой потоком воздуха через поверхность охлаждения радиатора. Это

возможно также при условии способности промежуточной среды — поверхности охлаждения радиатора — воспринять и передать потоку воздуха это количество теплоты, или $Q_w = Q_F = Q_v$.

Переменное значение температуры жидкости на входе в радиатор требует разного количества воздуха для отвода теплоты. Зависимость теплоемкости воздуха от температуры также влияет на количество воздуха, требуемого для отвода теплоты. Наиболее эффективным способом регулирования температурного режима системы охлаждения является изменение массового расхода воздуха через радиатор в зависимости от режима работы двигателя, окружающей температуры.

Изменения режимов работы двигателя, разные климатические условия, внешние факторы, влияющие на работу системы охлаждения, не позволяют однозначно определить оптимальный расход воздуха.

Коэффициент использования потока воздуха [6] должен быть выбран таким образом, чтобы обеспечить температурный режим системы охлаждения в разных условиях окружающей среды и при разных режимах работы двигателя. Эффективность системы охлаждения при минимальных нагрузочных режимах и низких температурах окружающей среды, когда требуется минимальный расход воздуха, должна обеспечиваться техническими средствами регулирования потока воздуха. Максимальный расход воздуха требует повышенных энергетических затрат; коэффициент использования потока воздуха также снижается, что приводит к уменьшению КПД теплового контура системы охлаждения [8]. Рассмотрим влияние расхода воздуха на работу и обеспечение заданного температурного режима системы охлаждения. Минимальный расход воздуха будет иметь место в случае, когда температура воздуха на выходе из радиатора будет равна температуре охлаждающей жидкости так же на выходе из радиатора $T_w = T_v$.

Количество тепла, отводимого радиатором воздухом, можно записать

$$Q_w = C_{pw} G_w (T_w - T_{окр}), \quad (8)$$

где Q_w — количество теплоты, отводимое потоком воздуха, при регулировании системы путем изменения расхода воздуха;

$T_{\text{окр}}, T_w$ — температура воздуха на входе и выходе радиатора;

$C_{\rho w}$ — теплоемкость воздуха;

G_w — массовый расход воздуха.

Уравнение (8) определяет количество теплоты, отводимое потоком воздуха, при стационарном установившемся температурном режиме системы и условия обеспечения заданного значения температуры охлаждающей жидкости. При воздействии внешних факторов температура охлаждающей жидкости изменяется, температурный режим неустановившийся, нестационарный. Предположим, что приведение температурного режима системы в стационарный осуществляется путем изменения расхода воздуха. В этом случае количество теплоты, отводимое потоком воздуха от радиатора, будет иметь вид, представленный уравнением

$$Q_w = C_{\rho w} (G_w \mp \delta G_w) (T'_w - T_{\text{окр}}), \quad (9)$$

в котором знак (+) имеет место при увеличении и знак (–) — при уменьшении расхода воздуха.

Примем условие, что $Q_F = Q_w$ и $T_w = \text{const}$, уравнения (8) и (9) приравняем и запишем в виде равенства:

$$C_{\rho w} G_w (T_w - T_{\text{окр}}) = C_{\rho w} (G_w \mp \delta G_w) (T'_w - T_{\text{окр}}),$$

где T'_w — температура воздуха на выходе из радиатора при регулировании системы.

Переменным параметром при изменении расхода воздуха в этом случае будет температура воздуха на выходе из радиатора. При увеличении расхода воздуха температура воздуха на выходе из радиатора будет уменьшаться $T'_w < T_w$ и $\delta T'_w = T_w - T'_w$, при уменьшении расхода воздуха — увеличиваться $T'_w > T_w$ и $\delta T'_w = T'_w - T_w$. Решив совместно уравнения (19) и (20), получим уравнения изменения температуры воздуха на выходе из радиатора. Формула для стабилизации температуры воздуха на выходе из радиатора будет иметь вид:

$$\delta T_w = \frac{\Delta T_w}{\frac{1}{K_w} \mp 1},$$

где $K_w = \frac{\delta G_w}{G_w}$ — относительное изменение расхода воздуха.

Тогда при изменении расхода воздуха температура его на выходе из радиатора будет определяться по уравнению

$$T'_w = T_w \mp \frac{\Delta T_w}{\frac{1}{K_w} \mp 1}.$$

Верхние знаки принимаются при увеличении и нижние — при уменьшении расхода воздуха. Функция $T'_w = f(K_w)$ является регулировочной характеристикой расхода воздуха в зависимости от температуры ее на выходе из радиатора.

Зависимость между относительным изменением расхода воздуха и температурой T_w будет определяться формулой

$$\frac{\delta G_w}{G_w} = \frac{1}{\frac{\Delta T_w}{\delta T_w} \mp 1}. \quad (10)$$

Зависимость относительного изменения расхода воздуха от температуры имеет вид

$$\frac{\delta G_w}{\delta T_w} = \frac{G'_w}{\Delta T_w}. \quad (11)$$

При выходе системы из устойчивого стационарного состояния изменяется перепад температуры воздуха, в этом случае

$$\Delta T'_w = \Delta T_w \left[1 \mp \frac{1}{\frac{1}{K_w} \mp 1} \right].$$

Если $T_{\text{окр}} \neq \text{const}$, перепад температуры воздуха будет переменный, что приведет к изменению теплопередачи потока воздуха. В этом случае теплопередача от радиатора к потоку воздуха будет определяться по уравнению

$$Q'_w = C_{\rho w} G_w \left[\frac{T'_{\text{окр}} - T_{\text{окр}}}{1 - \frac{1}{1 \mp K_w}} \right]. \quad (12)$$

Средняя температура потока воздуха при переменном значении его расхода будет равна:

$$\overline{T'_w} = \overline{T_w} \mp \frac{\delta T_w}{2}.$$

Температура охлаждающей жидкости при переменном расходе воздуха не остается постоянной, функциональная зависимость $T_j = f\left(\frac{\delta G_w}{G_w}\right)$ имеет следующий вид на выходе из двигателя:

$$T_{ожа} = T_{ож} \mp \frac{\frac{T_w}{2}}{\frac{1}{K_w} \mp 1};$$

на выходе из радиатора и входе в двигатель:

$$T'_v = T_v \mp \frac{\frac{T_{окр}}{2}}{\frac{1}{K_w} \mp 1}.$$

Зависимость температуры воздуха на выходе из радиатора от количества теплоты показана на рис. 4.

Функциональные зависимости перепада и температуры воздуха на выходе из радиатора, рассчитанные по приведенным формулам (10) и (11), имеют параболический характер (рис. 5), с увеличением расхода температурные показатели уменьшаются.

Из графика на рис. 6 следует, что характер изменения температуры охлаждающей жидкости в зависимости от расхода воздуха не одинаков. При увеличении расхода воздуха интенсивность влияния его на температуру охлаждающей жидкости уменьшается.

Температура охлаждающей жидкости находится в зависимости от расхода воздуха, график функциональной зависимости (рис. 6) указывает на интенсивное изменение показателя температуры при уменьшении расхода от номинального значения и менее интенсивное изменение температуры при увеличении расхода воздуха.

Теперь исследуем влияние действия термостата на температуру охлаждающей жидкости.

Для поддержания оптимальной температуры, необходимой для работы двигателя в различных условиях и его рабочих систем, обеспечивающих минимально возможный расход топлива, необходимо поддерживать оптимальную

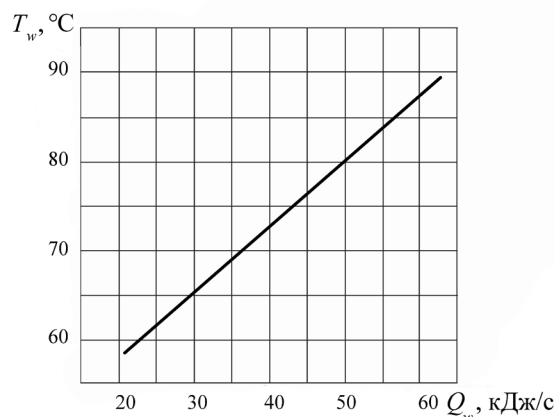


Рис. 4. Зависимость температуры воздуха на выходе из радиатора от количества теплоты

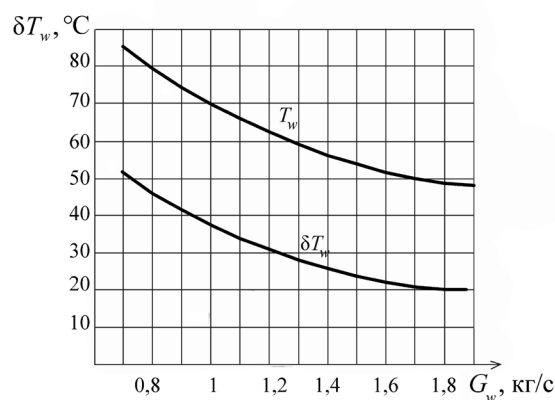


Рис. 5. Зависимость температуры воздуха на выходе из радиатора от расхода воздуха

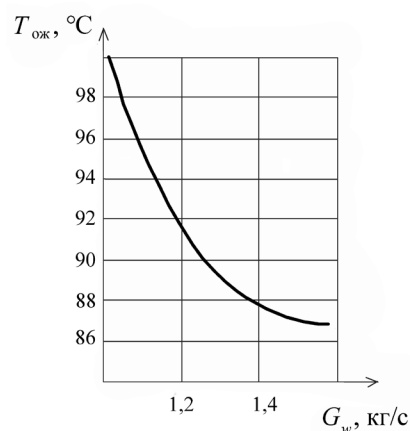


Рис. 6. Зависимость температуры охлаждающей жидкости от расхода воздуха через радиатор двигателя типа В-2

температуру охлаждающей жидкости. Следовательно, можем предложить метод управления системой охлаждения двигателя танка путем управления его элементами, то есть управления водяным насосом, вентилятором и термостатом. Здесь нужно учитывать, что механический термостат, используемый в настоящее время в системе охлаждения двигателя танка, не отвечает необходимым требованиям управления из-за инерционных свойств воскообразных материалов и металлических сплавов с одной стороны, и из-за медленного отклика на команды управления и его несовместимости с электронными схемами управления — с другой, поэтому предлагаем использовать электронный термостат (терморегулятор), отвечающий требованиям управления. В предлагаемой математической модели используется электронный терморегулятор, управление которым осуществляется путем изменения угла наклона серводвигателя, при этом отношение угла раскрытия терморегулятора к управляющему сигналу можно записать в общем виде:

$$\theta_{\text{ст}} = f(V_3), \quad (13)$$

где V_3 — напряжение, подаваемое из блока управления на сервомотор термостата.

Сигнал управления термостатом зависит от температуры охлаждающей жидкости и от скорости вращения навесного оборудования двигателя, поэтому уравнение (13) можно записать в виде формулы

$$\theta_{\text{ст}} = f(T_{\text{ож}}, n).$$

Выделим здесь следующие случаи:

1) $T_{\text{ож}} \leq T_{\text{т1}}$ и $n < n_{\text{т}}$ при этом $\theta_{\text{ст}} = 0^\circ$ и термостат закрыт, $K_{\text{т}} = 0$;

2) $T_{\text{ож}} \geq T_{\text{т1}}$ и (или) $n \geq n_{\text{т}}$ при этом $\theta_{\text{ст}} = 90^\circ$ и термостат открыт, $K_{\text{т}} = 1$;

3) $T_{\text{т1}} \leq T_{\text{ож}} \leq T_{\text{т2}}$ при этом $0^\circ \leq \theta_{\text{ст}} \leq 90^\circ$ и термостат начинает открываться под углом, соизмеримым с управляющим сигналом, $0 \leq K_{\text{т}} \leq 1$;

где $T_{\text{т1}}$ — температура открытия термостата;
 $T_{\text{т2}}$ — температура полного открытия термостата;

$\Delta T_{\text{т}} = T_{\text{т2}} - T_{\text{т1}}$ — это область управления термостатом. Чтобы избежать чрезмерно быстрого и многократного открытия (закрытия) термостата, с резким смешиванием охлаждающей

жидкости, поступающей из радиатора, с охлаждающей жидкостью, выходящей из двигателя, и последующего резкого снижения температуры охлаждающей жидкости, что в свою очередь влияет на работу термостата в частности и на работу системы охлаждения в целом, допустимое значение управляющего домена должно быть в пределах $5-10^\circ\text{C}$;

$K_{\text{т}}$ — коэффициент регулирования термостата.

Таким образом, уравнение количества тепла, рассеиваемого двигателем, может быть записано в зависимости от работы термостата в виде:

$$Q_{\text{д}} = Q'_{\text{в}} + K_{\text{т}} Q'_{\text{в}}.$$

Подстановка из уравнений (7) и (12).

$$\begin{aligned} C_{\rho\text{в}} G_{\text{в}} (T_{\text{ожа}} - T_{\text{ож}}) = \\ = C_{\rho\text{в}} G_{\text{в}} \left[\frac{T'_{\text{в}} - T_{\text{в}}}{1 - \frac{1}{1 \mp K_{\text{н}}}} \right] + K_{\text{т}} C_{\rho\text{в}} G_{\text{в}} \left[\frac{T'_{\text{окр}} - T_{\text{окр}}}{1 - \frac{1}{1 \mp K_{\text{в}}}} \right]; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{\text{ожа}} = T_{\text{ож}} \mp \\ \mp \left(\frac{T'_{\text{в}} - T_{\text{в}}}{1 - \frac{1}{1 \mp K_{\text{н}}}} + K_{\text{т}} \frac{C_{\rho\text{в}} G_{\text{в}}}{C_{\rho\text{в}} G_{\text{в}}} \left[\frac{T'_{\text{окр}} - T_{\text{окр}}}{1 - \frac{1}{1 \mp K_{\text{в}}}} \right] \right), \end{aligned}$$

где $T_{\text{ожа}}$ — оптимальная температура охлаждающей жидкости.

Выделим следующие случаи.

1. Термостат закрыт, тогда $K_{\text{т}} = 0$,

$$T_{\text{ожа}} = T_{\text{ож}} \mp \left[\frac{T'_{\text{в}} - T_{\text{в}}}{1 - \frac{1}{1 \mp K_{\text{н}}}} \right].$$

Оптимальная температура охлаждающей жидкости зависит от температуры охлаждающей жидкости на входе в двигатель, расхода охлаждающей жидкости.

2. Термостат открыт, тогда $K_{\text{т}} = 1$,

$$\begin{aligned} T_{\text{ожа}} = T_{\text{ож}} \mp \\ \mp \left(\frac{T'_{\text{в}} - T_{\text{в}}}{1 - \frac{1}{1 \mp K_{\text{н}}}} + \frac{C_{\rho\text{в}} G_{\text{в}}}{C_{\rho\text{в}} G_{\text{в}}} \left[\frac{T'_{\text{окр}} - T_{\text{окр}}}{1 - \frac{1}{1 \mp K_{\text{в}}}} \right] \right). \end{aligned}$$

Оптимальная температура охлаждающей жидкости зависит от температуры охлаждающей жидкости на входе в двигатель, расхода охлаждающей жидкости, и расхода воздуха и его температуры.

3. Промежуточное положение клапана термостата, в соответствии с управляющим сигналом, $0 \leq K_t \leq 1$, тогда,

$$T_{ожа} = T_{ож} \mp \left(\left[\frac{T'_v - T_v}{1 - \frac{1}{1 \mp K_n}} \right] + \frac{C_{pw} G_w}{C_{pv} G_v} \left[\frac{T'_{окр} - T_{окр}}{1 - \frac{1}{1 \mp K_w}} \right] \right),$$

где K_n — коэффициент регулирования водяного насоса;

K_w — коэффициент регулирования вентилятора;

K_t — коэффициент регулирования термостата.

Оптимальная температура охлаждающей жидкости зависит от угла поворота термостата.

$$T_{ожа} = T_{ож} \mp K_{ож};$$

$$K_{ож} = \left(\left[\frac{T'_v - T_v}{1 - \frac{1}{1 \mp K_n}} \right] + K_t \frac{C_{pw} G_w}{C_{pv} G_v} \left[\frac{T'_{окр} - T_{окр}}{1 - \frac{1}{1 \mp K_w}} \right] \right),$$

где $K_{ож}$ — коэффициент регулирования системы охлаждения двигателя.

Таким образом, коэффициент регулирования системы охлаждения двигателя в соответствии с разработанной математической зависимостью зависит от температуры охлаждающей жидкости, которая зависит от теплового состояния двигателя — режима работы двигателя (обороты коленчатого вала и нагрузка на двигатель), температуры окружающего воздуха и т.д.

Управление тепловым состоянием двигателя может осуществляться с помощью трех основных параметров: контроль и регулирование скорости потока охлаждающей жидкости путем управления скоростью водяного насоса, контроль и регулирование скорости воздушного потока путем контроля скорости вентилятора,

контроль и регулирование количества охлаждающей жидкости, проходящей через радиатор, путем контроля положения клапана электронного термостата.

Выводы

Применение разработанной математической модели двигателя с адаптивной системой управления тепловым состоянием позволило сделать следующие заключения.

1. Температура охлаждающей жидкости на выходе из двигателя повышается за счет снижения скорости расхода охлаждающей жидкости, таким образом управление скоростью расхода жидкости путем регулирования частоты вращения водяного насоса позволяет ускорить процесс прогрева двигателя.

2. Температура охлаждающей жидкости на выходе из двигателя снижается с увеличением расхода охлаждающей жидкости, поэтому увеличение частоты вращения водяного насоса приводит к снижению температуры двигателя.

3. Снижению температуры двигателя способствует увеличение расхода воздуха за счет увеличения оборотов вентилятора, в том числе с учетом температуры окружающего воздуха.

4. Закрытие термостата на этапе прогрева двигателя ускоряет процесс прогрева, при этом путем управления положением клапана термостата можно регулировать процесс охлаждения двигателя на более жестких режимах его работы, увеличивая (понижая) количество охлаждающей жидкости, проходящей через радиатор.

5. Процесс контроля и обеспечения оптимальной температуры охлаждающей жидкости может быть осуществлен управлением тремя основными факторами: 1) контроль и регулирование расхода охлаждающей жидкости, контролируя скорость водяного насоса; 2) контроль и регулирование количества жидкости, которая будет проходить через радиатор, обеспечивая положение клапана термостата; 3) контроль и регулирование расхода охлаждающего воздуха, контролируя скорость вращения вентилятора.

Список источников

1. Иванов В.В., Тибогаров А.А., Козлов А.А., Агафонов Д.С. Влияние теплового состояния

силовой установки на подвижность военной гусеничной машины / В сборнике: Транспортные средства специального назначения: разработка, производство и модернизация // Материалы VI межведомственной научно-практической конференции. Омск, 2022. С. 131–138.

2. Экспериментальное определение топливно-экономических показателей танковых силовых установок с дизельным двигателем регулированием теплового состояния: Отчет о НИР. ШИФР «Теплоотдача-О-21». Омск: ОАБИИ, 2021. 101 с.

3. Проговоров А.П. Математическая модель для определения основных показателей газодизельной модификации двигателей объектов вооружения и военной техники // Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России. 2023. № 2. С. 57–62.

4. Гармаш Ю.В., Пономарева И.И., Сарбаев В.И. Структура управляющей системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания // Мир транспорта и технологических машин. 2023. № 3–3 (82). С. 31–37.

5. Подколзин П.С. Оценка эффективности системы охлаждения малоразмерных дизелей в условиях высоких температур окружающей среды // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2022. № 6. С. 122–127.

6. Шабалин Д.В., Иванов В.В. Теоретические предпосылки улучшения топливной экономичности танковых силовых установок с двигателями типа В-2 // Наука и военная безопасность. 2018. № 3 (14). С. 29–34.

7. ГОСТ РВ 51218–98. Дизели военных гусеничных машин. Общие технические требования. М.: Госстандарт России, 1998. 21 с.

8. Robert W. Page Thermal Management for the 21st Century — Improved Thermal Control & Fuel Economy in an Army Medium Tactical Vehicle // SAE Technical Paper Series. 2005. 2005-01-2068. 8. Pp. 32.

References

1. Ivanov V.V., Tibogarov A.A., Kozlov A.A., Agafonov D.S. The influence of the thermal state of a power plant on the mobility of a military tracked vehicle / In the collection: Special purpose vehicles: development, production and modernization // Materials of the VI Interdepartmental Scientific and practical Conference. Omsk, 2022. Pp. 131–138.

2. Experimental determination of fuel and economic indicators of tank power plants with a diesel engine by regulating the thermal condition: Research report. CIPHER «Heat transfer-O-21». Omsk: OABII, 2021. 101 p.

3. Progovorov A.P. A mathematical model for determining the main indicators of gas-diesel engine modification of weapons and military equipment facilities // Scientific Bulletin of the military-industrial complex of Russia. 2023. No 2. Pp. 57–62.

4. Garmash Yu.V., Ponomareva I.I., Sarbaev V.I. The structure of the control cooling system of the internal combustion engine // The world of transport and technological machines. 2023. No 3–3 (82). Pp. 31–37.

5. Podkolzin P.S. Evaluation of the efficiency of the cooling system of small-sized diesel engines at high ambient temperatures // Proceedings of the Tula State University of Technical Sciences. 2022. No 6. Pp. 122–127.

6. Shabalin D.V., Ivanov V.V. Theoretical prerequisites for improving the fuel efficiency of tank power plants with V-2 type engines // Science and Military Security. 2018. No 3 (14). Pp. 29–34.

7. GOST RV 51218–98. Diesels of military tracked vehicles. General technical requirements. Moscow: Gosstandart of Russia, 1998. 21 p.

8. Robert W. Page Thermal Management for the 21st Century — Improved Thermal Control & Fuel Economy in an Army Medium Tactical Vehicle // SAE Technical Paper Series. 2005. 2005-01-2068. 8. Pp. 32.

УДК 520.2.8

doi: 10.53816/23061456_2025_7–8_55

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗВЕЗДНЫХ ПОЛЕЙ В ЗАДАЧАХ СИНТЕЗА БОРТОВЫХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

MODELING OF STAR FIELDS IN PROBLEMS OF SYNTHESIS OF ON-BOARD OPTICAL-ELECTRONIC SYSTEMS

Канд. техн. наук А.К. Ключкин, А.В. Гаврилова, А.И. Ковтун

Ph.D. A.K. Klyuchkin, A.V. Gavrilova, A.I. Kovtun

Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского

Статья рассматривает проблемы формирования моделей элементов фоноцелевой обстановки и их причины. Для заданных параметров оптико-электронной системы выведено выражение, позволяющее с помощью стандартного датчика равномерной случайной величины создавать выборки звезд, где распределение яркости соответствует реальным данным. Предложен метод моделирования некаталогизированного звездного фона («метод черпака»), основанный на равномерности распределения звезд в пространстве. Получено выражение для общего числа звезд в сфере заданного радиуса. Выражение учитывает неравномерность распределения звезд в Галактике. Математический анализ дал оптимальные выборки, отражающие реальное распределение звезд по блеску в поле зрения системы. При заданных допущениях уравнения звездной статистики получено выражение для общего числа звезд в сферической области пространства некоторого радиуса.

Ключевые слова: фоноцелевая обстановка, оптико-электронная система, синтез, звездная величина, блеск, поле зрения.

The article addresses the challenges of modeling elements of the background-target environment and their causes. For given parameters of an electro-optical system, an expression is derived that enables the creation of star samples using a standard uniform random variable sensor, where the brightness distribution aligns with actual astronomical data. A method for modeling uncataloged stellar background («scoop method») based on the assumption of uniform star distribution in space is proposed. An expression for the total number of stars within a spherical region of a certain radius is obtained. This expression accounts for the non-uniform distribution of stars in the Galaxy. Mathematical analysis provided optimal samples reflecting the actual distribution of stars by brightness within the system's field of view. Under the given assumptions of stellar statistics equations, an expression for the total number of stars in a spherical region of space of a certain radius is derived.

Keywords: background target environment, optical-electronic system, synthesis, magnitude, brightness, field of view.

Одной из важных проблем, возникающих при формировании моделей различных элементов фоноцелевой обстановки, является мо-

делирование звездного фона. Это обусловлено в большинстве случаев отсутствием или неполнотой информации о распределении звезд по их

блеску в поле зрения оптико-электронных систем (ОЭС) [1, 2] и в особенности относится к некаталогизированной составляющей звездного фона, при моделировании которой требуется привлечение методов звездной статистики, таких как [3, 4]:

– метод тригонометрических параллаксов (основан на наблюдении изменения положения звезды относительно более далеких объектов при наблюдении с разных точек орбиты Земли — расстояние вычисляется по формуле, где параллакс выражен в угловых секундах);

– метод цефеид (использует пульсирующие переменные звезды, которые имеют прямую связь между периодом переменности и абсолютной светимостью — измеряя период изменения яркости цефеиды, определяют ее абсолютную светимость, а затем вычисляют расстояние до звезды);

– метод стандартных свечей (основан на сравнении видимой звездной величины исследуемой звезды с известной абсолютной звездной величиной — в качестве стандартных свечей выступают объекты с известной светимостью, например сверхновые звезды I_a типа);

– метод пространственного распределения астрономических объектов, звездных скоплений и явлений по возрастам и временам жизни (выделяют два основных типа звездных скоплений, которые отличаются пространственной структурой, — шаровые скопления и рассеянные скопления);

– метод наибольшего правдоподобия;

– учет эффектов наблюдательной селекции;

– выделение членов скоплений по собственным движениям и лучевым скоростям.

Зададим следующие параметры ОЭС:

$D_{\text{вх}}$ — диаметр входного зрачка оптической системы ОЭС;

$\Phi_{\text{п}}$ — пороговый поток приемника оптического излучения;

2β — угловое поле зрения ОЭС.

Для обнаружения звезды в поле зрения оптической системы необходимо, чтобы оптический поток Φ от звезды превышал некоторый порог $\Phi_0 = \mu \cdot \Phi_{\text{п}}$, где μ — требуемое отношение сигнал/шум.

По формуле Погсона, которая связывает звездные величины небесных светил и создаваемые ими освещенности, потоку Φ_0 соответствует звездная величина m_0 [5]:

$$m_0 = -14,01 - 2,5 \lg \left[\frac{4\Phi_0}{\pi D_{\text{вх}}^2 \cdot 1,46 \cdot 10^{-3}} \right]. \quad (1)$$

Коэффициент зависимости $(-2,5)$ в формуле (1) выбран так, чтобы разности звездных величин, равной 5 (такова в среднем разность между самыми яркими и самыми слабыми видимыми невооруженным глазом звездами), соответствовало изменение освещенности в 100 раз.

Считается, что видимая звездная величина Веги приблизительно равняется нулю. От видимой звездной величины Веги отмеряются видимые звездные величины всех остальных объектов, как в положительную сторону (более тусклые), так и в отрицательную (более яркие).

Требуется определить преобразование $\hat{m} = f(\hat{R})$ стандартной размерной случайной величины $\hat{R} \in (0,1]$, позволяющее получить в поле зрения ОЭС 2β -выборку из $N(2\beta, m_0)$ звезд, блеск которых превышает m_0 . Причем распределение звезд в зависимости от их блеска должно удовлетворять реальным астрономическим данным.

Для решения данной задачи воспользуемся методом «черпака», суть которого заключается в допущении о равномерности распределения звезд в пространстве. Абсолютная звездная величина, характеризующая блеск астрономического объекта для наблюдателя, находящегося на некотором стандартном расстоянии от объекта, принимается одинаковой ($M_0 = \text{const}$).

Применительно к данному методу отношение числа звезд в некотором элементарном объеме к величине этого объема (или концентрация звезд n_0) есть также величина постоянная.

Запишем уравнение звездной статистики для звезд, обладающих сходными физическими характеристиками, и различные статистические зависимости между характеристиками звезд (уравнение Шварцшильда — формула, с помощью которой можно рассчитать интенсивность любого потока электромагнитной энергии после прохождения через нерассеивающую среду, когда все переменные фиксированы, при условии, что мы знаем температуру, давление и состав среды) в виде [6, 7]:

$$N(\omega, m_0) = \omega \int_{-\infty}^{m_0} \int_0^{r_0} n(r) \phi(M) r^2 dr dm, \quad (2)$$

где ω — телесный угол (часть пространства, которая является объединением всех лучей, выходящих из данной точки и пересекающих некоторую поверхность);

$n(r)$ — функция звездной плотности (это количество звезд, находящихся в единице объема пространства в данном направлении на расстоянии r);

$\varphi(M)$ — функция распределения звезд по их абсолютным звездным величинам — функция светимости (данная функция определяет количество (долю) звезд в единичном интервале абсолютных звездных величин).

При заданных допущениях

$$[n(r) = n_0, \varphi(M) = 1]$$

из уравнения (2) следует очевидное выражение для общего числа звезд в сферической области пространства радиусом r_0 :

$$N(2\pi, r_0) = \frac{4}{3} n_0 \pi r_0^3. \quad (3)$$

Тогда максимальная звездная величина звезды (соответствующая наиболее тусклым видимым объектам), доступная наблюдениям невооруженным глазом или с использованием того или иного оптического инструмента, составит [8, 9]

$$m(r_0) = M_0 - 5 + 5 \lg r_0. \quad (4)$$

Таким образом, решив уравнение (4) относительно r_0 и подставив его в выражение (3), получим число звезд, блеск которых превышает m_0 , на всей небесной сфере

$$N(2\pi, m_0) = \frac{4}{3} n_0 \pi \cdot 10^{C(m_0 - M_0 + 5)}, \quad (5)$$

а также в поле зрения ОЭС 2β

$$N(2\beta, m_0) = \frac{2\pi(1 - \cos \beta)}{3} n_0 \cdot 10^{C(m_0 - M_0 + 5)}, \quad (6)$$

где коэффициент $C = 0,6$.

Для определения искомой функции $f(R)$ воспользуемся теоремой о преобразовании случайной величины [10], из которой следует

$$R = \bar{f}(m) = F_m(m) = \frac{N(2\beta, m)}{N(2\beta, m_0)}, \quad (7)$$

где $F_m(m)$ — функция распределения случайной величины $\hat{m}$;

$\bar{f}(m)$ — функция обратная $f(m)$.

Значит, согласно соотношениям (6) и (7) искомая функция $f(R)$ однозначно может быть определена в виде

$$\hat{m} = f(\hat{R}) = \frac{\lg \hat{R}}{C} + m_0. \quad (8)$$

В уравнении (6) $M_0 = -1,01$, $n_0 = 1,01 \cdot 10^{-3}$; эти значения могут быть уточнены по результатам реальных астрономических наблюдений [1–4].

В силу неравномерности распределения звезд в Галактике (что противоречит исходному постулату рассматриваемого подхода) коэффициент $C = 0,6$ [см. формулы (5), (6), (8)] необходимо выбирать наименьшим.

Наилучший результат анализа соответствия выборок звезд по данным был получен при $C = 0,5$.

Таким образом, на основе полученного преобразования (8) нетрудно сформировать выборку звезд $\hat{m}$ объема $N(2\beta, m_0)$, блеск которых превышает m_0 , отражающую распределение звезд по блеску в поле зрения ОЭС адекватно реальным астрономическим данным.

Список источников

1. Гофман В.Э., Ракчеев Д.П., Толстиков А.С. Оценка вероятности многомерного распознавания изображений // Изв. вузов. Приборостроение. 1991. № 3. С. 68–75.
2. Локтин А.В., Островский А.Б. Методы звездной статистики: учеб. пособие. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2018. 256 с.
3. Кузьмин С.З. Основы теории цифровой обработки радиолокационной информации. М.: Сов. радио, 1974. 432 с.
4. Курош А.Г. Курс высшей алгебры. М.: Наука, 1975. 432 с.
5. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. М.: Наука, 1986. 544 с.
6. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Физматгиз, 1962. 564 с.
7. Ключкин А.К. Решающее правило, обеспечивающее требуемую вероятность выбора

наиболее опасного космического объекта из множества наблюдаемых космическим аппаратом мониторинга околоземного космического пространства. 2023. Вып. 12. С. 29–38.

8. Ключкин А.К., Арсеньев В.Н., Ядренкин А.А. Метод выбора целевого объекта по ограниченным измерениям физически неоднородных признаков // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2021. Том 64. Вып. 10. С. 799–805.

9. Ключкин А.К., Захаров В.Л., Смирнов Д.В. Метод селекции орбитальных объектов по результатам обработки неоднородной измерительной информации // Известия института инженерной физики. Серпухов: Институт инженерной физики, 2022. Вып. 1. С. 90–93.

10. Ключкин А.К., Мацкевич В.И., Слатова Е.В. Методика обеспечения соответствия параметров бортовых оптико-электронных средств заданным требованиям // Авиакосмическое приборостроение. 2023. Вып. 7. С. 3–7.

References

1. Hofman V.E., Rakcheev D.P., Tolstikov A.S. Estimation of Multidimensional Image Recognition Probability // Izv. Vuzov. Priborostroenie. 1991. No 3. Pp. 68–75.

2. Loktin A.V., Ostrovsky A.B. Methods of stellar statistics: textbook. Yekaterinburg: Ural University Press, 2018. 256 p.

3. Kuzmin S.Z. The foundations of the theory of digital processing of radar information. Moscow: Sov. Radio, 1974. 432 p.

4. Kurosh A.G. Course of higher algebra, Moscow: Nauka, 1975. 432 p.

5. Bronstein I.N., Semendyaev K.A. Handbook of Mathematics for engineers for engineers and university students. Moscow: Nauka Publ., 1986, 544 p.

6. Wentzel E.S. Theory of probability. Moscow: Fizmatgiz, 1962. 564 p.

7. Klyuchkin A.K. The decisive rule that ensures the required probability of selecting the most dangerous space object from the set observed by the near-Earth space monitoring spacecraft // Aerospace instrumentation. 2023. Issue 12. Pp. 29–38.

8. Klyuchkin A.K., Arsenyev V.N., Yadrenkin A.A. A method for selecting a target object based on limited measurements of physically heterogeneous features // News of higher educational institutions. Instrument engineering. Saint Petersburg: ITMO University, 2021. Vol. 64. No 10. Pp. 799–805.

9. Klyuchkin A.K., Zakharov V.L., Smirnov D.V. Method of selection of orbital objects based on the results of processing heterogeneous measurement information // Proceedings of the Institute of Engineering Physics. Serpukhov: Institute of Engineering Physics, 2022. Issue 1. Pp. 90–93.

10. Klyuchkin A.K., Matskevich V.I., Slatova E.V. Methodology for Ensuring that the Parameters of Onboard Optical and Electronic Devices Meet the Set Requirements // Aerospace Instrumentation. 2023. Issue 7. Pp. 3–7.

УДК 69.036.7

doi: 10.53816/23061456_2025_7–8_59

**РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ПОДХОД К МОНИТОРИНГУ
НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ОПОР ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ
ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ С УЧЕТОМ ВОЗМОЖНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ
ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

**COMPUTATIONAL AND EXPERIMENTAL APPROACH TO MONITORING
THE LOAD-BEARING STRUCTURES OF OVERHEAD POWER
TRANSMISSION TOWERS, TAKING INTO ACCOUNT POSSIBLE DAMAGE
TO INDIVIDUAL ELEMENTS**

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 предложен расчетно-экспериментальный подход к определению фактического технического состояния опор воздушных линий электропередачи (ВЛЭП). Разработанная с учетом данного подхода методика представляет собой простую последовательность численных расчетов, технических мероприятий по обследованию поврежденных элементов и при необходимости ремонта отдельных элементов конструкции ВЛЭП. Особенность предлагаемой методики заключается в том, что дополнительно учитываются особенности деформирования конструкций опор ВЛЭП при разрушении отдельных элементов, а также эксплуатационные дефекты в конструкциях.

Ключевые слова: воздушные линии электропередачи, техническое состояние конструкции, параметры напряженно-деформированного состояния, частота собственных колебаний, деформация элементов, эксплуатационные дефекты.

Within the framework of this work, a computational and experimental approach to determining the actual technical condition of overhead power transmission poles is proposed. The methodology developed with this approach in mind is a simple sequence of numerical calculations, technical measures to inspect damaged elements and, if necessary, repair individual overhead line structural elements. The peculiarity of the proposed technique is that it additionally takes into account the features of deformation of overhead line support structures during the destruction of individual elements, as well as operational defects in the structures.

Keywords: overhead power transmission lines, technical condition of the structure, stress-strain state parameters, natural oscillation frequency, deformation of elements, operational defects.

Введение

В настоящее время для обеспечения надежного электроснабжения различных объектов широко применяются воздушные линии электропередачи (ВЛЭП). Важная роль при этом отводится непосредственно опорам ВЛЭП, представляющим пространственную металлическую стержневую конструкцию (рис. 1).

В процессе эксплуатации опор ВЛЭП они подвергаются воздействию различных внешних факторов: ветровых нагрузок разной интенсивности и периодичности, температурных и гололедных нагрузок, а также особых нагрузок и воздействий. К таким особым нагрузкам относятся: ударные, сейсмические, взрывные нагрузки, а также воздействия беспилотных летательных аппаратов [1–4].

Все указанные воздействия приводят к образованию повреждений (разрушений), которые резко снижают несущую способность опор ВЛЭП и, как следствие, всей системы электроснабжения.

В настоящее время системы мониторинга применительно к опорам ВЛЭП — это система визуальных и инструментальных наблюдений за техническим состоянием конструкций (СМИС), нацеленная на оперативное установление возможных негативных воздействий и их устранение. СМИС проектируются на базе программно-технических средств, включающих следующие компоненты: комплекс измерительных средств, средств автоматизации и исполнительных механизмов; проводные или беспроводные сети передачи информации; соответствующие программы расчета напряженно-деформированного состояния сооружений [1–6].

Для мониторинга поврежденных опор ВЛЭП используют различные подходы [4–6], которые включают осмотр с воздуха с помощью беспилотных летательных аппаратов. С их помощью проводят верховой осмотр опор ВЛЭП для выявления дефектов, диагностический облет по всей протяженности линии для обнаружения дефектов опор, пролетов и нарушений в охранной зоне, а также топографо-геодезические работы. Важное значение имеет использование систем мониторинга с измерительными блоками. Они распределены вдоль трассы ВЛЭП и связаны через канал связи с оборудованием на диспетчерском пункте. Измерительные блоки монтируют на опорах либо непосредственно на высоковольтных проводах.

Однако данные подходы не учитывают особенности работы отдельных элементов конструкций в условиях возникновения деформаций, превышающих допустимые, но не приводящих их к потере устойчивости (формы). В настоящее время разработаны отдельные методики мониторинга закритического деформирования конструкций, которые учитывают следующие положения.

Энергетический подход механики разрушения. Данный подход используется для оценки устойчивости закритического деформирования, сопровождающегося равновесным ростом и развитием дефектов. Основан на сравнении приращений работы внешних сил и работы деформаций (суммы приращений упругой энергии и работы разрушения) при самопроизвольном приращении закритической деформации.

Экспериментальное изучение закритической стадии деформирования. Для этого применяют испытательные машины, предназначенные



Рис. 1. Виды опор воздушных линий электропередач

для работы в режиме кинематического нагружения и характеризующиеся высокой жесткостью. Это требуется для реализации контролируемой скорости деформирования материала на стадии разупрочнения и обеспечения высокой жесткости, нагружающей системы по отношению к испытываемому образцу.

Математическое моделирование. Позволяет прогнозировать условия разрушения деформируемых тел и анализировать возможности управления этими процессами.

Использование современных технологий. Для диагностики и мониторинга деформированного состояния элементов конструкции применяют, например, видеосистемы регистрации полей перемещений и деформаций, аппаратуру регистрации сигналов акустической эмиссии, тензометрирования, термосканирования и скоростной видеосъемки.

Анализ существующих подходов показывает, что предлагаемые методы мониторинга по отношению опорам ВЛЭП не позволяют в полном объеме оценить параметры поврежденности отдельных элементов и прогнозировать работоспособность несущих конструкций опор в течение различных периодов эксплуатации, в том числе при закритических деформациях.

Для оценки технического состояния отдельных элементов опор ВЛЭП, имеющих повреждение (разрушения), разработан расчетно-экспериментальный подход к проведению мониторинга опор ВЛЭП, заключающийся в сопоставлении анализа инструментальных измерений деформаций и уклонов поврежденных элементов с результатами аналитических или численных расчетов и сравнении их с критическими значениями.

Цель данной работы — повышение эффективности мониторинга эксплуатационного состояния и оценка напряженно-деформированного состояния несущих конструкций ВЛЭП с учетом критических деформаций.

Оценка влияния этих повреждений на напряженно-деформированное состояние и общую устойчивость опор ВЛЭП и динамические характеристики опоры позволит сделать выводы о степени влияния и необходимости учета эксплуатационных дефектов несущих конструкций.

Этапы предлагаемого подхода к проведению мониторинга

Процесс оценки технического состояния металлических опор ВЛЭП с помощью предлагаемого подхода включает пять этапов.

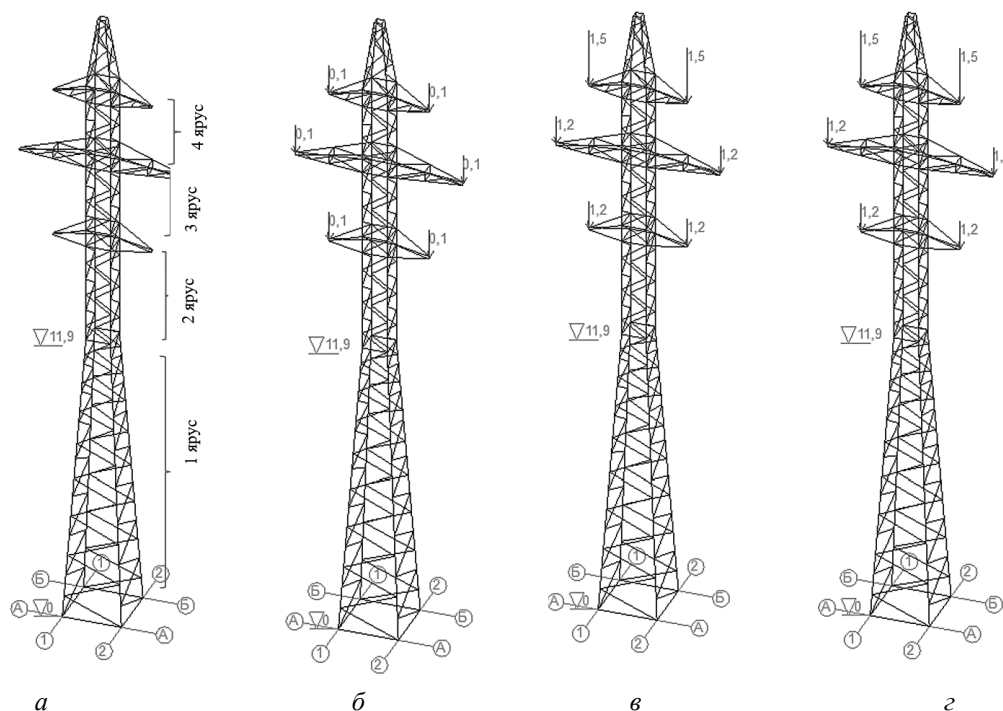


Рис. 2. Схемы: а — вертикальный план ВЛЭП; б — расчетная схема; в-г — схемы загрузки опоры ВЛЭП

Предварительное моделирование опор ВЛЭП: построение расчетной конечно-элементной модели типовой опоры ВЛ, определение вертикальных и горизонтальных перемещений, расчет частот и форм собственных колебаний конструкций [7, 8]. Дополнительно рекомендуется установить возможные места повреждения (разрушения) отдельных элементов, возможность применения.

Для повышения эффективности мониторинга технического состояния предлагается разделить опоры ВЛ на отдельные ярусы в конструктивном исполнении. Такое разделение позволит сформировать в дальнейшем область допустимых, опасных и критических повреждений и оценить фактическое техническое состояние опоры ВЛЭП.

Пример опоры ВЛ, разделение на ярусы, а также моделирование опоры ВЛ с учетом воздействия эксплуатационных нагрузок представлены на рис. 2. В качестве расчетной принята промежуточная двухцепная опора 35–10 кВ по

серии 3.407–2 для промежуточных и анкерно-угловых опор ВЛ 35–110 кВ.

В результате расчетов на действие эксплуатационных нагрузок и воздействий определяются вертикальные, горизонтальные перемещения, продольные усилия в наиболее нагруженных элементах при разрушении (изъятии) в каждом отдельном ярусе (рис. 3).

Выполним расчеты для всех ярусов ВЛЭП с учетом удаления элементов в уровне 2, 3, 4 и 5 ярусов. Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Результаты расчетов позволяют сделать следующие выводы.

С увеличением высоты удаляемых элементов значительно снижаются максимальные вертикальные перемещения. Спектр этих элементов с максимальными перемещениями находится на том же уровне, что и удаляемый элемент.

Максимальные горизонтальные перемещения по оси X сначала увеличиваются и имеют максимум на 2 ярусе, затем уменьшаются до ми-

Таблица 1

Результаты расчетов

№ п/п	Ярус	Удаляем. элемент	Вертик. перемещ. макс. Z , мм	Горизонт. перемещ. макс. по X , мм	Горизонт. перемещ. макс. по Y , мм	Продольные усилия макс. кН	Коэфф. использ. макс.	Неустойч. элементы конст.
1	исх сост.	—	6,2	137	20,6	10,8	0,8	нет
2	1	1	12,5	206,2	47,9	19,2	1,05	есть
3	2	177	13,5	213	51,4	16,8	1,3	есть
4	3	248	10,2	158,9	10	2,4	1,25	есть
5	4	340	9,3	143,6	15,5	3,6	1,3	есть
6	5	380	6,2	137,6	19,9	$3,3 \cdot 10^{-2}$	0,5	нет

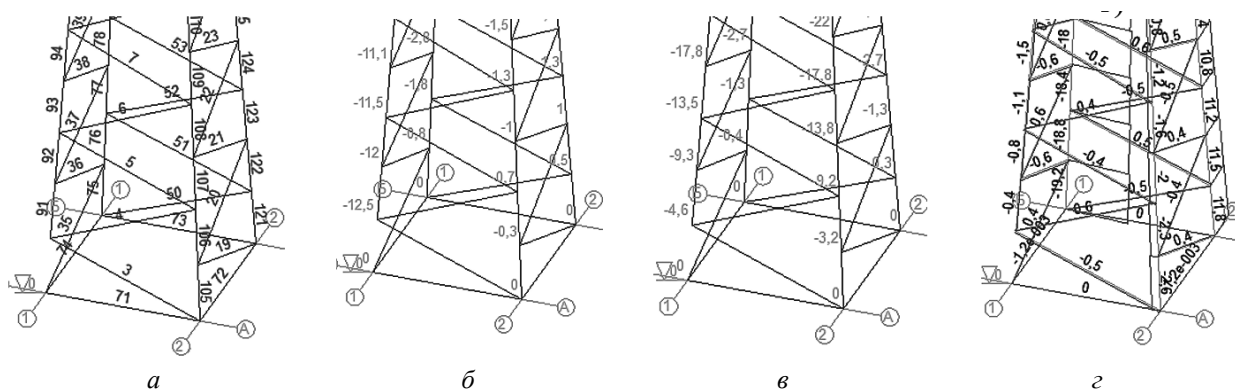


Рис. 3. Нижняя часть 1 яруса ВЛЭП: а — номера элементов, удаленная часть; б, в — вертикальные и горизонтальные перемещения; г — продольные усилия

нимальных значений; они возникают в направлении удаляемых элементов и находятся на последнем 5 ярусе.

Максимальные горизонтальные перемещения по оси Y возникают в направлении удаляемых элементов, и находятся на последнем 5 ярусе и имеют тенденцию резко возрастать и так же резко снижаться, что обусловлено различными типами решеток, а также различными сечениями направляющих на каждом уровне.

На 1–4 ярусах возможна потеря устойчивости отдельных элементов опор, что обусловлено перераспределением усилий в решетках опор за счет удаляемого элемента.

Обследование опор ВЛЭП после удаления отдельных элементов в полевых условиях. Данный этап является важнейшим. Проводится с целью определения уровня поврежденности; параметров вертикальных и горизонтальных перемещений, оценки параметров относительных деформаций, углов наклона отдельных элементов; определения планово-высотного положения отдельных элементов опор ВЛЭП. Обследование опор ВЛЭП включает следующие этапы.

Визуальный контроль проводится для оценки целостности и потери устойчивости отдельных элементов опор ВЛЭП, при этом фиксируется повреждение и его расположение.

Инструментальный контроль проводится для более детального обследования поврежденных конструкций и включает:

1. Осмотр с воздуха с помощью беспилотных летательных аппаратов. С их помощью проводят верховой осмотр опор ВЛ для выявления дефектов, диагностический облет по всем яру-

сам с целью обнаружения дефектов опор, пролетов и нарушений в зоне подвеса проводов, а также для возможного проведения топографо-геодезических работ.

В случае обнаружения элементов с потерей устойчивости такие элементы фиксируются, определяются возможные повреждения в виде скручивания сечений, выгиба их в различных направлениях.

2. Для оценки поврежденных элементов конструкций предлагается новый способ визуально-инструментального обследования поврежденных элементов опор ВЛ с использованием систем мониторинга с измерительными блоками. Они распределены по высоте ВЛЭП и связаны через канал связи с оборудованием на диспетчерском пункте. Предлагается их установка на каждом ярусе возле критичных элементов. Для определения вертикальности ядра ВЛЭП предлагается установка 2 инклинометров в уровне 1 яруса.

Для оценки деформированного состояния всей конструкции предлагается установка датчиков перемещений на элементах пятого яруса, которые имеют максимальные горизонтальные и вертикальные колебания. С целью получения достоверных эксплуатационных данных о деформациях в запрельных состояниях предлагается установка таких датчиков на один ярус ниже. Характеристики основного комплекта системы мониторинга представлены в табл. 2.

Проведение численных расчетов опор ВЛЭП с учетом наличия поврежденных элементов и определением параметров напряженно-деформированного состояния таких конструк-

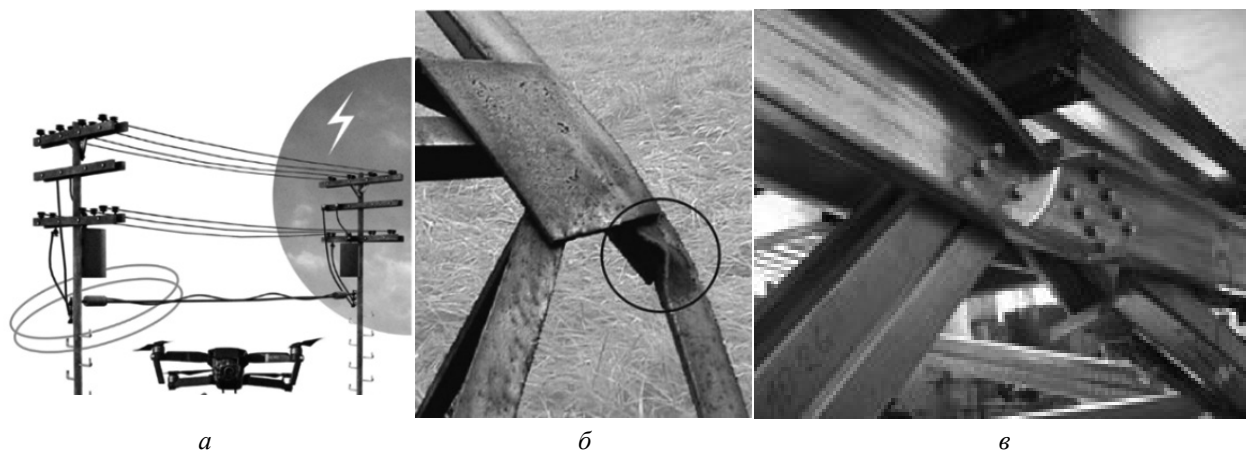


Рис. 4. Схемы обследования с помощью БПЛА отдельных поврежденных конструкций ВЛЭП

Характеристики основного комплекта системы мониторинга

№ п/п	Ярус	Инклинометры	Датчики перемещения трансформаторного типа (LVDT)	Датчик линейных перемещений на элементе Холла	Датчик деформации с базой 100 мм и 8 канальное устройство сбора данных (Zet Lab)
1	1	2	2	—	2
2	2–4	—	2	—	2
3	5	1	—	2	2

ций: вертикальных и горизонтальных перемещений (в узлах), при необходимости с помощью тензометров — деформаций поврежденных элементов.

Численные расчеты выполняются в расчетно-проектировочных комплексах SCAD, Лира и др., в которых возможно проведение расчетов специальных сооружений с учетом разрушения отдельных элементов опор ВЛЭП. Методика расчетов включает расчет на прогрессирующее разрушение с определением критических элементов, удаление которых приводит к опрокидыванию опоры ВЛЭП либо потере устойчивости всей конструкции ВЛЭП.

Сопоставление результатов расчета и результатов обследований: для этого выполняются два последовательных шага сравнения расчетных и экспериментальных данных в целях идентификации одного из пяти вариантов состояния конструкций: нормального, работоспособного, ограниченно-работоспособного и аварийного. Случае необходимости определяются динамические характеристики колебаний конструкций: частоты собственных колебаний, амплитуды и др.

Формулирование заключения о техническом состоянии отдельных конструкций всех ярусов, определяются критические элементы для каждого яруса, удаление которых приводит к прогрессирующему разрушению всей конструкции опор ВЛЭП.

Например, если состояние конструкции описывается работоспособное, но два соседних датчика показали отличие значений экспериментальных значений от численных результатов, необходимо не только обратить внимание на состояние крепления этих элементов друг к другу, но и детально обследовать состояние грани конструкции, расположенной между потенциально поврежденными опорными точками.

Заключение

Предложенный в рамках данной работы расчетно-экспериментальный подход к определению фактического технического состояния опор воздушных линий электропередачи основан на обобщении требований ГОСТ 31937–2024 для отдельного типа сооружений. Разработанная методика представляет собой простую последовательность экспериментальных исследований и численных расчетов, результатом которых становится определение технического состояния отдельных элементов обследованных конструкций и выясняется необходимость проведения оперативного осмотра или ремонта отдельных элементов этих конструкций.

Также для мониторинга ВЛЭП могут применяться алгоритмы обработки цифровой информации на основе искусственного интеллекта, которые позволяют выявлять на изображениях отклонения от нормальных параметров: вертикальных и горизонтальных перемещений, деформаций, кренов и в отдельных случаях параметров колебаний.

Список источников

1. ГОСТ 31937–2024. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. М.: Изд-во стандартов, 2024. 104 с.
2. Бирбраер А.Н., Роледер А.Ю. Экстремальные воздействия на сооружения: учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2009. 594 с.
3. Русаков С.В., Бузмакова М.М. Численные методы: курс лекций: учеб. пособие. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет. 2020. Ч. 2. 112 с.

4. Кожевников А.Н., Бурнышева Т.В. Применение методов моделирования в расчетах на прочность опор воздушных линий электропередачи при динамическом деформировании // Научно-технический вестник Поволжья. 2020. № 10. С. 66–68.

5. Левин В.Е., Кожевников А.Н., Сафонов О.Н. К вопросу о расчете опор и участков воздушных линий электропередачи // Электроэнергия. Передача и распределение. 2017. № 6 (45). С. 68–72.

6. Смазнов Д.Н., Родчихин С.В., Москалев А.В., Зимин К.Н. Высотные опоры в индивидуальном проектировании воздушных линий // Энергия единой сети. 2017. № 1 (30). С. 38–45.

7. ГОСТ 34081–2017. Здания и сооружения. Определение параметров основного тона собственных колебаний. М.: Изд-во стандартов, 2017. 26 с.

8. Арбузов Р.С., Овсянников А.Г. Современные методы диагностики воздушных линий электропередачи. Новосибирск: Наука, 2009. 135 с.

9. Байков И., Голубев П., Сизых Ю. Применение дистанционных методов при обследовании воздушных линий электропередачи // Электроэнергия. Передача и распределение. 2016. № 1.

10. Валиев А.В. Опыт применения БЛА «Птеро-Е» для поиска мест аварии на ЛЭП // Кабель-news. 2009. № 11. С. 20–22.

References

1. GOST 31937–2024. Buildings and structures. Rules for inspection and monitoring of technical condition. Moscow: Publishing House of Standards, 2024. 104 p.

2. Birbraer A.N., Roleder A.Y. Extreme impacts on structures, textbook. St. Petersburg: Publishing house of SPbGPU, 2009. 594 p.

3. Rusakov S.V., Buzmakova M.M. Numerical methods: a course of lectures: a textbook. Perm: Perm State National Research University, 2020. Part 2. 112 p.

4. Kozhevnikov A.N., Burnysheva T.V. Application of modeling methods in calculations for the strength of overhead power transmission poles under dynamic deformation // Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region. 2020. No 10. Pp. 66–68.

5. Levin V.E., Kozhevnikov A.N., Safonov O.N. On the calculation of overhead transmission line supports and segments // Electricity. Transmission and Distribution, 2017. No 6 (45). Pp. 68–72.

6. Smaznov D.N., Rodchikhin S.V., Moskalev A.V., Zimin K.N. High-altitude supports in the individual design of overhead lines // United Grid Energy. 2017. No 1 (30). Pp. 38–45.

7. GOST 34081–2017. Buildings and structures. Determination of the parameters of the fundamental tone of natural vibrations. Moscow: Publishing House of Standards. 2017. 26 p.

8. Arbuzov R.S., Ovsyannikov A.G. Modern methods of diagnostics of overhead power transmission lines. Novosibirsk: Nauka Publ., 2009. 135 p.

9. Baykov I., Golubev P., Sizykh Y. Application of remote methods in the examination of overhead power transmission lines // Electric power. Transmission and distribution. 2016. No 1.

10. Valiev A.V. The experience of using the Ptero-E UAV to search for power line accident sites // Cable-news. 2009. No 11. Pp. 20–22.

УДК 614.8, 623

doi: 10.53816/23061456_2025_7–8_66

**ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ УСТОЙЧИВОСТИ УПРАВЛЕНИЯ
ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАГРАЖДЕНИЙ,
СРЕДСТВ И ПРИЕМОВ ИМИТАЦИИ,
И ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАЩИЩЕННОСТИ ОБЪЕКТОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**

**PROPOSALS TO ENSURE THE STABILITY OF MANAGEMENT THROUGH
THE USE OF ENGINEERING BARRIERS, MEANS AND TECHNIQUES
OF IMITATION, AND ENSURING THE SECURITY OF OBJECTS
OF THE MANAGEMENT SYSTEM**

Д-р техн. наук В.А. Седнев¹, канд. техн. наук И.А. Лысенко¹, канд. техн. наук Е.И. Кошевая¹, А.В. Седнев²

D.Sc. V.A. Sednev, Ph.D. I.A. Lysenko, Ph.D. E.I. Koshevaya, A.V. Sednev

¹Академия государственной противопожарной службы МЧС России,

²МГТУ им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)

В статье рассмотрены предложения по обеспечению устойчивости управления за счет совершенствования и применения инженерных заграждений, средств и приемов имитации объектов системы управления, которые можно использовать для обеспечения их защищенности и других объектов инфраструктуры. Предложения, с учетом рассмотренных ситуаций, позволяют увеличить долю сохранившегося личного состава на 6–8 %, техники на 15–20 %, обосновать состав комплекса средств для обеспечения защищенности объекта системы управления. Разработанные предложения по обеспечению защищенности объектов системы управления за счет совершенствования их имитации позволяют сократить потери в личном составе на 22–24 %, в технике на 30–35 %. Реализация мероприятий повышает устойчивость функционирования объектов системы управления, при этом наибольшего эффекта можно достичь комплексным применением рассмотренных средств и способов.

Ключевые слова: объект системы управления, защищенность, инженерные заграждения, средства и приемы имитации.

The article discusses proposals for ensuring the stability of management by improving and using engineering barriers, means, and techniques for simulating management system objects, which can be used to ensure their security and other infrastructure objects. Taking into account the situations discussed, these proposals allow for an increase in the number of surviving personnel by 6–8 %, equipment by 15–20 %, and the justification of the composition of the complex of means for ensuring the security of the management system object. The developed proposals for ensuring the security of management system facilities by improving their imitation allow for a 22–24 % reduction in personnel losses and a 30–35 % reduction in equipment losses. The implementation of measures increases the stability of the management system's functioning, and the greatest effect can be achieved through the comprehensive use of the considered means and methods.

Keywords: the object of the control system, security, engineering barriers, means and techniques of imitation.

Предложения по обеспечению устойчивости управления за счет применения инженерных заграждений и обеспечения защищенности объектов системы управления

Для устройства инженерных заграждений на подступах к объектам системы управления рекомендуется применять различные заграждения, в частности невзрывные, минно-взрывные, электризуемые [1–10].

Невзрывные заграждения рекомендуются применять двух типов: стационарные, в виде проволочных заборов на кольях из пакетов малозаметных препятствий (МЗП); и переносные, в виде ежей, рогаток, проволочных спиралей, проволочных сетей на высоких и низких кольях, заборов и др.

Проволочная сеть на высоких кольях устраивается из 3–5 рядов кольев высотой 1–1,8 м, забиваемых в шахматном порядке и оплетаемых колючей проволокой так, чтобы получилась пространственная сетка шириной 3–5 м и высотой 1,2 м. Наружные ряды кольев оплетают пятью нитями: три — горизонтально, две — по диагоналям. Внутренние ряды кольев и промежутки между рядами оплетают тремя нитями: двумя — по диагоналям, одной (горизонтальной) — сверху.

Проволочная сеть на низких кольях устраивается шириной 6 м, при этом колья высотой 70 см забиваются рядами, на расстоянии 1,5 м один от другого, в шахматном порядке, с возвышением над поверхностью земли на 25 см. Каждый ряд кольев и промежутки между рядами оплетаются проволокой в две нити, одну из которых делают с петлями. На устройство 100 м сети шириной 6 м требуется: 20 мотков колючей проволоки, 350 кольев и 15 кг металлических скоб; время на устройство из 5–7 чел. — 10–12 ч.

Проволочные заборы устраиваются из одного ряда кольев, оплетенных пятью нитями колючей проволоки (3 — горизонтально, 2 — по диагоналям). Усиленный проволочный забор представляет собой обычный, усиленный оттяжками, на которых прикрепляются две-три горизонтальные нити проволоки. Оттяжки крепят к малым кольям, забиваемым по обе стороны проволочного забора на расстоянии 1,5 м от него в промежутках между кольями.

Рогатки и ежи представляют каркас из жердей, оплетенных колючей проволокой, на изгото-

вление рогатки требуется 2 чел. — час и 7 кг колючей проволоки, время на установку 10 м заграждения расчетом из двух чел. — 20 мин; на изготовление ежа требуется 1 чел. — час и 2,5 кг колючей проволоки, время на установку расчетом из двух чел. — 25 мин.

Минно-взрывные заграждения рекомендуются устанавливать на расстоянии 200–400 м от переднего края обороны объекта системы управления на наиболее вероятных направлениях действия нарушителей в управляемом варианте. Управляемые противопехотные минные поля устанавливаются с применением комплекта управления или с использованием возимых комплектов противопехотных мин ВКПМ-1 и ВКПМ-2.

Например, комплект средств противопехотного минирования УМП-3 предназначен для управления по проводам состоянием противопехотных минных полей (боевое или безопасное) и избирательного взрыва мин; применение его, например с установкой мин ОЗМ-72, позволяет заминировать участок местности протяженностью: при однорядном расположении мин — 2–2,5 км, при двухрядном — 1,1–1,2 км; МОН-50 позволяет заминировать участок местности: при однорядном расположении мин — до 2 км; при двухрядном — 0,6–1 км.

Для содержания управляемого противопехотного минного поля назначается расчет 3–5 чел., начальник пункта управления и 2–4 наблюдателя. Проверка исправности его производится не реже 1 р/сут, а также при смене расчета, после пропуска своих подразделений, после взрыва мин, после дождя, грозы, оттепели и огневого воздействия.

Управляемые группы противопехотных мин устанавливаются посредством применения возимых комплектов противопехотных мин ВКПМ-1 и ВКПМ-2 в целях прикрытия позиций охраны.

Основные элементы комплектов: мины: осколочные — 4 шт.; сигнальные — 12 шт.; пульт управления с подрывной машиной ПМ-4 — 1 шт.; катушка с линиями управления — 4 комплекта; взрыватели МУВ-4 — 24 шт.; растяжки проволочные — 16 комплектов; колышки — 48 шт.; стальные канаты с карабинами — 8 комплектов. Для содержания заграждения назначается расчет не менее 2 человек.

При установке, например, мин МОН-50 рекомендуется осуществлять обвалование мины

грунтом. Превышение высоты обвалования в тыльном направлении над миной должно быть не менее 30 см. Для прикрытия угрожаемых направлений в сочетании с минно-взрывными заграждениями могут быть применены комплекты электризуемых заграждений. Линейная часть электризуемых заграждений устанавливается в виде сетки промышленного изготовления в горизонтальном, относительно земли, положении. Управление комплектом (включение, отключение, установка отталкивающего или поражающего режима) осуществляется с пульта управления.

При применении электризуемых заграждений проводятся мероприятия по обеспечению электробезопасности личного состава: правильный выбор режима работы электризуемых заграждений, отвечающего погоднo-климатическим условиям; применение индивидуальных средств защиты при обслуживании, обходах, осмотрах и ремонтных работах.

Вариант устройства электризуемых заграждений при отсутствии готовой сетки: колышки из местных материалов в месте установки электризуемых заграждений вбиваются в землю, на которые укрепляются изоляторы; между колышками натягиваются нити из обычной гладкой или колючей проволоки; нити проволоки крепятся к изоляторам вязальной проволокой и затем подключаются проводом к станционному аппарату (рис. 1).

На контрольно-пропускном пункте рекомендуется устанавливать противотаранные заграждения из железобетонных блоков с укладкой в 3 ряда по 2–3 блока в ряду на расстоянии 10–15 м друг от друга, после них устанавливается шлагбаум. Эффект применения заграждений наблюдается при обоснованном выборе

мест их устройства, достаточной плотности их установки и увязке системы заграждений с системой огня. Снижение скорости перемещения нападающих в ходе преодоления инженерных заграждений повышает вероятность и эффективность поражения их огнем подразделения охраны: чем ниже скорость перемещения, тем выше вероятность ее поражения.

Установка заграждений на удалении 250–300 м от объекта системы управления обеспечивает задержку нападающих на 1–1,25 мин, и, как результат, вероятность его обнаружения и поражения с вероятностью больше 0,75. Время задержки достигается устройством невзрывных заграждений из малозаметных проволочных препятствий (табл. 1).

Разработанные предложения, с учетом рассмотренных ситуаций, позволяют увеличить долю сохранившегося личного состава на 6–8 %, техники на 15–20 %, обосновать состав комплекса средств для обеспечения защищенности объекта системы управления.

Предложения по обеспечению защищенности объектов системы управления за счет совершенствования их имитации

Средства и приемы имитации техники, вооружения и сооружений применительно к объектам

Таблица 1

Трудозатраты и потребность в средствах на устройство невзрывных заграждений из малозаметных проволочных препятствий

Заграждения (размеры, м)	Требуется на 100 м заграждения	
	чел./час	средств и материалов
10×100	10	пакеты МЗП — 10 шт.

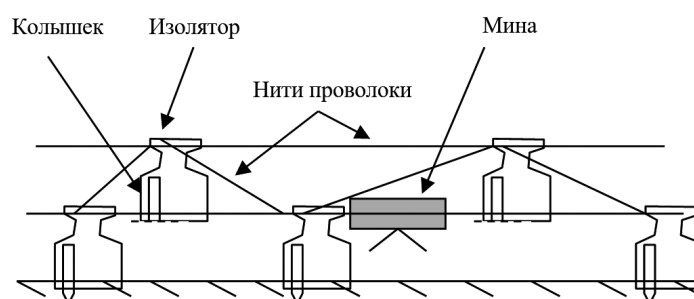


Рис. 1. Вариант прикрытия участка управляемого минного поля электризуемым заграждением с применением местных материалов

системы управления также различны [4, 5, 7]. Для имитации техники рекомендуется использовать макеты из подручных материалов и заводского изготовления (надувные макеты, из пластмассы) с ориентацией на применение подручных материалов и имеющихся средств, при этом исходить из расчета, что на действительную цель требуется 2–3 ложных.

Для оборудования ложных позиций техники рекомендуется применять макеты техники, возводить сооружения для огневых средств типа бронеколпаков. Макеты личного состава с детализацией военного обмундирования могут изготавливаться из местных материалов (глины, фанеры и т.д.) и устанавливаться в траншеях, окопах для наблюдения, ячейках для стрельбы (рис. 2), при этом контуры макета должны быть видны, а детали — размыты, и периодически нужно изменять местоположение макетов, используя двигательные установки на основе использования энергии ветра и электроэнергии.

Имитацию огневых средств можно осуществлять путем установки ложных огневых сооружений, для чего макет бронеколпака изготавливают из металла или фанеры и окрашивают краской защитного цвета для выделения его на местности, при этом на один действительный бронеколпак требуется устанавливать два макета.

Рекомендуется также перед нанесением удара нарушителем высокоточным оружием применять резкоконтрастное распятие местности вокруг наиболее важных элементов объекта системы управления (в летнее время на темном фоне целесообразно создавать светлые пят-

на, в зимнее, на фоне белого снега — темные пятна) с созданием пятен, соизмеримых с размерами цели.

Светлые пятна в летнее время можно создать за счет покрытия местности пеной на основе раствора воды и пенообразователя. В зимнее время для создания резкоконтрастных пятен на белом снежном покрове можно применять установки для постановки пыледипольных завес (рис. 3).

Для введения нарушителя в заблуждение рекомендуется применять ложные минные поля с установкой предупредительных знаков, устройством характерных повреждений грунта и др.

Наибольшее влияние на снижение вероятности обнаружения объекта системы управления оказывает не снижение коэффициента обнаружения цели, а смещение центра цели относительно скрывающего покрытия, обеспечивающего снижение вероятности выбора точки прицеливания до 0,5 и менее. Снижение коэффициента обнаружения с 0,4 до 0,2 для малоразмерных целей дает снижение вероятности обнаружения объекта на 10–50 %, в зависимости от дальности наблюдения, а для техники — 20–30 %, без дополнительных трудозатрат.

Применение средств имитации целей в составе группового объекта включает возведение ложных сооружений, таких как бронеколпаки, макеты техники, стрелков, удлинённых маскировочных экранов.

После открытия личным составом охраны ответного огня рекомендуется применять средства и способы имитации, основанные на применении маскировочных экранов удлинё-

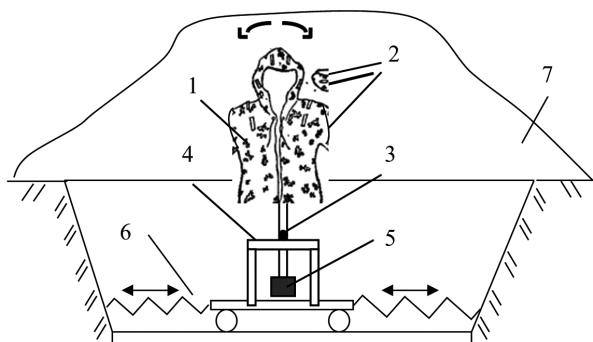


Рис. 2. Макет стрелка: 1 — фигура из фанеры; 2 — движущее крыло (под углом 45°); 3 — металлическая ось; 4 — деревянная стойка на колесах; 5 — груз; 6 — жгут, пружина; 7 — маскировочная сеть

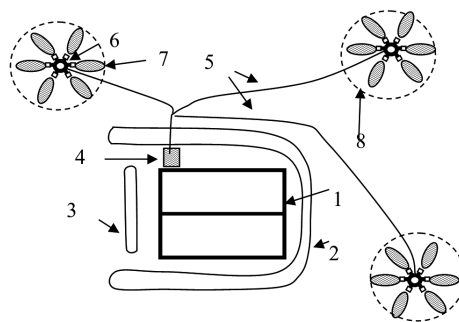


Рис. 3. Вариант применения установки для создания пятен: 1 — хранилище; 2 — земляной вал; 3 — вал у входа в хранилище; 4 — емкость с водным раствором пенообразователя; 5 — шланги; 6 — пеногенераторное устройство; 7 — пенное пятно; 8 — резкоконтрастное пятно из жидкой пены

ных. Применение их в качестве ложных целей при скрывании стрелков и части траншеи, по которой происходит выдвижение личного состава на боевые позиции, не требует дополнительных мероприятий демонстрации жизнедеятельности скрываемого объекта.

Устройство маскировочных экранов удлиненных на запасных позициях техники снижает в два раза количество ложных целей на одну действительную. Отличием маскировочных экранов удлиненных, скрывающих истинную цель, от имитирующего скрывание ложной цели, является отсутствие у последней опускающейся части, необходимой для ведения огня из стрелкового оружия или техники.

Применение предлагаемых способов имитации позволяет сократить потери в личном составе на 22–24 %, в технике на 30–35 %.

Исходя из времени на принятие решения об использовании дымовых шашек (10–15 с) и о применении дымовых шашек с временем разгорания 30–40 с, от начала обстрела до прикрытия завесой объекта пройдет 40–55 с. Для снижения времени на установку завесы можно применить дымовые шашки, имеющие меньшее время разгорания, или аэрозольные снаряды. При нападении на объект 15–20 чел. применение аэрозольных завес повышает долю сохранившегося личного состава на 25–30 %.

Анализ значений расчетной дальности визуального наблюдения $D_{\text{расч.виз}}$ и вероятности визуального обнаружения $P_{\text{обн.виз}}$ объектов (табл. 2) показывает, что фортификационное оборудование объектов не только защищает от поражения, но и снижает вероятность их обнаружения [11–13]. Например, вероятность визуального обнаружения стрелка в положении стоя при размещении в окопе снижается с 0,74 до 0,59.

Размещение в окопах техники не позволяет значительно снизить вероятность их обнаружения, поэтому рекомендуется применять другие приемы:

- уменьшение яркостного контраста объекта с фоном за счет защитного и деформирующего маскировочного окрашивания;
- применение искусственных масок из маскировочных комплектов и местных материалов, камуфлирующей окраски обмундирования и маскировочной одежды.

Для получения окрашенных покрытий рекомендуется применять пылеобразующие вещества и пеногенераторы. В качестве пылеобразующих веществ могут быть использованы водные растворы карбамидо-формальдегидной смолы, пенообразователя, модификаторов, кислотного отвердителя и красителя, которые вспениваются пеногенераторами и наносятся на поверхность техники, огневых средств и сооружений, обеспечивая маскировку объектов от нескольких видов разведки в видимом и инфракрасном диапазонах спектра электромагнитных волн в заданном интервале сохранения такого покрытия на поверхности объекта (более 24 час).

Площадь маскировочного покрытия можно определить по формуле

$$S = (V_{\text{пов}} \cdot K_{\text{п}}) / H, \quad (1)$$

где: $V_{\text{пов}}$ — объем пылеобразующих веществ;

$K_{\text{п}}$ — кратность пены;

H — толщина покрытия.

Объем пылеобразующих веществ определяется по формуле

$$V_{\text{пов}} = V_{\text{с}} + V_{\text{ко}} + V_{\text{по}} + V_{\text{пк}} + V_{\text{к}} + V_{\text{в}}, \quad (2)$$

Таблица 2

Значения вероятности визуального обнаружения в зависимости от видимых размеров объектов

Объект	Габаритные размеры, м		$D_{\text{расч.виз}}$, м	$P_{\text{обн.виз}}$
	ширина	высота		
Стрелок в положении стоя	0,5	1,5	1315	0,74
Стрелок в положении с колена	0,5	1	1074	0,69
Стрелок в окопе	0,5	0,5	759	0,59
Боевая техника открыто	2,8	2,3	5927	0,93
Боевая техника в окопе	1,5	1	2075	0,85

где: $V_c, V_{ко}, V_{по}, V_{пк}, V_k, V_b$ — объем, соответственно, карбамидо-формальдегидной смолы, кислотного отвердителя; пенообразователя; пенообразователя кислотного; красителя; воды.

Для изготовления 1 м² маскировочного покрытия при $K_n=50$, $H=20$ мм, рекомендуемой рецептуре пылеобразующих веществ, необходим объем: $V_c = 0,1$ л, $V_{ко}$, $V_{по}$, $V_{пк}$, V_k в сумме равный 0,008 л, $V_b = 0,29$ л.

Средства на основе пенополимеров занимают объем в 10–15 раз меньший, чем табельные средства маскировки. Реализация предлагаемых мероприятий позволяет повысить устойчивость функционирования объектов системы управления, при этом наибольшего эффекта можно достичь комплексным применением рассмотренных средств и способов.

Список источников

1. Седнев В.А., Лысенко И.А. Теоретические основы управления защищенностью и обеспечения устойчивости функционирования объектов системы управления субъектом Российской Федерации: монография. М.: Академия ГПС МЧС России, 2023. 241 с.
2. Чуев Ю.В. Исследование операций в военном деле. М.: Воениздат, 1970. 256 с.
3. Седнев В.А., Копнышев С.Л., Сергеевкова Н.А., Седнев Ал.В. Модель управления эффективностью задачи по устройству инженерных заграждений в интересах физической защиты гидротехнического сооружения // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. № 5. 2023. С. 17–31.
4. Седнев В.А., Лысенко И.А., Сергеевкова Н.А., Седнев Ал.В. Методика управления защищенностью и безопасностью объектов системы управления субъекта Российской Федерации // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. № 1. 2024. С. 27–39.
5. Седнев В.А., Лысенко И.А., Сергеевкова Н.А., Седнев Ал.В. Научно-методические подходы оценки эффективности применения мероприятий инженерного оборудования для управления защищенностью и безопасностью объектов системы управления // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. № 1. 2024. С. 56–70.
6. Седнев В.А., Копнышев С.Л., Седнев Ал.В. Методика выбора рационального состава защитной конструкции критических элементов гидротехнических сооружений // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2024. № 3–4 (189–190). С. 45–54.
7. Седнев В.А., Лысенко И.А., Сергеевкова Н.А., Седнев Ал.В. Оценка вклада комплексного применения мероприятий инженерного оборудования в обеспечение безопасности и защищенности объектов системы управления // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. № 4. 2024. С. 61–84.
8. Седнев В.А., Копнышев С.Л., Седнев Ал.В. Оценка поля скоростей в сплошной упругопластической среде при камуфлетном взрыве // Вестник СамГТУ Сер.: Физ.-мат. науки, 2023. № 2. С. 384–393.
9. Седнев В.А., Копнышев С.Л., Седнев Ал.В. Определение параметров камуфлетного взрыва // Прикладная механика и техническая физика. 2023. Т. 64. № 6 (382). С. 36–43.
10. Седнев В.А., Копнышев С.Л., Седнев Ал.В. Решение центрально-симметричной задачи о распространении возмущений в горных породах при камуфлетном взрыве // Горный журнал. 2024. № 4. С. 24–29.
11. Седнев В.А., Копнышев С.Л., Сергеевкова Н.А., Седнев Ал.В. Модели управления эффективностью фортификационного оборудования позиций подразделений охраны и оценки его влияния на защиту гидротехнического сооружения // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. № 5. 2023. С. 49–63.
12. Седнев В.А., Копнышев С.Л., Сергеевкова Н.А., Седнев Ал.В. Оценка вклада фортификационного оборудования в обеспечение устойчивости функционирования объектов инфраструктуры / В книге: Гражданская оборона на страже мира и безопасности: в 5 ч. Ч. II. М.: Академия ГПС МЧС России, 2024. С. 364–373.
13. Седнев В.А., Лысенко И.А., Сергеевкова Н.А., Седнев Ал.В. Методика оценки эффективности фортификационного оборудования объектов системы управления в интересах обеспечения их защищенности и устойчивости функционирования / В книге: Гражданская оборона на страже мира и безопасности: в 5 ч. Ч. II. М.: Академия ГПС МЧС России, 2024. С. 148–153.

Resources

1. Sednev V.A., Lysenko I.A. Theoretical foundations of security management and ensuring the stability of the functioning of objects of the management system of the subject of the Russian Federation: monograph. Moscow: Academy of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2023. 241 p.
2. Chuev Yu.V. Research of operations in military affairs. M.: Voenizdat, 1970. 256 p.
3. Sednev V.A., Kopnyshev S.L., Sergeenkova N.A., Sednev A.I.V. Efficiency management model of the task of engineering barriers in the interests of physical protection of a hydraulic structure // Security and emergency issues. No 5. 2023. Pp. 17–31.
4. Sednev V.A., Lysenko I.A., Sergeenkova N.A., Sednev A.I.V. Methods of managing the security and safety of objects of the management system of the subject of the Russian Federation // Security and emergency issues. No 1. 2024. Pp. 27–39.
5. Sednev V.A., Lysenko I.A., Sergeenkova N.A., Sednev A.I.V. Scientific and methodological approaches to evaluating the effectiveness of the use of engineering equipment measures to manage the security and safety of control system facilities // Security and emergency issues. No 1. 2024. Pp. 56–70.
6. Sednev V.A., Kopnyshev S.L., Sednev A.I.V. The method of choosing the rational composition of the protective structure of critical elements of hydraulic structures // Issues of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2024. No 3–4 (189–190). Pp. 45–54.
7. Sednev V.A., Lysenko I.A., Sergeenkova N.A., Sednev A.I.V. Assessment of the contribution of the integrated application of engineering equipment measures to ensure the safety and security of control system facilities // Security and emergency issues. No 4. 2024. Pp. 61–84.
8. Sednev V.A., Kopnyshev S.L., Sednev A.I.V. Estimation of the velocity field in a continuous elastoplastic medium during a camouflage explosion // Vestn. Sam. state tech. Univ. Ser. Physical and Mathematical Sciences, 2023. No 2. Pp. 384–393.
9. Sednev V.A., Kopnyshev S.L., Sednev A.I.V. Determination of parameters of a camouflage explosion // Applied mechanics and technical physics. 2023. Vol. 64. No 6 (382). Pp. 36–43.
10. Sednev V.A., Kopnyshev S.L., Sednev A.I.V. Solution of the centrally symmetric problem of propagation of disturbances in rocks during a camouflage explosion // Mining Journal. 2024. No 4. Pp. 24–29.
11. Sednev V.A., Kopnyshev S.L., Sergeenkova N.A., Sednev A.I.V. Models for managing the effectiveness of fortification equipment for security units and assessing its impact on the protection of hydraulic structures // Security and emergency issues. No 5. 2023. Pp. 49–63.
12. Sednev V.A., Kopnyshev S.L., Sergeenkova N.A., Sednev A.I.V. Assessment of the contribution of fortification equipment to ensuring the sustainability of infrastructure facilities. In the book: Civil defense on guard of peace and security: at 5 p. II. Moscow: Academy of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2024. Pp. 364–373.
13. Sednev V.A., Lysenko I.A., Sergeenkova N.A., Sednev A.I.V. Methodology for evaluating the effectiveness of fortification equipment of control system facilities in the interests of ensuring their security and stability of functioning. In the book: Civil defense on guard of peace and security: at 5 p.m. II. Moscow: Academy of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2024. Pp. 148–153.

УДК 623.4

doi: 10.53816/23061456_2025_7–8_73

**К ВОПРОСУ О ЗАЩИТНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ ВОЗДУШНОГО СУДНА
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАЩИТЫ В СЛУЧАЕ ТЕРРОРИСТИЧЕСКОГО АКТА**

**ON THE QUESTION OF AIRCRAFT PROTECTIVE STRUCTURES
TO ENSURE PROTECTION IN THE CASE OF A TERRORIST ACT**

*Д-р техн. наук Н.М. Сильников, канд. техн. наук А.С. Пучков, канд. техн. наук А.И. Спивак,
канд. техн. наук Н.Н. Васильев*

D.Sc. N.M. Silnikov, Ph.D. A.S. Puchkov, Ph.D. A.I. Spivak, Ph.D. N.N. Vasilev

НПО Спецматериалов

В статье рассмотрен вопрос задания и подтверждения требований к двери в кабину экипажа с целью предотвращения несанкционированного доступа посторонних лиц при совершении противоправных действий с целью угона самолета. Представлено испытательное оборудование с соответствующим методическим обеспечением, применяемое при специальных испытаниях двери в кабину экипажа самолета. Представлены экспериментальные данные по оценке защитных свойств двери в кабину экипажа пассажирского самолета Ил-96-300 по противопулевой стойкости к регламентированным средствам поражения, по ударостойкости по полотну двери, по двери в районе засова, по двери в районе петли, а также тянущей нагрузки, приложенной к дверной ручке.

Ключевые слова: дверь в кабину экипажа самолета, противопулевая стойкость, противоударная стойкость, методические положения, результаты эксперимента.

The article considers the issue of setting and confirming the requirements for the cockpit door in order to prevent unauthorized access by third parties when committing illegal actions to hijack an aircraft. The article presents test equipment with the corresponding methodological support used in special tests of the cockpit door. The article presents experimental data on the assessment of the protective properties of the cockpit door of the Il-96-300 passenger aircraft in terms of bulletproof resistance to regulated means of destruction, impact resistance to the door leaf, to the door in the area of the bolt, to the door in the area of the hinge, as well as the pulling load applied to the door handle.

Keywords: aircraft cockpit door, bulletproof resistance, impact resistance, guidelines, experimental results.

В сложном комплексе мер, направленных на борьбу с международным терроризмом, не последнее место по важности занимает проблема

противодействия воздушному терроризму, приобретающему более скрытый и изощренный характер. Воздушный транспорт особенно привле-

кателен для террористов в связи с тем, что каждый акт незаконного вмешательства в деятельность гражданской авиации вызывает огромный общественный резонанс, дестабилизирует положение в обществе [1]. Акты незаконного захвата или осуществления контроля над воздушным судном, находящимся в полете, угрожают безопасности лиц и имущества, серьезно нарушают воздушное сообщение и подрывают веру в безопасность гражданской авиации [2].

Первый случай захвата и угона воздушного судна произошел в 1930 году: перуанский самолет был угнан повстанцами. По данным Международной организации гражданской авиации (ИКАО), первый угон воздушного судна в послевоенный период произошел в 1948 году в Макао. В течение 20 лет с момента первого после войны угона гражданского самолета, к данному виду преступлений обращались очень редко и зарегистрированы лишь отдельные случаи захватов. В 1948–1967 гг. совершено 47 угонов самолетов. В 1967 году — 15 угонов, а в 1968 году — 30 угонов. В 1969 году совершено

80 захватов гражданских самолетов, при этом 6 человек были убиты и 34 ранены. За период с 1 января по 16 июня 1970 г. было совершено 32 угона самолетов и 8 попыток угонов, что стало причиной гибели 90 пассажиров, при этом ранения получили 23 человека. В 1969 году и 1970 году было задержано 72 организатора похищений самолетов. Народный фронт Палестины 6–8 сентября 1970 года совершил серию угонов, захватив 4 самолета (в том числе самый большой в мире в то время пассажирский авиалайнер Боинг-747, именуемый «Джамбо Джет») с несколькими сотнями пассажиров на борту, следовавшими в Нью-Йорк. В течение 1969–1994 гг. было зарегистрировано 500 угонов самолетов с «участием» около 30 тысяч пассажиров. Более чем 90 раз вспыхивали перестрелки на бортах воздушных судов, находившихся в воздухе или аэропорту [3].

Статистические данные по угону самолетов в Советском Союзе в период 1973–1989 гг. и в России в период 1997–2011 гг. [3] представлены на рис. 1 и 2.

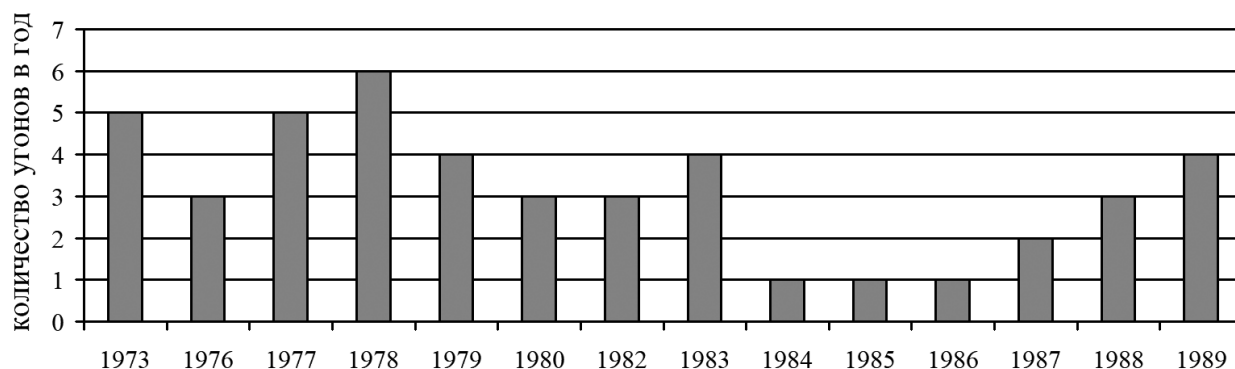


Рис. 1. Распределение количества угонов самолетов в Советском Союзе в период 1973–1989 гг.

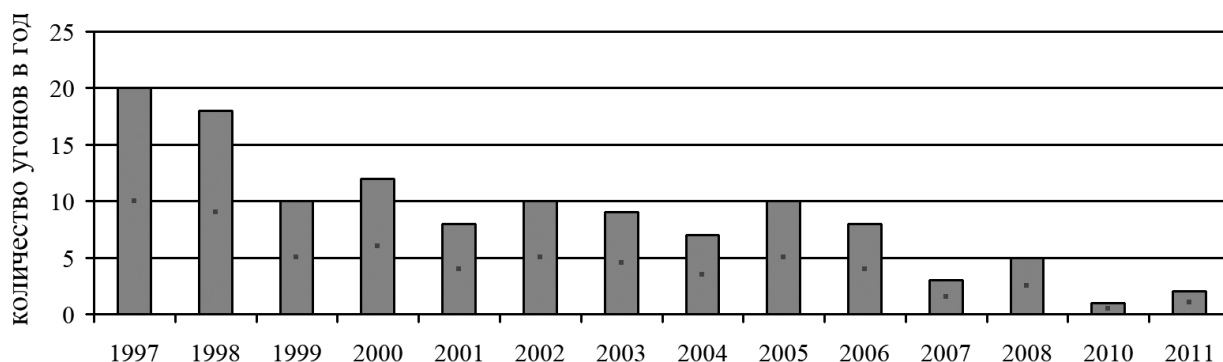


Рис. 2. Распределение количества угонов самолетов в России в период 1997–2011 гг.

Анализ данных, представленных на рис. 1 и 2 показывает, что в среднем в Советском Союзе в период 1973–1989 гг. ежегодно совершалось 3 угона самолетов, а в России в период 1997–2011 гг. ежегодно — 9 угонов самолетов. Следует отметить, что согласно информации Федеральной службы по надзору в сфере транспорта, только в 2006 году было пресечено более 59 тысяч попыток проноса на самолеты запрещенных предметов и веществ, при этом изъято: 12,8 тыс. единиц оружия; 9,5 тыс. шт. боеприпасов [4].

Своеобразная кульминация происшествий, связанных с угонами самолетов, наступила в 2001 году, когда была совершена террористическая атака на башни-близнецы Всемирного торгового центра. 11 сентября террористы захватили четыре рейсовых пассажирских авиалайнера. Два из этих лайнеров были направлены в башни Всемирного торгового центра, расположенные в Нью-Йорке, а третий самолет был направлен в здание Пентагона в Вашингтоне. Данное происшествие было беспрецедентным, потому что в первый раз пассажирские самолеты были использованы террористами-самоубийцами в качестве управляемых летающих бомб [3].

Для предотвращения несанкционированного доступа в кабину экипажа самолеты стали оборудоваться специальной дверью, к которой предъявляются ряд специальных требований, в зависимости от особенностей ее конструкции. Дверь между кабиной экипажа и пассажирским салоном должна быть постоянно закрыта и заперта во время полета, но должна открываться со стороны кабины экипажа даже в том случае, если ее заклинит. Многие самолеты спроектированы таким образом, что проем двери кабины экипажа, обеспечивающий проход членов экипажа ростом до 190,5 см, используется в качестве пути декомпрессии, поэтому замки или другие элементы двери должны обеспечивать быстрое ее открытие. Кроме этого, такая дверь должна быть герметичной, изготавливаться из негорю-

чего материала и обеспечивать шумо- и свето-изоляцию.

В соответствии с Авиационными правилами [5] дверь кабины экипажа должна обеспечивать противопожарную стойкость от пуль патронов стрелкового оружия, представленных в табл. 1.

Для проведения испытаний на противопожарную стойкость собранная конструкция дверного блока, состоящая из двери в кабину экипажа, рам крепления двери и замка AR 4845-1, размещается на специальном стенде, представляющим собой сварную раму из стальных профилей [6]. Закрытое положение двери фиксируется замком AR 4845-1, являющимся частью системы CSDS (предотвращения несанкционированного доступа в кабину экипажа). Фиксация ригеля замка в закрытом положении производится механическим путем.

Условия проведения испытаний выбираются исходя из соображений, что при обстреле двери кабины экипажа террористами некоторая часть пуль попадет в нее по нормали к поверхности, а также часть выстрелов придется под некоторым углом к поверхности двери. Принимая во внимание, что дверь кабины экипажа должна обеспечить заданный уровень защиты независимо от угла обстрела, испытания производятся как по нормали к поверхности двери, так и под углом 60° от поверхности двери.

Точки прицеливания распределяются на поверхности двери таким образом, чтобы расстояние между центрами попадания пуль было не менее 51 мм, а расстояние от центра попадания пули до любого края двери было не менее 76 мм. За тыльной стороной двери на расстоянии 0,15 м размещается лист свидетель из картона для фиксации случаев проникновения пули, ее фрагментов или фрагментов двери.

После каждого выстрела оценивается его зачетность. Выстрел является незачетным, если скорость пули меньше минимально допустимого значения, а место попадания пули от края двери

Таблица 1

Сведения о пулях стрелкового оружия

№ п/п	Патрон	Масса пули, г	Скорость пули, м/с	Расстояние обстрела, м
1	9 мм FMJ RN	8,0	436±9,1	5±0,025
2	10,9 мм Magnum JHP	15,6	436±9,1	5±0,025

или места соседнего попадания пули находится за пределами допустимых значений. Остальные выстрелы являются зачетными.

Результат испытаний двери экипажа считается положительным, если при зачетных выстрелах отсутствуют отметки в листе свидетеле, установленном за дверью кабины экипажа, от пуль, их фрагментов или фрагментов двери [6].

Пример назначения точек обстрела, их расположение на типовой двери кабины экипажа самолета представлен в табл. 2.

Вид типовой двери экипажа кабины пассажирского самолета после проведения испытаний на противопульную стойкость в испытательном центре специальных материалов и изделий АО «НПО Спецматериалов» (аттестат аккредитации № ИЛ-159 Межгосударственного авиационного комитета) с положительными результатами представлен на рис. 3.

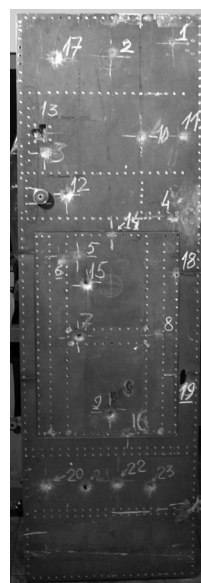


Рис. 3. Вид двери экипажа самолета после испытаний на противопульную стойкость

Таблица 2

Перечень точек обстрела и их расположение на двери кабины экипажа самолета при испытаниях на противопульную стойкость

№ точки	Характеристика точки	Схема расположения точек обстрела на двери экипажа при испытаниях на противопульную стойкость
1	Верхняя петля	
2	Полотно двери	
3	Замок двери	
4	Средняя петля	
5	Полотно крышки люка	
6	Штырь крышки люка	
7	Полотно крышки люка	
8	Кромка крышки люка	
9	Упоры крышки люка	
10	Полотно двери в зоне сварного шва	
11	Полотно двери у кромки	
12	Ручка защелки	
13	Прорезь замка	
14д	Верхний стык крышки люка и полотна двери	
15д	Полотно люка в зоне сварного шва	
16д	Нижний стык крышки люка и полотна двери	
17д	Полотно двери	
18д	Правый стык крышки люка и полотна двери в зоне сварного шва	
19д	Левый стык крышки люка и полотна двери в зоне сварного шва	
20д	Кромка полотна двери	
21д	Полотно двери в зоне сварного шва	
22д	Полотно двери	
23д	Полотно двери в зоне сварного шва	

Перегородка, дверь кабины экипажа и любая другая доступная ограничивающая конструкция, отделяющая кабину экипажа от салона с пассажирами, должны обеспечивать ударостойкость и предотвращение доступа посторонних лиц в кабину экипажа, выдерживая [7]:

- удары специальным дверным тараном с энергией 300 Дж;
- статическую тянущую нагрузку 113,5 кг (1113 Н), приложенную к доступным захватам для рук, включая ручку или кнопку-ручку двери кабины экипажа.

Существует четыре основных типа испытаний, которые имеют отношение к двери, представленные в табл. 3. Для каждого из четырех видов испытаний на ударостойкость может быть использован новый образец двери.

Для проведения испытаний дверной блок размещается на испытательном стенде, состоящем из реальных конструкций элементов каркаса и стены самолета, обеспечивающем попереч-

ную жесткость общей конструкции и имитирующем жесткость, обеспечиваемую при дверной сборке в самолете потолком, полом и стенами. На рис. 4 представлена схема испытательного стенда.

Дверной таран представляет собой маятниковую систему со стальным грузом весом не менее 45 кг, способную наносить горизонтальные удары с энергией не менее 300 Дж, схема которой представлена на рис. 5.

Ударник дверного тарана представляет собой стальной цилиндр диаметром 0,152 м и длиной 0,394 м. Головная часть ударника, изготовленная из ударопрочного материала, имеет полусферическую форму диаметром 0,152 м. Система подвески ударника состоит из четырех гибких стальных тросов, обеспечивающих радиус качания 0,171 м. Тросы регулируют по длине с помощью винтовых стяжек таким образом, чтобы таран качался по прямой, правильной дуге, и крепятся к жесткой раме.

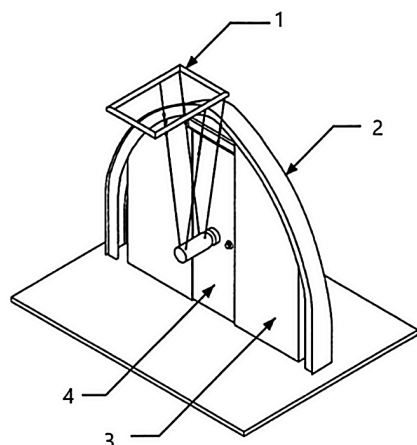


Рис. 4. Схема испытательного стенда по проверке ударостойкости двери: 1 — дверной таран; 2 — элемент каркаса самолета; 3 — элемент стены самолета; 4 — дверь в кабину экипажа

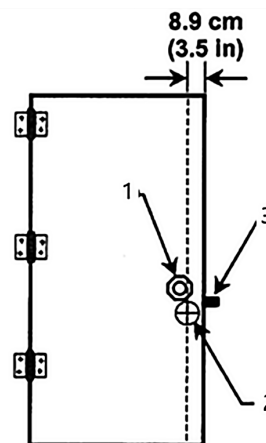


Рис. 5. Схема дверного тарана

Таблица 3

Виды испытаний узлов двери кабины экипажа на ударостойкость

Вид испытаний	Оцениваемый параметр	Условия испытаний
Удар по двери	Стойкость двери к удару	2 удара по 300 Дж
Удар по засову	Стойкость засова к удару	2 удара по 300 Дж
Удар по петле	Стойкость петли к удару	2 удара по 300 Дж
Тянущая нагрузка	Стойкость ручки к тянущей нагрузке	Тянущая нагрузка до 113,5 кг или до тех пор, пока ручка держит нагрузку

При оценке ударостойкости полотна двери, которая надежно запирается, ударник размещается таким образом, чтобы его продольная ось была горизонтальна и перпендикулярна в регламентированной точке удара, исходя из условия критичности по прочности и деформациям от удара. Если дверь имеет однородную конструкцию, точка удара определяется пересечением вертикальной осевой линии двери и линии от центра засова на краю двери до центра петли средней высоты или средней точки между петлями, когда дверь подвешена на двух петлях, или горизонтально поперек двери, если дверь подвешена на непрерывной петле или встроенных штифтах петель.

На двери, по центру точки удара прикрепляют ударный буфер диаметром не более 0,152 м и толщиной не более 0,05 м, изготовленный, например, из ячеистого полистирола.

Ударник располагают таким образом, чтобы его головная часть только касалась поверхности буфера в состоянии покоя. Ударник оттягивают на высоту 0,68 м из условия обеспечения энергии удара 300 Дж и производят удар по полотну двери. Испытания по одной двери проводят дважды, меняя при этом ударный буфер.

При оценке ударостойкости двери в районе размещения засова ударник размещается таким образом, чтобы его ось была горизонтальной и перпендикулярной лицевой стороне двери в точке 0,089 м от края двери и горизонтально на одной линии с дверным засовом. Если дверная ручка

экранирует точку удара, точка удара может быть перемещена вертикально выше или ниже дверной ручки. Схема размещения точки удара на стойкость засова к удару представлена на рис. 6.

При оценке ударостойкости двери в районе размещения петли ударник размещается таким образом, чтобы его ось была горизонтальной и перпендикулярной лицевой стороне двери в точке 0,089 м вниз от верхнего края двери и 0,089 м внутрь от вертикального края двери, содержащего дверную петлю. Если петля мешает, точка удара может быть перемещена. Схема размещения точки удара на стойкость петли к удару представлена на рис. 7.

При испытаниях на стойкость дверной ручки к тянущей нагрузке используют специальное натяжное устройство. Один конец натяжного устройства прикрепляют к жесткой опоре перед ручкой и выравнивают ось устройства так, чтобы она соответствовала первоначальному направлению открытия двери, а другой конец — к ручке таким образом, чтобы исключить проскальзывание. Для проведения испытаний ручки на воздействие тянущей нагрузки дверь закрывают и запирают с помощью замка FL-F. Специальное натяжное устройство может быть гидравлическим или механическим и должно включать в себя датчик нагрузки, тензодатчик или другое калиброванное устройство измерения нагрузки. Схема специального натяжного устройства, включающего захват, гидроцилиндр и динамометр, представлена на рис. 8.

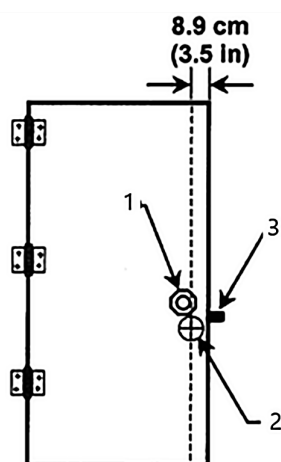


Рис. 6. Схема размещения точки удара на стойкость засова к удару: 1 — дверная ручка; 2 — ударный демпфер и точка удара; 3 — засов двери

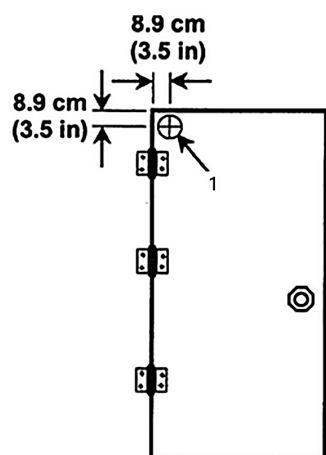


Рис. 7. Схема размещения точки удара на стойкость петли к удару: 1 — ударный буфер и точка удара

К ручке двери в кабину экипажа прикладывают тянущую нагрузку 1113,5 кг в течение 3 с или до тех пор, пока ручка не отделится от двери, в зависимости от того, что произойдет раньше.

Результаты испытаний двери в кабину экипажа на ударостойкость считают неудовлетворительными, если:

- дверь принудительно открывается любым из испытательных ударов по двери, засову или петле, или от тянущей нагрузки, приложенной к ручке;

- возможно проникновение человека в кабину экипажа через съемные панели двери или щели, образованные в результате ударов, если дверь невозможно открыть;

- в результате воздействия на дверную ручку появилась возможность открыть дверь, в том числе с помощью небольших инструментов, таких как карманные ножи, пилки для ногтей или ключи.

Проверка работоспособности методики на ударостойкость была проведена в испытательном центре специальных материалов и изделий

АО «НПО Спецматериалов» (аттестат аккредитации № ИЛ-159 Межгосударственного авиационного комитета) с использованием дверного блока кабины экипажа и смежных с ней конструкций пассажирского самолета Ил-96-300. Вид дверного тарана и ударного буфера, размещенного на двери, представлен на рис. 9.

На рис. 10, 11 показано расположение дверного тарана как в положении до срабатывания, так и в положении удара по полотну двери и по двери в районе размещения петли.

В результате проведенных испытаний было установлено, что дверь принудительно не открывается после ударов по двери, засову, петле, а также от тянущей нагрузки, приложенной к ручке; проникновение человека в кабину экипажа невозможно через съемные панели двери или щели, образованные в результате ударов; после воздействия на дверную ручку тянущей нагрузки отсутствует возможность открыть дверь в кабину экипажа, в том числе с помощью небольших инструментов, таких как карманные ножи, пилки для ногтей или ключи.

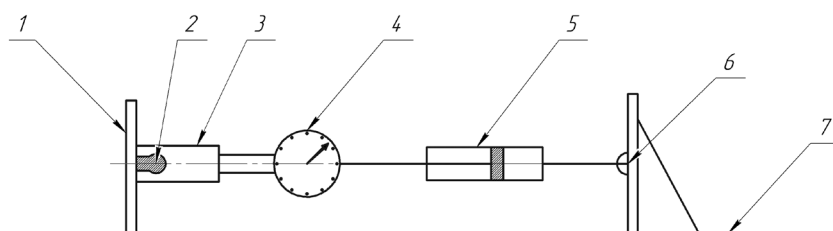


Рис. 8. Схема специального натяжного устройства: 1 — дверь; 2 — ручка двери; 3 — захват; 4 — динамометр; 5 — гидроцилиндр; 6 — жесткая опора; 7 — пол салона экипажа



а



б

Рис. 9. Общий вид дверного тарана (а) и ударного буфера, размещенного на двери (б)

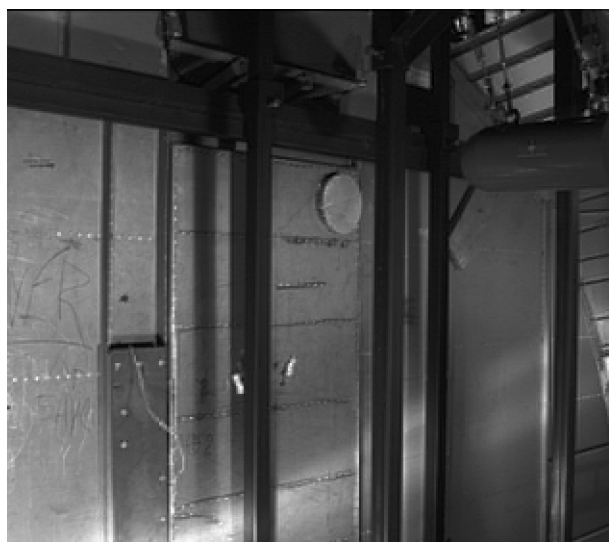


а



б

Рис. 10. Расположение дверного тарана в положении до срабатывания (а) и в положении удара (б) по полотну двери



а



б

Рис. 11. Расположение дверного тарана в положении до срабатывания (а) и в положении удара (б) по двери в районе размещения петли

Таким образом, штатная дверь в кабину экипажа пассажирского самолета Ил-96-300 является надежной защитой экипажа от противоправных действий террористической направленности, связанных с попытками угона самолета, поскольку обеспечивает противоположную стойкость от регламентированных короткоствольных средств поражения, а также удовлетворительную ударостойкость по полотну двери, по двери в районе засова, по двери в районе петли и стойкость дверной ручки к тянущей нагрузке.

Список источников

1. Князева Е.А., Князева Н.А. Воздушное судно как предмет и средство совершения актов незаконного вмешательства в деятельность гражданской авиации // Азиатско-Тихоокеанский регион: экономика, политика, право. 2018. № 1–2. С. 107–116.
2. Алехин В.П. Исторический анализ и международный опыт борьбы с угонами воздушных судов // Научный журнал КубГАУ. 2015. № 106. С. 1–16.

3. Трухан Я. Безопасность авиapolетов // Материалы международной НПК «Балтийский юридический форум «Закон и правопорядок в третьем тысячелетии». 2012. С. 21–25.

4. Зубков Б.В., Прозоров С.Е., Бочкарев А.Н., Зенков А.С. Разработка методов и средств защиты воздушного судна от угрозы взрыва во время полета // Научный вестник МГТУ ГА. Серия Эксплуатация воздушного транспорта и ремонт авиационной техники. Безопасность полетов. 2008. № 127. С. 139–145.

5. Авиационные правила. Часть 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории. Межгосударственный авиационный комитет. Авиационный регистр. 2015. 292 с.

6. Advisory Circular № 25.795-2. Flightdeck Penetration resistance. Federal aviation Administration. U.S. Department of Transportation. ANM-110. 1/10/02. 10 p.

7. Advisory Circular № 25.795-1. Flightdeck Penetration resistance. Federal aviation Administration. U.S. Department of Transportation. ANM-100. 1/10/02. 16 p.

References

1. Knyazeva E.A., Knyazeva N.A. Aircraft as an object and means of committing acts of unlawful

interference in the activities of civil aviation // Asia-Pacific region: economics, politics, law. 2018. No 12. Pp. 107–116.

2. Alekhin V.P. Historical analysis and international experience in combating aircraft hijackings // Scientific journal of KubSAU. 2015. No 106. Pp. 1–16.

3. Trukhan Ya. Flight safety // Materials of the international scientific and practical conference «Baltic Legal Forum «Law and Order in the Third Millennium». 2012. Pp. 21–25.

4. Zubkov B.V., Prozorov S.E., Bochkarev A.N., Zenkov A.S. Development of methods and means of aircraft protection from the threat of explosion during flight // Scientific Bulletin of Moscow State Technical University of Civil Aviation. Series Operation of air transport and repair of aircraft equipment. Flight safety. 2008. No 127. Pp. 139–145.

5. Aviation regulations. Part 25. Airworthiness standards for transport category aircraft. Interstate Aviation Committee. Aviation register. 2015. 292 p.

6. Advisory Circular № 25.795-2. Flightdeck Penetration resistance. Federal aviation Administration. U.S. Department of Transportation. ANM-110. 1/10/02. 10 p.

7. Advisory Circular № 25.795-1. Flightdeck Penetration resistance. Federal aviation Administration. U.S. Department of Transportation. ANM-100. 1/10/02. 16 p.

УДК 623.451

doi: 10.53816/23061456_2025_7–8_82

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ БОЕПРИПАСОВ СТВОЛЬНОЙ АРТИЛЛЕРИИ

WAYS TO IMPROVE THE OPERATIONAL SAFETY OF BARREL ARTILLERY AMMUNITION

Канд. техн. наук А.А. Ошкин, д-р техн. наук А.Б. Терентьев

Ph.D. A.A. Oshkin, D.Sc. A.B. Terentyev

Филиал ВА МТО им. А.В. Хрулева (г. Пенза)

В статье проведен анализ открытых источников по вопросу повышения эксплуатационной безопасности боеприпасов ствольной артиллерии. Рассмотрены пути повышения стойкости боеприпасов к опасным внешним воздействиям. Определено, что наиболее эффективным методом повышения эксплуатационной безопасности боеприпасов является комплексное использование трех ключевых элементов, влияющих на достижение наиболее безопасной реакции боеприпаса при несанкционированном воздействии: снижения чувствительности взрывчатого состава боеприпаса путем создания и применения малочувствительных взрывчатых составов; повышения теплозащитных и ударно-защитных свойств корпусов боеприпасов; совершенствования тары с целью снижения вероятных опасных внешних воздействий на боеприпасы при хранении и транспортировке.

Ключевые слова: боеприпас, безопасность, эксплуатация, опасные внешние воздействия, малочувствительный взрывчатый состав.

The article analyzes open sources on the issue of improving the operational safety of barrel artillery ammunition. Ways to increase the resistance of ammunition to dangerous external influences are considered. It is determined that the most effective method of improving the operational safety of ammunition is the integrated use of three key elements that affect the achievement of the safest reaction of ammunition in case of unauthorized exposure: reducing the sensitivity of the explosive composition of ammunition by creating and using low-sensitivity explosives; improving the thermal and shock-protective properties of ammunition shells; improving packaging in order to reduce the likely dangerous external effects on ammunition during storage and transportation.

Keywords: ammunition, safety, operation, dangerous external influences, low-sensitivity explosive composition.

Анализ опыта ведения локальных войн и вооруженных конфликтов свидетельствует, что ствольная артиллерия сохраняет свой статус ос-

новного средства поражения противника и даже упрочила его за счет широкого использования разведывательных беспилотных летательных ап-

паратов, а также роста доли высокоточных боеприпасов (БП) [1]. Так как артиллерийские БП, сосредоточенные на складах и транспортных узлах, являются одной из первоочередных целей противника, обеспечение их безопасности является важной задачей.

Эксплуатационная безопасность БП как изделий военной техники определяется их устойчивостью к нештатным, критическим внешним воздействиям различного рода. Наиболее распространенными видами опасных внешних воздействий (ОВВ) являются кинетические (механические), ударно-волновые и тепловые. Если такое воздействие не ограничивается единичным БП, а передается на другие с их полным срабатыванием, то происходит цепная реакция, вызывающая техногенную катастрофу с людскими потерями и значительным материальным ущербом. Огромные затраты потребуются на восстановление разрушенных объектов, ликвидацию последствий взрывов и рекультивацию земель из-за разброса неразорвавшихся БП.

При ОВВ, вызванных стихийными явлениями, пожарами, неправильным обращением, террористическими действиями, нападением со стороны противника, БП могут выделять накопленную в них энергию несанкционированно. Если единичный взрыв БП считать достоверным событием, то основная задача обеспечения жи-

вучести объекта хранения состоит в том, чтобы этот единичный взрыв не привел к цепной реакции — массовым взрывам других БП. Таким образом, разработчикам БП необходимо обеспечить наиболее сильный тип реакции при штатном применении и наиболее слабый при несанкционированном воздействии (табл. 1) [2].

Кардинальным путем решения этой задачи является разработка и постановка на снабжение армии БП повышенной стойкости к опасным внешним воздействиям (БПСВВ), получивших в США и других странах НАТО наименование «малоуязвимые» (нечувствительные) (Insensitive Munitions — IM, Low Vulnerability Ammunitions — LOVA, США, Великобритания) или «боеприпасы пониженного» риска (Munitions a Risqués Attenués — MURAT, Франция) [3].

К БПСВВ относятся БП, отвечающие тактико-техническим требованиям и функциональному предназначению в полном соответствии с эксплуатационными характеристиками, но при этом обеспечивающие минимальную вероятность своего непреднамеренного инициирования определенными ОВВ, возникающими случайно или в ходе боевых действий, и минимизацию последующего сопутствующего ущерба системам вооружения, системам материально-технического обеспечения и личному составу [4].

Таблица 1

Описание реакций боеприпасов на опасные внешние воздействия

Тип реакции	Поведение боеприпаса		Эффект взрыва
	Энергетический материал	Корпус	
I	Детонация, сверхзвуковая реакция разложения	Очень быстрая пластическая деформация, полная фрагментация	Интенсивная ударная волна, повреждение соседних конструкций
II	Частичная детонация	Частичная фрагментация и большие фрагменты	То же
III	Быстрое горение материала в оболочке (взрыв)	Взрывное разрушение на большие фрагменты	Взрывной эффект меньше детонации, повреждение соседних конструкций
IV	Горение/ дефлаграция, нерезкий сброс давления	Разрыв, но не более чем на три части, срыв крышек, сброс газов через отверстия	Ограниченный взрывной эффект, давление < 50 мбар (0,05 атм.) на 15 м
V	Горение	Невзрывное повреждение, спокойный выход газов, отделение торцов	Ограниченный взрывной эффект, давление < 50 мбар (0,05 атм.) на 15 м

Первым рубежом защиты от ОВВ является тара, которая повышает защитные свойства БП за счет ослабления начального импульса, выполняя следующие функции: защиту при падении, защиту при пожаре и медленном нагреве, защиту от прострела пуль и осколком, пылевлагозащиту, локализацию реакции взрывчатого состава (ВС) внутри тары.

В настоящее время некоторую часть используемой тары для эксплуатации БП составляет деревянная тара, существенным недостатком которой является легковоспламеняемость и горючесть. Наиболее распространенный способ защиты деревянной тары — использование огнезащитной краски, содержащей жидкое стекло и антипиреновые наполнители, при нанесении которой на тару создается слой, предотвращающий нагрев и возгорание материала. В зависимости от условий и времени эксплуатации лакокрасочные покрытия должны периодически восстанавливаться, что в условиях большого объема производства и оборота осуществлять сложно.

Задача по замене деревянной тары на другую, обладающую более высокими защитными свойствами, прежде всего по ударной прочности, термо- и огнестойкости в современных условиях решается сразу несколькими путями — переходом к металлической таре, использованием таких материалов, как рубленое углеволокно, пропитанное смолой; длинномерное рубленое базальтовое волокно, пропитанное полиамидным связующим; композиционный базальтостекловолокнистый материал в совокупности с легкими металлами и сплавами; стеклоровинг, пропитанный эпоксидным связующим; стеклопластик, пропитанный органическим связующим [5].

Перспективным типом тары является транспортный пакет, состоящий из комплекта футляров с уложенными в них БП, соединенных быстроразборной рамой. Подобный тип применяется в странах НАТО. Футляр предназначен для укладки выстрелов с использованием комплекта вкладышей, состоящих из наборных элементов, обеспечивающих фиксацию БП с целью недопущения продольного и поперечного перемещения, что обеспечивает его сохранность при транспортировке и возможных ударах при падении [6].

Повышение стойкости БП к ОВВ также возможно за счет совершенствования конструкции:

- повышения теплозащитных свойств корпусов (замена материалов, покрытия, внутренних и внешних поверхностей теплозащитными материалами);

- повышения ударно-защитных свойств корпусов за счет использования материалов с повышенной ударостойкостью;

- применения устройств, обеспечивающих вскрытие корпуса при давлениях ниже критических, исключающих переход горения в детонацию.

Хотя подходы к созданию БПСВВ опираются на совершенствование элементов конструкции самого изделия, а также его тары, главным остается разработка малочувствительных взрывчатых составов (МЧВС), максимально соответствующих условиям производства, эксплуатации и применения БП как по безопасности, так и по эффективности. Использование МЧВС значительно повышает безопасность БП в полевых условиях, данный вопрос стал особенно актуальным с учетом широкого применения беспилотных летательных аппаратов в современных локальных войнах и вооруженных конфликтах.

С целью снижения чувствительности взрывчатого вещества (ВВ) к ОВВ разработаны подходы к получению композиций пониженной уязвимости различного назначения [7]:

- синтез ВВ с высокоустойчивой химической структурой малочувствительных ВВ;

- оптимизация гранулометрического состава ВВ за счет снижения дефектности кристаллов;

- применение флегматизаторов (десенсибилизаторов);

- использование инертных и активных горючих-связующих в качестве матрицы, в объеме которой распределены кристаллы ВВ;

- введение в композиционные взрывчатые материалы сокристаллизаторов мощных ВВ, состоящих минимум из двух ВВ, одно из которых обладает высокой безопасностью и, как правило, образует внешнюю оболочку кристалла.

Эталоном среди индивидуальных ВВ пониженной уязвимости принято считать 1,3,5-триамино-2,4,6-тринитробензол (ТАТБ) [8]. На его основе разработан ряд МЧВС различной направленности. При этом среди множества известных ВВ, обладающих низкой чувствительностью, можно выделить следующие, входящие в концепцию пониженной уязвимости (табл. 2):

3-нитро-1,2,4-триазол-5-он (NTO, ONTA);
1,1-диамино-2,2-динитроэтен (FOX-7, ДАДНЭ);

динитрамид N-гуанилмочевины (FOX-12, GUDN);

2,6-диамино-3,5-динитропиразин-1-оксид (LLM-105, ANPZ-O, NPEX-1);

4,10-динитро-2,6,8,12-тетраокса-4,10-диазозовюрцитан (TEX);

2-нитрогуанидин (NGU, NQ);

1,3,3-тринитроазетидин (TNAZ).

Вместе с тем наиболее применяемыми полимерными горючими-связующими для БПСВВ являются:

полиглицидилнитрат (polyGLIN);

поли-3,3-бис-(азидометил)-оксетан (polyBAMO);

поли-3-азидометил-3-метил-оксетан (polyAMMO);

полиглицидилазид (GAP);

полибутадиен с гидроксильными концевыми группами (НТРВ) [7].

Разработанное в конце 1990-х годов новое ВВ 1,1-диамино-2,2-динитроэтилен (ДАДНЭ) привлекает к себе внимание высокими энергетическими характеристиками в сочетании с низкой чувствительностью к механическому воздей-

вию и ударной волне, а также малой вероятностью несанкционированного перехода горения в детонацию [9].

Значительное количество современных публикаций показывает перспективность использования ВС на основе ДАДНЭ в БПСВВ, особенно в этой связи стоит отметить Китай, США и Индию. Ожидается, что чувствительность ДАДНЭ может быть такой же низкой, как у ТАТВ, при этом значительно превосходить его по взрывным характеристикам [10].

Таким образом, проведенный анализ открытых источников показал, что наиболее эффективным методом повышения эксплуатационной безопасности БП является комплексное использование трех ключевых элементов, влияющих на достижение наиболее безопасной реакции БП при несанкционированном воздействии: снижения чувствительности ВС БП путем создания и применения МЧВС; повышения теплозащитных и ударно-защитных свойств корпусов БП; совершенствования тары с целью снижения вероятных ОВВ на БП при хранении и транспортировке. Результаты работ в этих направлениях обеспечат не только сохранение эффективности БП, но и значительное повышение живучести их запасов.

Таблица 2

Энергетические свойства МЧВС

Наименование ВС	ΔH_f , кДж/кг	IS, Дж (чувствительность к удару)	Брутто-формула
NTO	-774,6	>25	$C_2H_2N_4O_3$
ТАТВ	542	>50	$C_6H_6N_6O_6$
FOX-7 (ДАДНЭ)	119	25	$C_2H_4N_4O_4$
FOX-12	-1702	31	$C_2H_7N_7O_5$
LLM-105	-60	8,25	$C_4H_4N_6O_5$
TEX	-2064	15-19	$C_6H_6N_4O_8$
NGU	-893	>50	$C_1H_4N_4O_2$
TNAZ	190	6,8	$C_3H_4N_4O_6$
PolyAMMO	345	22	$C_5H_9N_3O_1$ (звено)
GAP	1150	7,9	$C_3H_5N_3O_1$ (звено)
PolyBAMO	2460	5	$C_5H_8N_6O_1$ (звено)
PolyGLIN	-2840	>50	$C_3H_5N_1O_4$ (звено)

Список источников

1. Гаврилов А.Д., Грудинин И.В., Майбу-
ров Д.Г. и др. Два года специальной военной
операции: некоторые итоги, вероятные перспек-
тивы // Вестник Академии военных наук. 2024.
№ 2 (87). С. 54–64.
2. Мацеевич Б.В. Боеприпасы повышенной
стойкости к опасным внешним воздействиям:
особенности конструирования, испытаний и эксп-
луатации. Красноармейск: КНИИМ, 2014. 168 с.
3. Терентьев А.Б., Сонин Н.С., Давыдов Д.Р.
и др. К вопросу о разработке боеприпасов с по-
вышенной стойкостью к опасным внешним воз-
действиям и методах их испытания // Труды
Всероссийской конференции «Внутрикамерные
процессы и горение в установках на твердом то-
пливе и ствольных системах». Ижевск: ИжГТУ,
2017. С. 281–287.
4. Милославский О.Ю., Петров В.В., Тро-
фимов Ю.С. и др. Испытание боеприпасов на
стойкость к воздействию струи кумулятивного
заряда. Проблемные вопросы // Известия ТулГУ.
Технические науки. 2017. Вып. 11. Ч. 3. С. 55–60.
5. Савченко Ф.А. Тенденции разработки пер-
спективной тары для артиллерийских боеприпа-
сов // Военное обозрение. 2017. № 1. С. 35–40.
6. Спирин Р.Б., Дубинин С.Г., Емельянов В.С.
Новая тара продлит «жизнь» боеприпасов // Мате-
риально-техническое обеспечение Вооруженных
Сил Российской Федерации. 2020. № 10. С. 85–87.
7. Комов В.Н., Козырев Н.В., Попов В.О. Рас-
четно-теоретическая оценка высоконаполнен-
ных метательных композиций на основе ВВ по-
ниженной уязвимости // Южно-Сибирский науч-
ный вестник. 2022. № 6. С. 123–132.
8. Boddu V.M. 2,4,6-Triamino-1,3,5-trinitroben-
zene (TATB) and TATB-based formulations // Journal
of Hazardous Materials. 2010. No 1–3. Vol. 181.
9. Надыкто Б.А., Ломайкин А.И. Уравнение
состояния нереагирующего взрывчатого веще-
ства FOX-7 и уравнение состояния его продук-
тов взрыва // Вопросы атомной науки и техни-
ки. Серия: Теоретическая и прикладная физика.
2017. № 4. С. 36–42.
10. Anniyappan M., Talawar M.B., Sinha R.K.
и др. Обзор современных энергетических мате-
риалов для разработки малочувствительных бое-
припасов // Физика горения и взрыва. 2020. Т. 56.
№ 5. С. 3–31.

References

1. Gavrilov A.D., Grudinin I.V., Maibu-
rov D.G. et al. Two years of a special military opera-
tion: some results, probable prospects // Bulletin of
the Academy of Military Sciences. 2024. No 2 (87).
Pp. 54–64.
2. Matseevich B.V. Ammunition with increased
resistance to hazardous external influences: design,
testing and operation features. Krasnoarmeysk: JSC
KNIIM, 2014. 168 p.
3. Terentyev A.B., Sonin N.S., Davydov D.R.
et al. On the development of ammunition with
increased resistance to hazardous external influences
and methods of their testing // Proceedings of the
All-Russian Conference «Intra-chamber processes
and combustion in solid fuel installations and
barrel systems». Izhevsk: Izhevsk State Technical
University, 2017. Pp. 281–287.
4. Miloslavsky O.Yu., Petrov V.V., Trofi-
mov Yu.S. et al. Testing ammunition for resistance
to the effects of a cumulative charge jet. Problematic
issues // Bulletin of Tula State University. Technical
sciences. 2017. Issue 11. Part 3. Pp. 55–60.
5. Savchenko F.A. Trends in the development
of promising containers for artillery ammunition //
Military Review. 2017. No 1. Pp. 35–40.
6. Spirin R.B., Dubinin S.G., Emelianov V.S.
New containers will extend the «life» of ammuni-
tion // Logistics support of the Armed Forces of the
Russian Federation. 2020. No 10. Pp. 85–87.
7. Komov V.N., Kozyrev N.V., Popov V.O.
Calculation and theoretical assessment of highly
filled propellant compositions based on low-vulne-
rability explosives // South Siberian Scientific Bulle-
tin. 2022. No 6. Pp. 123–132.
8. Boddu V.M. 2,4,6-Triamino-1,3,5-trinitro-
benzene (TATB) and TATB-based formulations //
Journal of Hazardous Materials. 2010. No 1–3.
Vol. 181.
9. Nadykto B.A., Lomaikin A.I. Equation of
state of non-reacting explosive FOX-7 and equation
of state of its explosion products // Issues of atomic
science and technology. Series: Theoretical and
applied physics. 2017. No 4. Pp. 36–42.
10. Anniyappan M., Talawar M.B., Sinha R.K.
et al. Review of modern energetic materials for
the development of low-sensitivity ammunition //
Physics of Combustion and Explosion. 2020.
Vol. 56. No 5. Pp. 3–31.

УДК 623.462: 623.4.018+004.94

doi: 10.53816/23061456_2025_7–8_87

**РАЦИОНАЛЬНЫЙ ВЫБОР ЧИСЛА МОДЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ
ДЛЯ ДОСТОВЕРНОЙ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК
СЛОЖНОЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ
ПРИ ОГРАНИЧЕННОМ ОБЪЕМЕ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ**

**RATIONAL CHOICE OF THE NUMBER OF MODEL EXPERIMENTS FOR A
RELIABLE ASSESSMENT OF THE CHARACTERISTICS OF A COMPLICATED
RADIO-ELECTRONIC SYSTEM WITH A LIMITED VOLUME OF FIELD TESTS**

Д-р техн. наук А.Н. Детков

D.Sc. A.N. Detkov

Государственный Научно-Исследовательский Институт Авиационных Систем

Показано, что достоверная оценка характеристик сложной радиоэлектронной системы (СРЭС) может быть достигнута лишь совместным использованием результатов натурных испытаний и модельных экспериментов. Получена формула оптимального априорного числа модельных экспериментов при ограниченном объеме натурных испытаний и заданной точности оценки характеристик СРЭС. Апостериорное количество модельных экспериментов уточняется при определении «непротиворечивости» результатов совместной оценки характеристик СРЭС по результатам натурных испытаний и модельных экспериментов с использованием критериев Смирнова и Лемана — Розенблатта.

Ключевые слова: сложная радиоэлектронная система, натурные испытания, модельные эксперименты, критерии согласованности Смирнова и Лемана — Розенблатта.

It is shown that a reliable assessment of the characteristics of a complicated radioelectronic system (CRES) can be achieved only by combining the results of field tests and model experiments. A formula has been obtained for the optimal a priori number of model experiments with a limited volume of field tests and a given accuracy in estimating the characteristics of CRES. The a posteriori number of model experiments is specified when determining the «consistency» of the results of a joint assessment of the characteristics of CRES based on the results of field tests and model experiments using the Smirnov and Lehman-Rosenblatt criteria.

Keywords: complicated radio-electronic system, field tests, model experiments, Smirnov and Lehman-Rosenblatt consistency criteria.

Введение

Испытания играют ключевую роль в процессе создания сложной радиоэлектронной системы (СРЭС) и в полной мере определяют качество отработки и готовность СРЭС к работе в реальных

условиях. Конечная цель испытаний состоит в том, чтобы в момент окончания ОКР получить образец СРЭС, тактико-технические характеристики которого соответствуют требованиям ТТЗ. При этом качественно и количественно оценить весь перечень характеристик, заданных ТТЗ

с помощью натурных экспериментов, не всегда представляется возможным [1].

Поэтому задача создания образцов СРЭС с учетом значительного повышения интеллекта их систем управления при сокращении сроков разработки и испытаний СРЭС, а также в условиях ограниченных объемов финансирования становится весьма актуальной.

Анализ традиционной системы испытаний сложных радиоэлектронных систем

Проведенный системный анализ [2] существующей технологии создания, отработки, оценки, контроля и подтверждения тактико-технических характеристик (ТТХ) СРЭС показал, что традиционная практика испытаний имеет ряд существенных недостатков, которые порождают принципиальные противоречия требований к системе создания перспективных образцов СРЭС.

Относительная длительность, необходимость расходования ресурса работы реальных средств и значительные экономические затраты на проведение натурных испытаний заставляют искать пути более рациональной организации работы при оценке характеристик СРЭС.

Накопленный в последние годы опыт работы с математическими моделями и средствами полунатурного моделирования показал, что они являются эффективным, во многих случаях обязательным инструментом решения различных задач разработки и испытаний.

Акцент на моделирование при испытаниях целесообразно делать в связи с ограниченным числом технических средств полигона по заданию внешних условий целевой и помеховой обстановки, сложности имитации условий огневого и радиоэлектронного противодействия.

Рациональное сочетание моделирования и других взаимно согласованных методов исследования в рамках комплексного опытно-теоретического метода позволяет оценить значения показателей эффективности для всех практически важных условий применения СРЭС.

Поэтому в настоящее время к основным методам испытаний при оценке характеристик СРЭС следует отнести натурные испытания (полигонные, летные) и эксперименты с использованием моделей, проводимые на основе математического моделирования на средствах модели-

рования, в частности на комплексах полунатурного моделирования [1, 3].

Требование системного подхода означает, что комплексы информационных, расчетных задач и математических моделей, используемые при разработке СРЭС и различных уровнях испытаний, должны быть составными элементами общей системы задач и моделей, быть согласованными между собой по цели и назначению, оперативным постановкам, составу учитываемых факторов и ограничениям, содержанию и формам входных и выходных данных, критериям эффективности и нормативам, системам классификации и кодирования, структуре и содержанию баз данных, принципам защиты обрабатываемой информации и используемым алгоритмическим языкам [1].

Таким образом, ряд совершенно очевидных достоинств моделирования позволяет считать его в качестве одного из главных методов оценки характеристик СРЭС. Однако при этом следует иметь в виду и основную трудность применения этого метода — полученные результаты требуют специальной проверки на достоверность сравнением с результатами натурных экспериментов.

Опыт испытаний и исследований сложных систем в диапазоне различных условий показывает, что наиболее полная и достоверная оценка СРЭС может быть достигнута лишь совместным использованием результатов натурных испытаний и модельных экспериментов, что делает испытания СРЭС наиболее эффективными в целом.

Совместное использование результатов натурных и модельных экспериментов при оценке характеристик сложных радиоэлектронных систем

Рассматривая испытания, как процесс получения информации об испытываемом объекте, в качестве выигрыша можно принять среднее количество информации $\bar{I}$ об оцениваемых характеристиках [4].

$$\bar{I} = \frac{1}{\Phi\Psi} \sum_{\varphi=1}^{\Phi} \sum_{\psi=1}^{\Psi} I^{(\varphi\psi)},$$

где Φ — количество оцениваемых характеристик;

Ψ — количество условий, в которых необходимо оценить характеристики;

$I^{(\varphi\psi)}$ — количество информации, получаемое при оценке ф-й характеристики в ψ -х условиях.

С учетом всей доступной информации, получаемой в натурных испытаниях и модельных экспериментах, в соответствии с принципом максимума неопределенности, для оценки уровня неопределенности целесообразно при вычислении $I^{(\varphi\psi)}$ использовать энтропию [5]

$$I^{(\varphi\psi)} = h_{\text{н}}^{(\varphi\psi)} - h_{\text{н+м}}^{(\varphi\psi)} = \frac{1}{2} \log_2 \left(\frac{D_{\text{н}}^{(\varphi\psi)}}{D_{\text{н+м}}^{(\varphi\psi)}} \right)$$

[двоичных бит],

где $h_{\text{н}}^{(\varphi\psi)}$ и $D_{\text{н}}^{(\varphi\psi)}$ — энтропия и дисперсия оценки ф-й характеристики в ψ -х условиях в натурных экспериментах при испытании СРЭС;

$h_{\text{н+м}}^{(\varphi\psi)}$ и $D_{\text{н+м}}^{(\varphi\psi)}$ — энтропия и дисперсия оценки ф-й характеристики в ψ -х условиях в натурных и модельных экспериментах при испытании СРЭС.

Существенным преимуществом такого подхода является возможность формализации до-

полнительной информации о параметрах неопределенности результатов измерений в процессе оценки соответствующих характеристик СРЭС [6].

Ценность информации об оцениваемых характеристиках СРЭС различна и определяется степенью их влияния на частный показатель эффективности испытаний. Поэтому целесообразно использовать не среднее количество информации, а среднее взвешенное с весовыми коэффициентами:

$$\tilde{I} = \frac{1}{2} \sum_{\varphi=1}^{\Phi} \sum_{\psi=1}^{\Psi} K_{\text{зн}}^{(\varphi)} \log_2 \left(\frac{D_{\text{н}}^{(\varphi\psi)}}{D_{\text{н+м}}^{(\varphi\psi)}} \right), \quad (1)$$

где $K_{\text{зн}}^{(\varphi)}$ — весовой коэффициент значимости ф-й характеристики.

Выигрыш в точности совместной оценки показателя эффективности ф-й характеристики в ψ -х условиях определяется отношением дисперсий оценок [7]

$$\beta_{\text{к}}^{(\varphi\psi)} = \frac{D_{\text{н}}^{(\varphi\psi)} \left\{ \bar{R}_{\text{н}}^{(\varphi\psi)} \right\}}{D_{\text{н+м}}^{(\varphi\psi)} \left\{ \bar{R}_{\text{н+м}}^{(\varphi\psi)} \right\}} = \frac{\left(m^{(\varphi\psi)} + n^{(\varphi\psi)} \right)^2}{\left(m^{(\varphi\psi)} \right)^2 + \left(n^{(\varphi\psi)} \right)^2 \frac{D_{\text{м}}^{(\varphi\psi)} \left\{ \bar{R}_{\text{м}}^{(\varphi\psi)} \right\}}{D_{\text{н}}^{(\varphi\psi)} \left\{ \bar{R}_{\text{н}}^{(\varphi\psi)} \right\}}}, \quad (2)$$

где $m^{(\varphi\psi)}$, $n^{(\varphi\psi)}$ — число натурных экспериментов и число модельных экспериментов для оценки ф-й характеристики в ψ -х условиях соответственно;

$\bar{R}_{\text{н+м}}^{(\varphi\psi)}$, $\bar{R}_{\text{н}}^{(\varphi\psi)}$ и $\bar{R}_{\text{м}}^{(\varphi\psi)}$ — выборочные значения ф-й характеристики в ψ -х условиях, определяемой: по результатам совместной оценки натурных и модельных экспериментов; по результатам натурных экспериментов; по результатам модельных экспериментов соответственно. Причем совместная оценка определяется по правилу «усреднения» [2]

$$\bar{R}_{\text{н+м}}^{(\varphi\psi)} = C_{\text{н}} \bar{R}_{\text{н}}^{(\varphi\psi)} + C_{\text{м}} \bar{R}_{\text{м}}^{(\varphi\psi)}, \quad (3)$$

где $C_{\text{н}} = \frac{m^{(\varphi\psi)}}{m^{(\varphi\psi)} + n^{(\varphi\psi)}}$, $C_{\text{м}} = \frac{n^{(\varphi\psi)}}{m^{(\varphi\psi)} + n^{(\varphi\psi)}}$ — весовые коэффициенты.

Оптимальное число модельных экспериментов $n_{\text{опт}}^{(\varphi\psi)}$ определяется из выражения (2) и зави-

сит от объема натурных испытаний $m^{(\varphi\psi)}$ и требований к точности оценки $D_{\text{н}}^{(\varphi\psi)}$ и $D_{\text{м}}^{(\varphi\psi)}$:

$$n_{\text{опт}}^{(\varphi\psi)} = m^{(\varphi\psi)} \frac{D_{\text{н}}^{(\varphi\psi)}}{D_{\text{м}}^{(\varphi\psi)}}, \quad (4)$$

где $D_{\text{м}}^{(\varphi\psi)}$ — дисперсия оценки ф-й характеристики в ψ -х условиях в модельных экспериментах при испытании СРЭС.

На рисунке представлена зависимость выигрыша в точности совместной оценки $\beta_{\text{к}}^{(\varphi\psi)}$ от числа модельных экспериментов $n^{(\varphi\psi)}$ при заданных значениях ограниченного объема натурных экспериментов $m^{(\varphi\psi)}$ и отношении дисперсий $\beta^{(\varphi\psi)} = D_{\text{м}}^{(\varphi\psi)} / D_{\text{н}}^{(\varphi\psi)}$. Из графиков видно, что оптимальное число модельных экспериментов для различных значений $\beta^{(\varphi\psi)}$ равно 20, 11 и 8 соответственно.

Для определения интервальной совместной оценки характеристик представим (3) в виде суммы двух независимых случайных величин

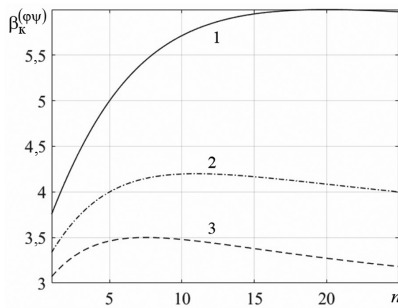


Рис. Зависимость выигрыша в точности совместной оценки $\beta_k^{(\psi)}$ от числа модельных экспериментов n при заданных значениях числа натурных экспериментов $m = 5$ и заданном отношении дисперсий: 1 — $\beta^{(\psi)} = 0,2$; 2 — $\beta^{(\psi)} = 0,3125$; 3 — $\beta^{(\psi)} = 0,4$

с известными законами распределения, то есть композицией двух законов распределения

$$\tilde{R}_k = C_n \tilde{R}_n + C_m \tilde{R}_m.$$

Пусть плотность вероятности совместной оценки определяется гауссовским распределением

$$f(\tilde{R}_k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi \mathbf{D}\{\tilde{R}_k\}}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \frac{(\tilde{R}_k - \mathbf{M}\{\tilde{R}_k\})^2}{\mathbf{D}\{\tilde{R}_k\}} \right\}, \quad (5)$$

тогда доверительный интервал совместной оценки определяется по формуле

$$\gamma = \left\{ \tilde{R}_k - t_\alpha \sqrt{\mathbf{D}\{\tilde{R}_k\}}; \tilde{R}_k + t_\alpha \sqrt{\mathbf{D}\{\tilde{R}_k\}} \right\}, \quad (6)$$

где t_α — квантиль нормального распределения при заданной доверительной вероятности α ;

$\mathbf{M}\{\tilde{R}_k\} = C_n \bar{R}_n + C_m \bar{R}_m$ — математическое ожидание совместной оценки;

$\mathbf{D}\{\tilde{R}_k\}$ — дисперсия совместной оценки:

$$\mathbf{D}\{\tilde{R}_k\} = C_n^2 \mathbf{D}\{\bar{R}_n\} + C_m^2 \mathbf{D}\{\bar{R}_m\}. \quad (7)$$

Определение «непротиворечивости» результатов совместной оценки характеристик сложных радиоэлектронных систем по результатам натурных испытаний и модельных экспериментов

В связи с необходимостью использования моделей для оценки характеристик в большом

диапазоне изменений условий необходимо оценить их пригодность к моделированию, что определяется по статистической совместимости результатов модельных экспериментов и натурных испытаний по выборкам ограниченного объема.

Необходимо иметь надежные методы оценки адекватности, точности и проверки моделей. Под адекватностью моделей понимается их идентичность по определенным признакам (показателям) реальному объекту испытаний, то есть соответствие между результатами функционирования реального образца СРЭС и его модели в заданных условиях по оцениваемым показателям (тактико-техническим характеристикам).

Среди множества статистических критериев (параметрических и непараметрических), используемых для проверки однородности, самым важным является проверка гипотез о законах распределения модельных экспериментов и натурных испытаний по выборкам ограниченного объема.

У исследователя, стоящего перед проблемой решения таких задач, несмотря на обилие публикаций, возникает множество вопросов, так как остается не ясным, в каких случаях применение какого критерия предпочтительно. Отсутствие указаний не позволяет в конкретной ситуации выбрать наиболее мощный критерий. Выбор же критериев проверки гипотез относительно законов распределения, соответствующих двум выборкам, более скромнен. Как правило, на практике используется либо критерий Смирнова, либо критерий Лемана — Розенблатта [8].

Задача проверки однородности двух выборок формулируется следующим образом. Пусть имеются две упорядоченные по возрастанию независимые выборки оценки ψ -й характеристики в ψ -х условиях, полученные по результатам модельных экспериментов и натурных испытаний размером $n + m$:

$$x_1 < x_2 < \dots, < x_n \text{ и } y_1 < y_2 < \dots, < y_m. \quad (8)$$

Проверяется гипотеза о том, что две выборки извлечены из одной и той же генеральной совокупности, то есть: функции распределения $F(x) = G(x)$ при любом x .

Обычно предполагается, что $F(x)$ и $G(x)$ непрерывны и строго возрастают, а F_n , G_m —

эмпирические функции распределения, построенные по этим выборкам (8).

Принятие решения по двухвыборочному критерию Смирнова

Если статистика критерия

$$Z = D_{n,m} \sqrt{\frac{nm}{n+m}}, \quad (9)$$

где $D_{n,m} = \sup_x |F_n - G_m|$ — метрика Колмогорова, не превышает квантиль распределения Колмогорова K_α для заданного уровня значимости α , то нулевая гипотеза H_0 об однородности выборок принимается. В противном случае гипотеза отвергается.

Однако при ограниченных значениях n и m случайные величины $D_{n,m}$ являются дискретными, и множество их возможных значений представляет собой решетку с шагом $1/k$, где k — наименьшее общее кратное m и n [9].

Гладкость распределения статистики сильно зависит от величины k . Поэтому предпочтительнее применять критерий, когда объемы выборок n и m не равны и представляют собой взаимно простые числа.

Принятие решения по двухвыборочному критерию Лемана — Розенблатта

Статистика критерия Лемана — Розенблатта для проверки однородности двух независимых выборок имеет вид:

$$A = \frac{nm}{n+m} \int_{-\infty}^{\infty} (F_n(x) - G_m(x))^2 dH_{n+m}(x),$$

где $H_{n+m}(x)$ — эмпирическая функция распределения, построенная по объединенной выборке. Легко видеть, что

$$H_{n+m}(x) = \frac{n}{n+m} F_n(x) + \frac{m}{n+m} G_m(x).$$

Поскольку функции распределения независимых выборок непрерывны, то с вероятностью 1 все выборочные значения различны, совпадения отсутствуют. Статистика A представляется также в виде [9]:

$$A = \frac{1}{nm(n+m)} \left(n \sum_{i=1}^n (r_i - i)^2 + m \sum_{j=1}^m (s_j - j)^2 \right) - \frac{4nm-1}{6(n+m)},$$

где r_i — ранг x_i ;

s_j — ранг y_j в общем вариационном ряду, построенном по объединенной выборке.

Как правило, мощность критерия Лемана — Розенблатта оказывается выше мощности критерия однородности Смирнова [10]. Однако относительно очень близких альтернатив несколько выше оказывается мощность критерия Смирнова, так как в критерии Смирнова мера отклонения линейная, а в критерии Лемана — Розенблатта — квадратичная.

Выводы

При обработке результатов испытаний обычно имеют дело с выборками достаточно ограниченного или совсем малого объема. Следует отчетливо понимать, что критерии однородности вследствие низкой мощности при малых объемах выборок не способны различать близкие конкурирующие законы. Поэтому проверяемая гипотеза об однородности выборок, даже в случае ее несправедливости, чаще не будет отклоняться. Увеличение числа модельных экспериментов при ограниченном числе натуральных испытаний, по сути дела увеличивает как мощность критерия, так и точность оценки.

В случае критерия Смирнова из-за ступенчатого характера распределения статистики (9) (особенно при $m = n$) использование предельного распределения Колмогорова $K(S)$ для инженера-испытателя будет связано с очень приблизительным знанием действительного уровня значимости (вероятности ошибки первого рода) и соответствующего критического значения. Поэтому при построении процедур проверки однородности по критерию Смирнова рекомендуется: сначала использовать формулу (4), а затем выбирать n так, чтобы n и m представляли собой взаимно простые числа, а их наименьшее общее кратное было максимальным и равным mn . Тогда применение распределения Колмогорова в качестве распределения статистики (8) критерия Смирнова будет корректным при относительно малых n и m .

Таким образом, для проверки однородности целесообразно рекомендовать применение как критерия Смирнова, так и критерия Лемана — Розенблатта.

Список источников

1. Бариев Р.А., Балык О.А. Проблемы разработки и применения математических моделей и средств моделирования в процессе разработки и испытаний авиационной техники и вооружения // Труды ГосНИИАС. Серия: Вопросы авионики. 2019. Вып. 3 (43). С. 3–9.

2. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. М.: Наука, 1981. 488 с.

3. Желтов С.Ю., Кислицын Ю.Д., Стефанов В.А., Федосов Е.А. Моделирование боевых авиационных комплексов и их интеграция с АСП // Труды ГосНИИАС. Серия: Вопросы авионики. 2019. Вып. 2 (42). С. 3–13.

4. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. М.: Сов. радио, 1966. 680 с.

5. Кивалов А.Н. Комплексный подход к повышению качества оценивания характеристик образцов вооружения на этапе полигонных испытаний // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2015. № 1–2 (79–80). С. 121–127.

6. Анисимов Е.Г., Анисимов В.Г., Сазыкин А.М., Усиков Р.Ф. Методические положения сокращения объема выборки при испытаниях артиллерийских боеприпасов // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2019. № 9–10 (135–136). С. 90–96.

7. Любейко В.И., Поляков С.В., Старусев А.В. Метод оценки критериев эффективности АСУ при заданном техническом требовании на систему // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2012. № 4 (91). С. 138–142.

8. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Изд-во Юрайт, 2016. 479 с.

9. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. М.: Наука, 1983. 416 с.

10. Лемешко Б.Ю., Постовалов С.Н. Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим: ме-

тодические рекомендации. Ч. II. Непараметрические критерии. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1999. 85 с.

References

1. Bariyev R.A., Balyk O.A. Problems of development and application of mathematical models and modeling tools in the process of development and testing of aviation equipment and weapons // Trudy GosNIIAS. Seriya: Voprosy avioniki. 2019. No 3 (43). Pp. 3–9.

2. Moiseyev N.N. Mathematical problems of systems analysis. M.: Nauka, 1981. 488 p.

3. Zheltov S.YU., Kislitsyn YU.D., Stefanov V.A., Fedosov Ye.A. Modeling of combat aviation systems and their integration with ASP // Trudy GosNIIAS. Seriya: Voprosy avioniki. 2019. No 2 (42). Pp. 3–13.

4. Tikhonov V.I. Statistical radio engineering. M.: Sov. radio, 1966. 680 p.

5. Kivalov A.N. Integrated approach to improving the quality of evaluation of characteristics of weapons samples at the stage of field tests // Voprosy oboronnoy tekhniki. Seriya 16. Tekhnicheskiye sredstva protivodeystviya terrorizmu. 2015. No 1–2 (79–80). Pp. 121–127.

6. Anisimov Ye.G., Anisimov V.G., Sazykin A.M., Usikov R.F. Methodological provisions for reducing the sample size during testing of artillery ammunition // Voprosy oboronnoy tekhniki. Seriya 16. Tekhnicheskiye sredstva protivodeystviya terrorizmu. 2019. No 9–10 (135–136). Pp. 90–96.

7. Lobeyko V.I., Polyakov S.V., Starusev A.V. Method for assessing the criteria for the effectiveness of an automated control system with a given technical requirement for the system // Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2012. No 4 (91). Pp. 138–142.

8. Gmurman V.Ye. Probability Theory and Mathematical Statistics. M.: Izd-vo Yurayt, 2016. 479 p.

9. Bol'shev L.N., Smirnov N.V. Tables of mathematical statistics. M.: Nauka, 1983. 416 p.

10. Lemeshko B.YU., Postovalov S.N. Applied statistics. Rules for testing the agreement of the experimental distribution with the theoretical one: methodological recommendations. Part II. Nonparametric criteria. Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 1999. 85 p.

УДК 519.8

doi: 10.53816/23061456_2025_7–8_93

АЛГОРИТМ КОЛЛЕКТИВНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАДАЧ ALGORITHM FOR COLLECTIVE DISTRIBUTION OF OBJECTIVES

Канд. техн. наук А.Е. Привалов, канд. техн. наук М.А. Александров, канд. техн. наук Е.Л. Яковлев

Ph.D. A.E. Privalov, Ph.D. M.A. Aleksandrov, Ph.D. E.L. Iakovlev

Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского

В статье представлен алгоритм коллективного распределения задач в группировке БПЛА, предназначенных для мониторинга возникновения и развития чрезвычайных ситуаций природного и техногенного происхождения. В основе разработки лежит применение управляющего цифрового двойника, обеспечивающего принципиально новый подход к координации беспилотных систем. Суть предложенного решения заключается в создании многоагентной системы управления, где виртуальное пространство цифрового двойника становится платформой для генерации управляющих воздействий. Такой подход позволяет перенести сложные вычислительные процессы в виртуальную среду, сохраняя при этом оперативность реагирования всей группировки на динамично меняющиеся условия чрезвычайной ситуации, что особенно критично при ликвидации последствий катастроф.

Ключевые слова: управляющий цифровой двойник, коллективное распределение задач.

The article presents an algorithm for the collective distribution of targets by a group of UAVs designed to monitor the occurrence and development of emergencies of natural and man-made origin. The development is based on the use of a control digital twin, which provides a fundamentally new approach to coordinating unmanned systems. The essence of the proposed solution is to create a multi-agent control system, where the virtual space of the digital twin becomes a platform for generating control actions. This approach allows you to transfer complex computing processes to a virtual environment, while maintaining the responsiveness of the entire group to dynamically changing emergency conditions, which is especially critical in disaster recovery.

Keywords: control digital twin, collective distribution of objectives.

Введение

Современные технологии активно используют БПЛА и их групповые формации для решения сложных задач в условиях высокой неопределенности и динамично меняющейся обстановки. Особое значение имеет мониторинг, локализация и ликвидация чрезвычайных ситуаций (ЧС), для чего создаются как штатные, так и нештатные подразделения беспилотников.

Помимо совершенствования самих аппаратов, значительный прогресс достигнут в области группового управления, включая методы координации роев, групп и отдельных единиц БПЛА [8–10].

В настоящее время выделяют два принципиально разных подхода к организации управления:

– централизованный — контроль осуществляется через единый командный центр;

– децентрализованный — аппараты взаимодействуют автономно на основе локальных алгоритмов.

Эти методы находят применение в различных сценариях — от военных операций до гражданских миссий по ликвидации ЧС [4].

Основные особенности централизованного и децентрализованного управления группами БПЛА заключаются в том, что:

1. Централизованное управление, предполагает наличие удаленного командного центра, имеет два ключевых ограничения:

– неполнота информации (центр не обладает детальными данными о текущем состоянии каждого БПЛА и динамически изменяющейся обстановке);

– вычислительная сложность (с ростом числа аппаратов в группе задача оптимизации их действий становится экспоненциально сложнее, что приводит к задержкам в принятии решений. Это делает централизованный подход малоэффективным в условиях быстро меняющейся оперативной обстановки, например, при ликвидации ЧС).

2. Децентрализованное управление, при котором каждый БПЛА автономно принимает решения, направленные на достижение общей цели, обеспечивает:

– высокую скорость реакции на изменения среды;

– устойчивость системы к выходу отдельных элементов из строя.

Однако такой подход не гарантирует глобальной оптимальности решений и требует:

– согласованного взаимодействия между аппаратами;

– совместимых протоколов связи;

– единых алгоритмов управления.

Проблема совместимости

Современные БПЛА различаются по назначению, техническим характеристикам и программному обеспечению, что осложняет их совместную работу в децентрализованном режиме. Как следствие, для каждой новой задачи придется разрабатывать специализированный комплекс, что увеличивает временные и финансовые затраты [1].

В статье предлагается гибридный подход, сочетающий преимущества обоих методов. Управ-

ляющие воздействия формируются децентрализованно, но в виртуальной среде цифрового двойника группы БПЛА. Это позволяет сохранить гибкость и скорость реакции децентрализованных систем, исключив необходимость сложной организации взаимодействия между реальными аппаратами [3].

Такой метод особенно актуален в условиях активного развития технологий IoT и высокоскоростной передачи данных, когда традиционное централизованное управление не успевает адаптироваться к быстро меняющейся обстановке [2].

Постановка задачи

Исходные данные.

1. Объект управления — совокупность БПЛА различного целевого назначения (I — количество БПЛА):

$$R = \{r_i | i = \overline{1, I}\}.$$

Каждый БПЛА описывается кортежем:

$$r_i = \left\langle X, Y, Z, U, \phi, \psi \left| \begin{array}{l} \phi: X \times Y \times Z \times U \times T \rightarrow Z, \\ \psi: X \times Y \times Z \times U \times T \rightarrow Y \end{array} \right. \right\rangle_i.$$

где X — множество входных воздействий;

Y — множество выходных воздействий;

Z — множество внутренних состояний;

U — множество управляющих воздействий;

ϕ — функция переходов;

ψ — функция выходов.

2. Перечень задач БПЛА:

$$G = \{g_j | j = \overline{1, J}\}.$$

Примером задач БПЛА могут служить список объектов или районов наблюдения для БПЛА мониторинга, обслуживаемые области для сельскохозяйственных БПЛА и т.п. По своей сути БПЛА является системой обслуживания, а множество G — входным потоком заявок.

Требуется определить множество U^* управляющих воздействий на объект управления:

$$U^* = \arg \max_U \chi(G, R) | U^* \subset U, \quad (1)$$

где χ — целевая функция БПЛА.

Концепция управляющего цифрового двойника

Современные достижения в сфере информационных технологий, компьютерного моделирования и интернета вещей создают новые перспективы для применения цифровых двойников в управлении сложными динамическими системами.

Цифровой двойник (ЦД) представляет собой синхронизированную с физическим объектом виртуальную модель, связанную с ним двусторонними информационными каналами [6]. Ключевые характеристики цифрового двойника включают:

- способность выступать виртуальным аналогом объекта при планировании и моделировании;
- постоянную синхронизацию состояния с физическим прототипом;
- возможность автономного функционирования относительно реального объекта.

В контексте управления сложными техническими системами, такими как группы БПЛА, традиционные подходы требуют значительного усложнения бортовых систем управления.

В качестве инновационного решения предлагается концепция управляющего цифрового двойника (УЦД), предполагающая:

- формирование управляющих воздействий в виртуальном пространстве цифровой модели;
- синхронную передачу управляющих команд на физические объекты.

Такой подход позволяет сохранить все преимущества цифрового двойника, одновременно решая задачи управления сложными системами. Визуальное представление концепции УЦД приведено на рис. 1.

Основное преимущество данного подхода заключается в переносе вычислительной нагрузки с бортовых систем на виртуальную платформу, что значительно упрощает архитектуру самих БПЛА и повышает гибкость системы управления в целом [5].

Преимущества и ограничения управляющих цифровых двойников (УЦД) в системах управления БПЛА. Ключевые преимущества применения УЦД включают:

- минимизацию неопределенности при принятии решений благодаря использованию актуальной цифровой модели, постоянно синхронизируемой с физическим объектом;



Рис. 1. Концепция управляющего цифрового двойника

– возможность создания интегрированных систем управления на основе децентрализованных принципов, что значительно повышает скорость реагирования;

– оптимизацию бортовых систем управления БПЛА за счет переноса сложных вычислений на виртуальную платформу.

Однако внедрение УЦД имеет существенное ограничение: для эффективной работы требуется стабильный канал связи между цифровым двойником и реальным объектом. Нарушение этого условия может привести к рассогласованию системы и снижению эффективности управления.

Таким образом, УЦД открывают новые возможности для управления группами БПЛА, но их применение требует надежной инфраструктуры передачи данных.

Модель системы управления роём БПЛА как киберфизической системы с применением управляющего цифрового двойника

Согласно разрабатываемой модели, совокупность беспилотных летательных аппаратов (группа или рой) представляет собой пространственно распределенную киберфизическую систему с элементами дистанционного управления [7].

В данной системе каждый БПЛА функционирует как автономный интеллектуальный агент, обладающий:

– встроенной системой управления;
– способностью самостоятельно выбирать оптимальные методы выполнения поставленных задач.

Система в целом характеризуется:

– распределенной архитектурой;
– децентрализованным принципом управления;
– возможностью адаптивного поведения в изменяющихся условиях;

Ключевые особенности:

– сочетание физических объектов (БПЛА) с цифровыми компонентами управления;

– наличие механизмов межмашинного взаимодействия;

– поддержка коллективного принятия решений.

Преимущества подхода:

– повышенная отказоустойчивость системы;
– гибкость при изменении оперативной обстановки;
– масштабируемость групповых конфигураций.

Такая трактовка позволяет рассматривать рой БПЛА как единую киберфизическую систему, где каждый элемент сохраняет автономность, но при этом участвует в достижении общей цели.

Ключевые элементы концепции изображенные на рис. 2:

Цифровая часть (УЦД роля БПЛА):

– два типа агентов: управления БПЛА и управления задачами;
– блоки планирования ресурсов и задач;
– блоки мониторинга и оценки;
– виртуальная модель БПЛА и среды;
– система передачи данных.

Физическая часть (реальный БПЛА (рой БПЛА):

– система управления;
– датчики и исполнительные механизмы;
– бортовая аппаратура.

Потоки данных:

– нисходящие (управляющие команды);
– восходящие (сенсорные данные и обратная связь);
– горизонтальные (координация между агентами).

Управляющий ЦД БПЛА определяется кортежем

$$Q = \langle R^m, A^R, A^G \rangle.$$

Множество

$$R^m = \{r_i^m | i = \overline{1, I}\}$$

является множеством агентов-моделей БПЛА, синхронизированных с ними через систему передачи данных

$$r_i^m = \left\langle X^m, Y^m, Z^m, U, \phi^m, \psi^m \left| \begin{array}{l} \phi^m : X^m \times Y^m \times Z^m \times U \times T \rightarrow Z^m, \\ \psi^m : X^m \times Y^m \times Z^m \times U \times T \rightarrow Y^m \end{array} \right. \right\rangle_i.$$

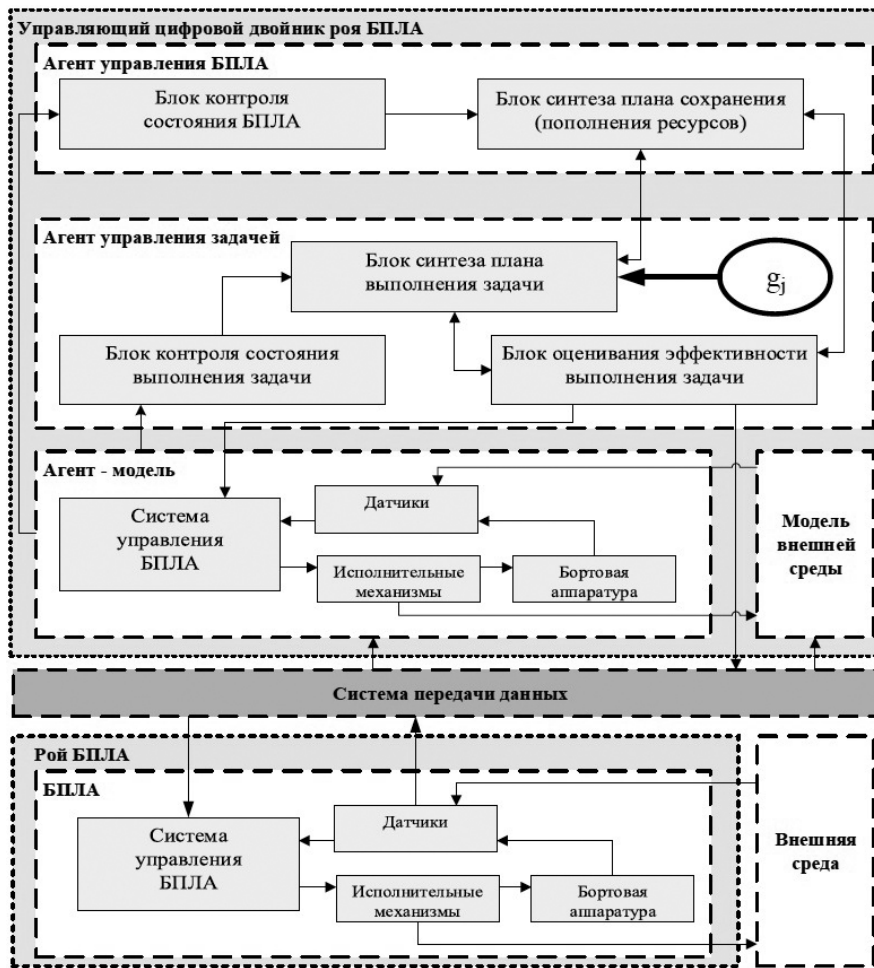


Рис. 2. Структурная схема системы управления БПЛА с цифровым двойником

Здесь верхний индекс m означает модель соответствующего элемента. Каждый агент-модель представляет собой гомоморфный образ соответствующего ему БПЛА. Следовательно, на множестве R определена вектор-функция

$$\mu = \{\mu_i : r_i \rightarrow r_i^m \mid i = \overline{1, I}\}.$$

Множество

$$A^R = \{a_i^R \mid i = \overline{1, I}\}$$

является множеством агентов управления БПЛА, цель которых состоит в сохранении и умножении возобновляемых и не возобновляемых ресурсов БПЛА. С этой целью агент на основании анализа состояния систем БПЛА составляет план восполнению ресурсов БПЛА U_i^R (сохранение необходимой энерговооруженности для возвращения в точку пополнения и восстановления).

Множество

$$A^G = \{a_j^G \mid j = \overline{1, J}\}$$

представляет собой множество агентов управления задачами, целью которых является использование ресурсов БПЛА для выполнения стоящих перед ними задач. С этой целью каждый агент осуществляет синтез плана выполнения задачи U_j^G , который совместно с планами сохранения и восполнения ресурсов, привлекаемых к выполнению задачи поступают на блок оценивания эффективности выполнения задачи. На основе вышеизложенного разработан алгоритм коллективного распределения задач рис. 3.

При достижении показателями выполнения задачи заданного критерия (1) решение синхронно передается:

– на соответствующие агенты-модели в цифровом двойнике;

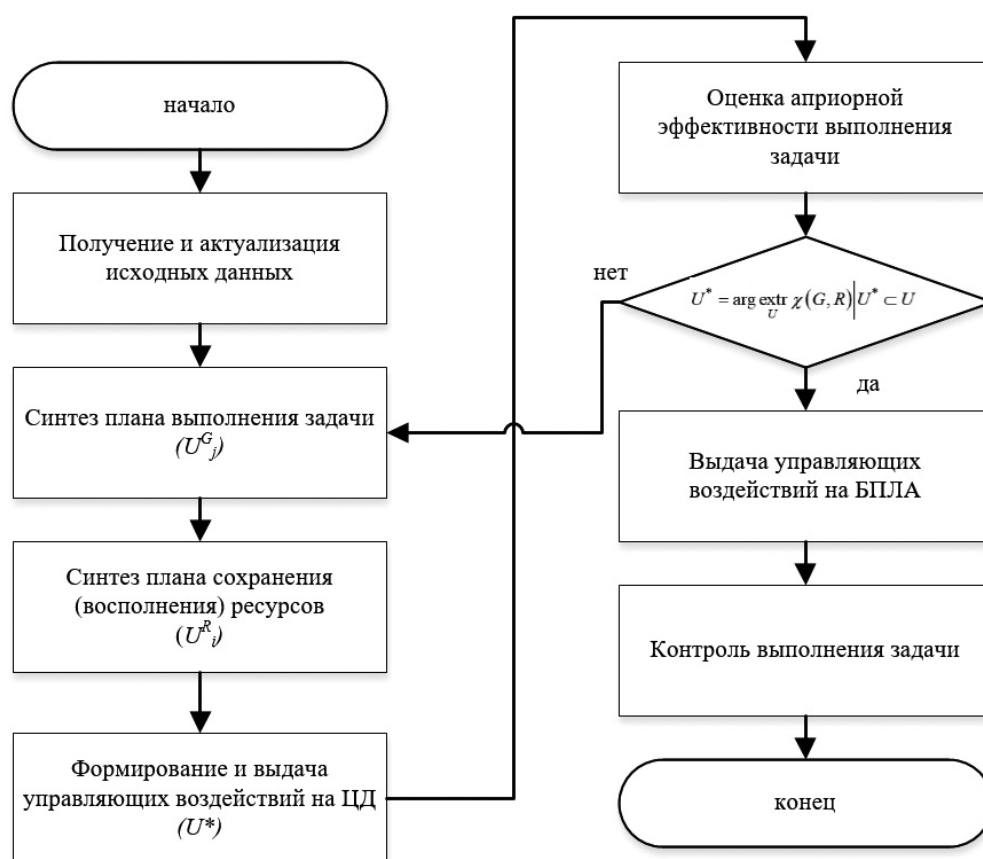


Рис. 3. Блок-схема алгоритма коллективного распределения задач

– на физические БПЛА через систему передачи данных.

При этом управляющие агенты параллельно выполняют непрерывный мониторинг состояния выполнения задачи и генерацию корректирующих управляющих сигналов при отклонениях, а система поддерживает динамическое равновесие за счет:

- взаимодействия двух типов управляющих агентов;
- баланса их противоположно направленных функций;
- автоматической компенсации возмущающих воздействий.

Описанное взаимодействие обеспечивает:

- стабильность системы управления;
- адаптивность к изменяющимся условиям;
- сохранение заданных характеристик функционирования.

Такой подход гарантирует устойчивость системы при сохранении ее оперативной гибкости, что особенно важно в условиях неопределенности внешней среды.

Заключение

Представленная концепция предлагает принципиально новое решение для организации группового управления разнородными БПЛА, обладающими различным функциональным назначением, отличающимися характеристиками систем управления, разнотипными каналами связи.

Ключевые преимущества алгоритма:

- 1) универсальность групповой структуры:
 - возможность интеграции в единый рой БПЛА разных типов и модификаций;
 - гибкая адаптация состава группы под конкретную задачу;
 - простое добавление новых специализированных модулей;
- 2) децентрализованное управление без ограничений:
 - реализация всех преимуществ многоагентных систем;
 - отсутствие необходимости прямого взаимодействия между физическими БПЛА;

– перенос всех координационных функций в виртуальное пространство УЦД;

3) оптимизация бортовых систем:

– упрощение архитектуры управления каждого отдельного БПЛА;

– сведение задач бортовой системы только к локальному управлению;

– повышение надежности за счет минимизации сложных вычислений на борту;

4) повышенная живучесть в экстремальных условиях:

– эффективная работа в агрессивных средах (ЧС, зоны поражения);

– устойчивость к потере отдельных элементов группы;

– быстрое восстановление функциональности после повреждений.

В технологической основе решения лежат виртуальная координация через цифрового двойника (устраняет проблему совместимости разнородных систем), динамическое перераспределение задач при изменении состава группы и автоматическая адаптация к изменяющимся внешним условиям.

Данный подход особенно актуален для:

– ликвидации последствий ЧС;

– проведения сложных поисково-спасательных операций;

– работы в условиях радиоэлектронного противодействия;

– миссий с высоким риском потери БПЛА.

Основное преимущество — сочетание гибкости гетерогенных систем с надежностью централизованного управления, достигаемое за счет переноса ключевых функций в виртуальную среду цифрового двойника.

Список источников

1. Муслимов Т.З. Методы и алгоритмы группового управления беспилотными летательными аппаратами самолетного типа: специальность 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Муслимов Т.З., 2020. 137 с.

2. Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов. Москва: Издательская фир-

ма «Физико-математическая литература», 2009. 280 с.

3. Потюпкин А.Ю., Пантелеймонов И.Н., Тимофеев Ю.А., Волков С.А. Управление многоспутниковыми орбитальными группировками // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2020. Т. 7, № 3. С. 61–70.

4. Абросимов В.К. Коллективы интеллектуальных летательных аппаратов: монография. М.: Наука, 2017. 304 с.

5. Бычков И.В., Давыдов А.В., Нагул Н.В., Ульянов С.А. Событийный подход к многорежимному управлению группировкой подводных роботов в обследовательской миссии // Вычислительные технологии. 2018. Т. 23, № 2. С. 3–19.

6. ГОСТ Р 57700.37–2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. М.: Российский институт стандартизации, 2021. 16 с.

7. ПНСТ 417–2020 Система киберфизическая. Термины и определения / разработ. АО «ВНИИ-ИС» и АО «РВК»; утв. и введен в действие 23 июля 2020 г. М.: Стандартиформ, 2020. 8 с.

8. Джавадов Н.Г., Агаев Ф.Г., Гусейнов Г.А., Зульфугарлы П.Р. Вопросы оценки выполнимости задач, поставленных перед беспилотными летательными аппаратами // Труды МАИ. 2022. № 127. URL: <https://trudymai.ru/10.34759/trd-2022-127-20> (дата обращения: 12.05.2005).

9. Дилан А.Г. Оптимизация многоцикловой системы дистанционного зондирования с применением БПЛА // Труды МАИ. 2023. № 129. URL: <https://trudymai.ru/10.34759/trd-2023-129-22> (дата обращения: 12.05.2005).

10. Ненашев В.А., Афанасьева И.В., Залищук А.А., Григоров М.Ю., Морозов А.В. Формирование трехмерных моделей местности на основе лидарной съемки для выявления структурных изменений земной поверхности // Труды МАИ. 2023. № 131. URL: <https://trudymai.ru/10.34759/trd-2023-131-15> (дата обращения: 12.05.2005).

Resources

1. Muslimov T.Z. Methods and algorithms of group control of unmanned aerial vehicles of aircraft type: specialty 05.13.01 «System analysis, management and information processing (by industry)»: dissertation for the degree of candidate of technical Sciences / Muslimov T.Z., 2020. 137 p.

2. Kalyaev I.A., Gaiduk A.R., Kapustyan S.G. Models and algorithms of collective control in groups of robots. Moscow: Physico-mathematical literature, 2009. 280 p.
3. Potyupkin A.Yu., Panteleimonov I.N., Timofeev Yu.A., Volkov S.A. Management of multi-satellite orbital groupings // Rocket and space instrumentation and information systems. 2020. Vol. 7. No 3. Pp. 61–70.
4. Abrosimov V.K. Collectives of intelligent aircraft: a monograph. Moscow: Nauka Publishing House, 2017. 304 p.
5. Bychkov I.V., Davydov A.V., Nagul N.V., Ulyanov S.A. Event-based approach to multi-mode control of a group of underwater robots in a survey mission. Computational Technologies. 2018. Vol. 23. No 2. Pp. 3–19.
6. GOST R 57700.37–2021. Computer models and modeling. Digital counterparts of products. General provisions. Moscow: Russian Institute of Standardization, 2021. 16 p.
7. PNST 417–2020 Cyberphysical system. Terms and definitions / developed JSC VNIIS and JSC RVC.; approved on July 23, 2020. Moscow: Standartinform, 2020. 8 p.
8. Javadov N.G., Agaev F.G., Huseynov G.A., Zulfugarly P.R. Issues of assessing the feasibility of tasks assigned to unmanned aerial vehicles // Proceedings of MAY 2022. No 127. URL: <https://trudymai.ru/10.34759/trd-2022-127-20> (date of access: 12.05.2025).
9. Dylan A.G. Optimization of a multi-cycle remote sensing system using UAVs // Proceedings of the MAI. 2023. No 129. URL: <https://trudymai.ru/10.34759/trd-2023-129-22> (accessed: 12.05.2025).
10. Nenashev V.A., Afanasyeva I.V., Zalishchuk A.A., Grigorov M.Yu., Morozov A.V. Formation of three-dimensional terrain models based on lidar surveys to identify structural changes in the Earth's surface // Proceedings of MAI. 2023. № 131. URL: <https://trudymai.ru/10.34759/trd-2023-131-15> (date of access: 12.05.2025).

УДК 621.01

doi: 10.53816/23061456_2025_7–8_101

**ВЕРОЯТНОСТЬ УСПЕШНОГО КОМПЛЕКТОВАНИЯ ИЗДЕЛИЯ В
МЕЛКОСЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ, СБОРОЧНАЯ РАЗМЕРНАЯ ЦЕПЬ
КОТОРОГО РАССЧИТАНА ПО ТЕОРЕТИКО-ВЕРОЯТНОСТНОМУ МЕТОДУ**

**THE PROBABILITY OF SUCCESSFUL COMPLETION OF A PRODUCT IN
SMALL-SCALE PRODUCTION, THE ASSEMBLY SIZE CHAIN OF WHICH IS
CALCULATED USING THE PROBABILITY-THEORETICAL METHOD**

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

Размерный анализ и уровень взаимозаменяемости собираемых изделий обуславливает долговечность и безотказность техники специального назначения. Количество изделий в выпускаемой партии и число звеньев в размерной цепи влияют на собираемость отдельного изделия. Теоретико-вероятностный метод рекомендуется для расчета многозвенных сборочных размерных цепей. Предложена методика оценки вероятности успешного комплектования отдельного изделия техники специального назначения. Методика учитывает число изделий в выпускаемой партии, доверительные интервалы истинного среднего арифметического значения размера и истинного среднего квадратического отклонения размера составляющего звена сборочной цепи. Рассчитана многозвенная сборочная цепь, установлено увеличение вероятности успешного комплектования отдельного изделия с увеличением числа изделий в выпускаемой партии.

Ключевые слова: сборочная цепь, доверительный интервал, вероятность успешного комплектования изделия, собираемость, теоретико-вероятностный метод, допуск размера.

Dimensional analysis and the level of interchangeability of assembled products determines the durability and reliability of special-purpose equipment. The number of products in the manufactured batch and the number of links in the dimensional chain affect their assemblability of an individual product. The probability-theoretic method is recommended for calculating multi-link assembly dimensional chains. A method for estimating the probability of successful completion of a separate piece of special-purpose equipment is proposed. The methodology takes into account the number of products in the manufactured batch, the confidence intervals of the true arithmetic mean of the size and the true mean square deviation of the size of the component link of the assembly chain. A multi-link assembly chain is calculated, an increase in the probability of successful completion of a separate product with an increase in their number in the manufactured batch is established.

Keywords: assembly chain, confidence interval, probability of successful completion of the product, assemblability, probability-theoretic method, size tolerance.

Обеспечение безотказности и долговечности изделий техники специального назначения (ТСН) является актуальной проблемой. Показатели качества изделий формируются при проектировании и проявляют себя на протяжении всего жизненного цикла изделия, в частности при изготовлении, сборке и эксплуатации. Так, 90 % отказов изделий происходит из-за низкой точности сборки.

Собираемость — это совокупность свойств изделия, технологического процесса изготовления и организации сборочного производства, обеспечивающих достижение заданных технических требований к собранному изделию и его функционирование. Собираемость обеспечивается способностью сопрягаемых деталей входить в сборочную единицу, а сборочных единиц — в изделие без каких-либо пригоночных работ, не предусмотренных технологическим процессом. Для обеспечения собираемости изделия на этапе технологической подготовки производства проводят размерный анализ, направленный на достижение необходимой точности изготовления деталей, а также их сопряжение, регулирование и наладку при сборке. При размерном анализе определяют один из методов сборки по уровню взаимозаменяемости [1–13]:

- 1) метод полной взаимозаменяемости (метод «максимума-минимума»);
- 2) метод неполной взаимозаменяемости (теоретико-вероятностный метод);
- 3) метод групповой взаимозаменяемости (селективная сборка);
- 4) метод пригонки;
- 5) метод регулирования.

Расчет размерной цепи изделия методом «максимума-минимума», обеспечивает полную взаимозаменяемость деталей, они соединяются без пригонки, регулирования и подбора. При любом сочетании размеров деталей, изготовленных в пределах расчетных допусков, значения замыкающего звена размерной цепи не выходят за допускаемые пределы.

При расчете многозвенных сборочных размерных цепей методом «максимума-минимума» значения допусков составляющих звеньев малы, так как в расчет заложено сочетание экстремальных значений размеров (одновременное сочетание размеров наибольших увеличивающих и наименьших уменьшающих звеньев или обратное их

сочетание), что маловероятно. При малых допусках трудоемкость изготовления деталей возрастает, при обработке по 7 качеству точности она в 2,5 раза больше чем по 9 качеству.

Расширить допуска размеров многозвенных сборочных цепей позволяет теоретико-вероятностный метод, который, по сравнению с методом «максимума-минимума», учитывает распределения размеров деталей и суммирование погрешностей составляющих звеньев. Составляющие звенья размерной цепи представляются как независимые случайные величины, а замыкающее звено — как сумма независимых переменных, и рассматриваются законы их распределения, а также случайный характер сочетания размеров при сборке. Собираемость изделия обеспечивается за счет размеров, группирующихся около координаты середины поля допуска соответствующих звеньев, при этом отсутствует риск несоблюдения предельных значений замыкающего звена.

Собираемость отдельного изделия зависит от числа изделий в изготавливаемой партии. Чем больше число выпускаемых изделий, тем выше вероятность успешного комплектования отдельного изделия, сборочная размерная цепь которого рассчитана по теоретико-вероятностному методу.

Итак, актуально оценить влияние числа выпускаемых изделий ТСН в мелкосерийном производстве (5–50 изделий) на вероятность успешного комплектования отдельного изделия, сборочная цепь которого рассчитана по теоретико-вероятностному методу.

Цель исследования — оценка вероятности успешного комплектования отдельного изделия ТСН в мелкосерийном производстве, сборочная размерная цепь которого рассчитана по теоретико-вероятностному методу.

Задачи исследования:

1. Применение доверительных интервалов для оценки измерений среднего арифметического значения размера и среднего квадратического отклонения размера составляющего звена сборочной цепи.
2. Разработка методики оценки вероятности успешного комплектования отдельного изделия ТСН в мелкосерийном производстве.
3. Расчет по предложенной методике вероятности успешного комплектования отдельного изделия ТСН в мелкосерийном производстве.

Расчет сборочной размерной цепи изделия теоретико-вероятностным методом

Номинальный размер замыкающего звена сборочной размерной цепи [11]:

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^n \xi_i \cdot A_i, \quad (1)$$

где i — номер составляющего звена;

n — число составляющих звеньев;

A_i — номинальный размер составляющего звена, мм;

ξ_i — коэффициент, характеризующий влияние погрешности составляющего звена на замыкающее звено ($\xi_i = +1$ для увеличивающих звеньев и $\xi_i = -1$ для уменьшающих звеньев);

A_{Δ} — номинальный размер замыкающего звена, мм.

Правильность решения сборочной размерной цепи теоретико-вероятностным методом зависит от близости полученных статистических оценок размеров звеньев к их истинным значениям. В теории размерных цепей наиболее часто применяют следующие законы распределения случайной величины (размеров деталей): закон равной вероятности, треугольный закон (закон Симпсона), нормальный закон (закон Гаусса). Если размер звена сборочной цепи распределен нормально, тогда допуск размера составляющего звена выражается в долях истинного среднего квадратического отклонения $\pm 3\sigma_{A_i}$, в него входит 99,73 % всех значений размера [11]:

$$T_{A_i} = 6 \cdot \sigma_{A_i}, \quad (2)$$

где T_{A_i} — допуск размера составляющего звена A_i , мм;

σ_{A_i} — истинное среднее квадратическое отклонение размера составляющего звена A_i , мм.

Допуск размера замыкающего звена сборочной цепи [11]:

$$T_{A_{\Delta}} = t \cdot \left(\sum_{i=1}^n \lambda_{A_i}^2 \cdot T_{A_i}^2 \right)^{0,5}, \quad (3)$$

где $T_{A_{\Delta}}$ — допуск размера замыкающего звена A_{Δ} , мм;

t — коэффициент, зависящий от процента риска;

$\lambda_{A_i}^2$ — коэффициент относительного рассеяния размера составляющего звена A_i (для нормального распределения $\lambda_{A_i} = 0,333$).

Процент риска — это вероятность, с которой при всех годных размерах составляющих звеньев размер замыкающего звена сборочной цепи выйдет за допускаемые пределы. В этом случае на сборку попали годные детали с неблагоприятным сочетанием действительных размеров (близких к предельным). Чтобы размер замыкающего звена изделия входил в допуск, достаточно заменить некоторые из деталей на другие, то есть нарушить неблагоприятное сочетание размеров.

Координата середины поля допуска замыкающего звена [11]:

$$C_{A_{\Delta}} = \sum_{i=1}^n \xi_i \cdot C_{A_i}, \quad (4)$$

где $C_{A_{\Delta}}$ — координата середины поля допуска замыкающего звена A_{Δ} , мм;

C_{A_i} — координата середины поля допуска составляющего звена A_i , мм.

Доверительные интервалы для оценки среднего арифметического значения размера и среднего квадратического отклонения размера составляющего звена

В изготавливаемой партии m изделий, для комплектации одного изделия требуется n годных деталей (n — число составляющих звеньев A_i сборочной цепи A).

С помощью доверительного интервала оценим истинное среднее арифметическое значение размера и его истинное среднее квадратическое отклонение, полученное при измерении m размеров составляющего звена A_i поступивших на сборку деталей.

Доверительный интервал для истинного среднего арифметического значения размера составляющего звена. Выборочное среднее арифметическое значение размера составляющего звена A_i сборочной цепи [11]:

$$A_{\text{ср}} = \frac{1}{m} \cdot \sum_{j=1}^m A_{ij}, \quad (5)$$

где j — номер детали;

m — число деталей, у которых измерен размер составляющего звена A_i ;

A_{ij} — измеренный размер составляющего звена A_i , мм;

$A_{\text{иср}}$ — выборочное среднее арифметическое значение размера составляющего звена A_i , мм.

Истинное среднее квадратическое отклонения σ_{A_i} может быть найдено только при бесконечно большом числе измеренных деталей $m \rightarrow \infty$. При ограниченном числе деталей m определяем выборочное среднее квадратическое отклонение размера s_{A_i} , являющееся точечной оценкой [11–13]:

$$s_{A_i} = \left(\frac{1}{m-1} \cdot \sum_{j=1}^m (A_{ij} - A_{\text{иср}})^2 \right)^{0,5}, \quad (6)$$

где s_{A_i} — выборочное среднее квадратическое отклонение размера составляющего звена A_i , мм.

Доверительный интервал для истинного среднего арифметического значения размера $A_{\text{иср-ист}}$ имеет вид [14]:

$$A_{\text{иср}} - \delta_{A_i} < A_{\text{иср-ист}} < A_{\text{иср}} + \delta_{A_i}, \quad (7)$$

где δ_{A_i} — точность интервальной оценки истинного среднего арифметического значения размера составляющего звена A_i , мм;

$A_{\text{иср-ист}}$ — истинное среднее арифметическое значение размера составляющего звена A_i , мм.

Если число деталей $m > 30$, то точность интервальной оценки истинного среднего арифметического значения размера составляющего звена A_i [14]:

$$\delta_{A_i} = \frac{s_{A_i} \cdot z_{\alpha}}{m^{0,5}}, \quad (8)$$

где z_{α} — квантиль нормального распределения уровня $(1 - 0,5 \cdot \alpha)$;

α — уровень значимости — вероятность, с которой значение параметра не попадает в доверительный интервал;

$\beta = (1 - \alpha)$ — уровень доверия (доверительная вероятность) — вероятность того, что доверительный интервал содержит значение параметра.

Если число деталей $m \leq 30$, тогда вместо нормального распределения применяют t -распределение (распределение Стьюдента), и точность интервальной оценки истинного среднего

арифметического значения размера составляющего звена A_i [14]:

$$\delta_{A_i} = \frac{s_{A_i} \cdot t_{\alpha}}{m^{0,5}}, \quad (9)$$

где t_{α} — квантиль распределения Стьюдента уровня $(1 - 0,5 \cdot \alpha)$, при числе степеней свободы $k = m - 1$.

Доверительный интервал для истинного среднего квадратического отклонения размера составляющего звена. Выборочное среднее квадратическое отклонение размера составляющего звена A_i стремится к истинному значению $s_{A_i} \rightarrow \sigma_{A_i}$ при $m \rightarrow \infty$, и наоборот, при малых m отличие s_{A_i} от σ_{A_i} может быть значительным. Для получения s_{A_i} порядка σ_{A_i} необходимо, чтобы среди погрешностей был полный набор по кривой Гаусса, то есть погрешностей, соответствующих $(\sigma_{A_i}, 2\sigma_{A_i}, 3\sigma_{A_i})$. В действительности могут оказаться случаи набора только малых погрешностей (s_{A_i} будет занижена в сравнении с σ_{A_i}) или только больших погрешностей (s_{A_i} будет завышена в сравнении с σ_{A_i}). В связи с этим дается доверительный интервал [14]:

$$\Delta_{\text{н}A_i} < \Delta_{A_i} < \Delta_{\text{в}A_i}, \quad (10)$$

где $\Delta_{\text{в}A_i}$, $\Delta_{\text{н}A_i}$ — верхняя и нижняя границы доверительного интервала истинного среднего квадратического отклонения размера σ_{A_i} , мм.

Верхняя и нижняя границы доверительного интервала истинного среднего квадратического отклонения размера σ_{A_i} [14]:

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{в}A_i} &= \frac{(m-1)^{0,5}}{(\chi_{\alpha_{\text{в}},k}^2)^{0,5}} \cdot s_{A_i}, \\ \Delta_{\text{н}A_i} &= \frac{(m-1)^{0,5}}{(\chi_{\alpha_{\text{н}},k}^2)^{0,5}} \cdot s_{A_i}, \end{aligned} \quad (11)$$

где $\chi_{\alpha_{\text{в}},k}^2$; $\chi_{\alpha_{\text{н}},k}^2$ — верхнее и нижнее критическое значение распределения χ^2 «хи-квадрат», вычисленные для $\alpha_{\text{н}}$ и $\alpha_{\text{в}}$, при числе степеней свободы $k = m - 1$.

$$\begin{aligned} \alpha_{\text{н}} &= 0,5 \cdot (1 - \beta); \\ \alpha_{\text{в}} &= 0,5 \cdot (1 + \beta), \end{aligned} \quad (12)$$

где β — уровень доверия (доверительная вероятность).

Например, при доверительной вероятности $\beta = 95\%$ и увеличении в выпускаемой партии числа сборочных единиц m , доверительный интервал истинного среднего квадратического отклонения σ_{A_i} сужается (табл. 1). Чем больше партия изготавливаемых сборочных единиц, тем больше m , и меньше диапазон доверительного интервала.

Увеличение числа сборочных единиц m в выпускаемой партии благоприятно влияет на их собираемость, так как повышается вероятность благоприятного сочетания размеров составляющих звеньев отдельной сборочной единицы.

Вероятность успешного комплектования отдельного собираемого изделия

Вероятность успешного комплектования отдельного собираемого изделия обусловлена благоприятным сочетанием размеров составляющих звеньев сборочной цепи. Эта вероятность высока, если действительный размер каждого составляющего звена близок к координате середины поля допуска, при этом поле допуска существенно больше доверительного интервала истинного среднего арифметического значения размера и истинного среднего квадратического отклонения размера. Вероятность успешного комплектования отдельного собираемого изделия можно рассчитать по формуле полной вероятности (формуле Байеса):

$$P_{\text{ук}}(A) = \sum_{i=1}^n P(A_i) \cdot P(A / A_{i\text{д}}), \quad (13)$$

где $P_{\text{ук}}(A)$ — вероятность успешного комплектования отдельного собираемого изделия;

$P(A / A_{i\text{д}})$ — условная вероятность нахождения действительного размера $A_{i\text{д}}$ составляющего звена A_i около координаты середины поля допуска C_{A_i} ;

$A_{i\text{д}}$ — действительный размер составляющего звена A_i , мм;

$P(A_i)$ — вероятность выбора составляющего звена A_i сборочной цепи.

Примем, что выбор любого составляющего звена сборочной цепи равновозможен, следовательно:

$$P(A_i) = \frac{1}{n}. \quad (14)$$

Условная вероятность нахождения действительного размера $A_{i\text{д}}$ составляющего звена A_i около координаты середины поля допуска C_{A_i} :

$$P(A / A_{i\text{д}}) = (1 - P_{A_{i\text{см}}}) \cdot P_{A_{i\text{ср-ист}}} \cdot P_{\sigma_{A_i}}, \quad (15)$$

где $P_{A_{i\text{см}}}$ — вероятность смещения истинного среднего арифметического значения размера $A_{i\text{ср-ист}}$ относительно координаты середины поля допуска C_{A_i} составляющего звена A_i на поле допуска T_{A_i} ;

$P_{A_{i\text{ср-ист}}}$ — вероятность нахождения истинного среднего арифметического значения размера составляющего звена $A_{i\text{ср-ист}}$ на поле допуска T_{A_i} ;

$P_{\sigma_{A_i}}$ — вероятность нахождения истинного среднего квадратического отклонения размера σ_{A_i} составляющего звена A_i на поле допуска T_{A_i} .

Вероятность смещения истинного среднего арифметического значения размера $A_{i\text{ср-ист}}$ относительно координаты середины поля допуска C_{A_i} составляющего звена A_i на поле допуска T_{A_i} :

$$P_{A_{i\text{см}}} = \frac{|A_{i\text{ср}} - (A_i + \xi_i \cdot C_{A_i})|}{T_{A_i}}. \quad (16)$$

Вероятность нахождения истинного среднего арифметического значения размера составляющего звена $A_{i\text{ср-ист}}$ на поле допуска T_{A_i} :

$$P_{A_{i\text{ср-ист}}} = 1 - \frac{2 \cdot \delta_{A_i}}{T_{A_i}}. \quad (17)$$

Таблица 1

Верхняя и нижняя границы доверительного интервала истинного среднего квадратического отклонения размера σ_{A_i} при доверительной вероятности $\beta = 0,95$ в зависимости от числа изделий m в изготавливаемой партии

Число изделий в партии m , шт.	5	10	25	∞
Нижняя граница доверительного интервала $\Delta_{\text{н}A_i}$	0,624	0,699	0,785	1
Верхняя граница доверительного интервала $\Delta_{\text{в}A_i}$	2,453	1,755	1,381	1

Вероятность нахождения истинного среднего квадратического отклонения размера σ_{A_i} составляющего звена A_i на поле допуска T_{A_i} :

$$P_{\sigma_{A_i}} = 1 - \frac{\Delta_{вA_i} - \Delta_{нA_i}}{T_{A_i}}. \quad (18)$$

Расчет вероятности успешного комплектования отдельного собираемого изделия

Теоретико-вероятностным методом рассчитаем сборочную цепь A (рис. 1) (табл. 2) и оценим вероятность успешного комплектования отдельного изделия при различном числе изделий в партии.

Номинальный размер замыкающего звена A_Δ сборочной цепи определим по выражению (1):

$$A_\Delta = \sum_{i=1}^n \xi_i \cdot A_i =$$

$$= 8 + 7 + 8 + 32 + 11 + 17 + 8 - 2,5 - 97 = 1,5 \text{ мм.}$$

Координату середины поля допуска замыкающего звена рассчитаем по выражению (4):

$$C_{A_\Delta} = \sum_{i=1}^n \xi_i \cdot C_{A_i} = 0 + 0 - 0,045 - 0,080 - 0,055 + \\ + 0 + 0 + 0 + 0,110 = -0,070 \text{ мм.}$$

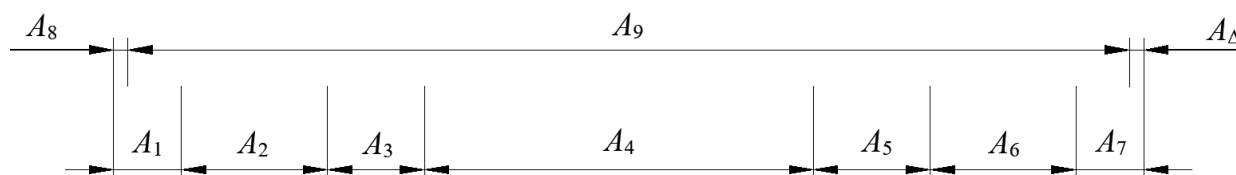


Рис. 1. Сборочная размерная цепь A : $A_1, \dots, A_9$ — составляющие звенья; A_Δ — замыкающее звено; $A_1, \dots, A_7$ — увеличивающие звенья; $A_8, \dots, A_9$ — уменьшающие звенья

Таблица 2

Параметры составляющих звеньев A_i сборочной цепи

Составляющее звено A_i	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9
Размер, мм	$8 \pm 0,018$	$17 \pm 0,013$	$8_{-0,09}$	$32_{-0,16}$	$11_{-0,11}$	$17 \pm 0,013$	$8 \pm 0,018$	$2,5 \pm 0,03$	$97_{-0,22}$

Таблица 3

Оценка поля допуска T_{A_Δ} замыкающего звена и вероятности успешного комплектования отдельного изделия $P_{ук}(A)$ при числе изделий в выпускаемой партии $m = 40$ штук

Звено	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9
Выборочное среднее $A_{иср}$	7,999	17,000	7,970	31,935	10,954	17,001	7,998	2,501	96,902
Выборочное СКО s_{A_i}	0,012	0,009	0,022	0,055	0,033	0,007	0,011	0,019	0,062
Довер-ный интервал δ_{A_i}	0,005	0,004	0,009	0,022	0,014	0,003	0,004	0,008	0,025
Допуск T_{A_i}	0,070	0,055	0,134	0,329	0,199	0,041	0,066	0,113	0,370
Вероятность $P_{A_{исм}}$	0,989	0,994	0,887	0,953	0,957	0,976	0,977	0,990	0,966
Вероятность $P_{A_{иср-ист}}$	0,864	0,864	0,864	0,864	0,864	0,864	0,864	0,864	0,864
Вероятность $P_{\delta A_i}$	0,896	0,896	0,896	0,896	0,896	0,896	0,896	0,896	0,896
Условная вер-сть $P(A/A_{ид})$	0,766	0,770	0,686	0,738	0,741	0,756	0,757	0,766	0,748

Допуск замыкающего звена $T_{A_\Delta} = 0,492$ мм; вероятность успешного комплектования $P_{ук}(A) = 0,748$

Таблица 4

Оценка поля допуска $T_{A_{\Delta}}$ замыкающего звена и вероятности успешного комплектования отдельного изделия $P_{\text{ук}}(A)$ при числе изделий в выпускаемой партии $m = 25$ штук

Звено	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9
Выборочное среднее $A_{\text{ср}}$	8,000	17,000	7,976	31,928	10,953	17,002	7,998	2,499	96,882
Выборочное СКО s_{A_i}	0,012	0,010	0,017	0,054	0,027	0,006	0,011	0,018	0,058
Довер-ный интервал δ_{A_i}	0,007	0,006	0,010	0,034	0,016	0,004	0,007	0,011	0,036
Допуск T_{A_i}	0,071	0,060	0,102	0,325	0,159	0,034	0,065	0,110	0,351
Вероятность $P_{A_{\text{исм}}}$	0,996	0,997	0,795	0,974	0,953	0,951	0,973	0,995	0,976
Вероятность $P_{A_{\text{иср-ист}}}$	0,794	0,794	0,794	0,794	0,794	0,794	0,794	0,794	0,794
Вероятность $P_{\delta A_i}$	0,861	0,861	0,861	0,861	0,861	0,861	0,861	0,861	0,861
Условная вер-сть $P(A/A_{\text{ид}})$	0,681	0,682	0,544	0,666	0,652	0,650	0,665	0,681	0,667

Допуск замыкающего звена $T_{A_{\Delta}} = 0,462$ мм; вероятность успешного комплектования $P_{\text{ук}}(A) = 0,654$

Таблица 5

Оценка поля допуска $T_{A_{\Delta}}$ замыкающего звена и вероятности успешного комплектования отдельного изделия $P_{\text{ук}}(A)$ при числе изделий в выпускаемой партии $m=20$ штук

Звено	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9
Выборочное среднее $A_{\text{ср}}$	8,000	17,000	7,975	31,925	10,950	17,002	7,998	2,506	96,879
Выборочное СКО s_{A_i}	0,012	0,010	0,017	0,051	0,032	0,007	0,010	0,018	0,056
Довер-ный интервал δ_{A_i}	0,009	0,007	0,012	0,036	0,023	0,005	0,007	0,013	0,040
Допуск T_{A_i}	0,074	0,060	0,100	0,308	0,192	0,040	0,061	0,109	0,337
Вероятность $P_{A_{\text{исм}}}$	0,994	0,994	0,800	0,983	0,972	0,947	0,964	0,943	0,969
Вероятность $P_{A_{\text{иср-ист}}}$	0,763	0,763	0,763	0,763	0,763	0,763	0,763	0,763	0,763
Вероятность $P_{\delta A_i}$	0,839	0,839	0,839	0,839	0,839	0,839	0,839	0,839	0,839
Условная вер-сть $P(A/A_{\text{ид}})$	0,637	0,637	0,512	0,630	0,622	0,607	0,618	0,604	0,621

Допуск замыкающего звена $T_{A_{\Delta}} = 0,454$ мм; вероятность успешного комплектования $P_{\text{ук}}(A) = 0,610$

Таблица 6

Оценка поля допуска $T_{A_{\Delta}}$ замыкающего звена и вероятности успешного комплектования отдельного изделия $P_{\text{ук}}(A)$ при числе изделий в выпускаемой партии $m = 15$ штук

Звено	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9
Выборочное среднее $A_{\text{ср}}$	8,000	16,999	7,973	31,940	10,954	17,001	7,997	2,505	96,872
Выборочное СКО s_{A_i}	0,012	0,009	0,016	0,055	0,025	0,006	0,010	0,018	0,050
Довер-ный интервал δ_{A_i}	0,010	0,008	0,014	0,048	0,022	0,005	0,008	0,015	0,043
Допуск T_{A_i}	0,073	0,055	0,096	0,332	0,152	0,036	0,057	0,105	0,302
Вероятность $P_{A_{\text{исм}}}$	0,999	0,985	0,815	0,941	0,943	0,975	0,941	0,951	0,942
Вероятность $P_{A_{\text{иср-ист}}}$	0,714	0,714	0,714	0,714	0,714	0,714	0,714	0,714	0,714
Вероятность $P_{\delta A_i}$	0,802	0,802	0,802	0,802	0,802	0,802	0,802	0,802	0,802
Условная вер-сть $P(A/A_{\text{ид}})$	0,572	0,564	0,467	0,539	0,540	0,559	0,539	0,545	0,539

Допуск замыкающего звена $T_{A_{\Delta}} = 0,435$ мм; вероятность успешного комплектования $P_{\text{ук}}(A) = 0,540$

Таблица 7

Оценка поля допуска $T_{A_{\Delta}}$ замыкающего звена и вероятности успешного комплектования отдельного изделия $P_{\text{ук}}(A)$ при числе изделий в выпускаемой партии $m = 10$ штук

Звено	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9
Выборочное среднее $A_{\text{иср}}$	8,001	16,999	7,975	31,913	10,951	17,002	7,997	2,500	96,866
Выборочное СКО s_{A_i}	0,011	0,010	0,017	0,047	0,025	0,006	0,009	0,020	0,050
Довер-ный интервал δ_{A_i}	0,013	0,012	0,020	0,055	0,029	0,007	0,011	0,023	0,058
Допуск T_{A_i}	0,066	0,060	0,101	0,284	0,149	0,034	0,056	0,119	0,301
Вероятность $P_{A_{\text{исм}}}$	0,984	0,979	0,800	0,974	0,957	0,947	0,940	0,996	0,921
Вероятность $P_{A_{\text{иср-ист}}}$	0,611	0,611	0,611	0,611	0,611	0,611	0,611	0,611	0,611
Вероятность $P_{\delta A_i}$	0,723	0,723	0,723	0,723	0,723	0,723	0,723	0,723	0,723
Условная вер-сть $P(A/A_{\text{ид}})$	0,435	0,433	0,354	0,430	0,423	0,419	0,415	0,440	0,407

Допуск замыкающего звена $T_{A_{\Delta}} = 0,410$ мм; вероятность успешного комплектования $P_{\text{ук}}(A) = 0,417$

Таблица 8

Оценка поля допуска $T_{A_{\Delta}}$ замыкающего звена и вероятности успешного комплектования отдельного изделия $P_{\text{ук}}(A)$ при числе изделий в выпускаемой партии $m = 5$ штук

Звено	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9
Выборочное среднее $A_{\text{иср}}$	8,000	16,996	7,975	31,913	10,946	17,001	7,996	2,498	96,870
Выборочное СКО s_{A_i}	0,013	0,009	0,017	0,045	0,026	0,006	0,009	0,019	0,045
Довер-ный интервал δ_{A_i}	0,033	0,023	0,042	0,113	0,065	0,016	0,022	0,048	0,112
Допуск T_{A_i}	0,078	0,054	0,101	0,270	0,156	0,038	0,053	0,114	0,269
Вероятность $P_{A_{\text{исм}}}$	1,000	0,920	0,799	0,973	0,991	0,983	0,923	0,984	0,927
Вероятность $P_{A_{\text{иср-ист}}}$	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166
Вероятность $P_{\delta A_i}$	0,354	0,354	0,354	0,354	0,354	0,354	0,354	0,354	0,354
Условная вер-сть $P(A/A_{\text{ид}})$	0,059	0,054	0,047	0,057	0,058	0,058	0,054	0,058	0,054

Допуск замыкающего звена $T_{A_{\Delta}} = 0,389$ мм; вероятность успешного комплектования $P_{\text{ук}}(A) = 0,055$

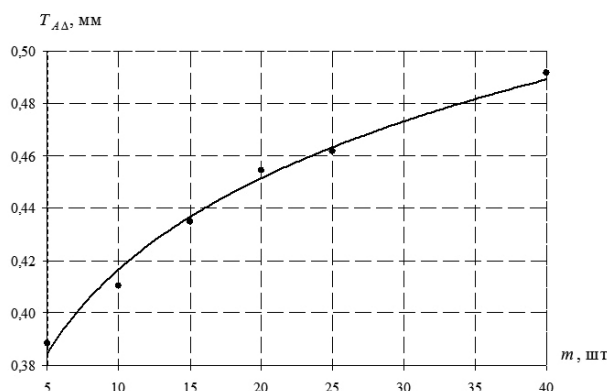


Рис. 2. Зависимость поля допуска $T_{A_{\Delta}}$ замыкающего звена от числа изделий m в выпускаемой партии:

● — экспериментальные точки

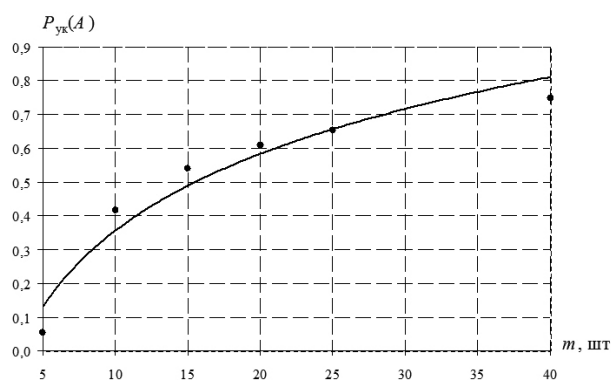


Рис. 3. Зависимость вероятности успешного комплектования отдельного изделия $P_{\text{ук}}(A)$ от числа сборочных единиц m в выпускаемой партии:

● — экспериментальные точки

Для оценки вероятности успешного комплектования отдельного изделия (рис. 1) (табл. 2) в программе MS Excel выполнили компьютерное моделирование. Генерировались нормально распределенные размеры, имеющие случайный разброс в соответствии с номинальным значением и полем допуска составляющего звена A_i (табл. 2). Число изделий в партии $m = 5; 10; 15; 20; 25; 40$ штук.

Далее по выражениям (2) – (18) проведен расчет при следующих данных: доверительная вероятность $\beta = 99\%$; в выражении (3) при 1% риска коэффициент $t = 2,57$; по выражению (14) вероятность выбора составляющего звена $P(A_i) = 1/9$.

Результаты исследования (табл. 3–8) показывают, что с увеличением числа изделий m в выпускаемой партии допуск T_{A_A} замыкающего звена расширяется (рис. 2) и вероятность успешного комплектования отдельного изделия $P_{ук}(A)$ растет (рис. 3).

Заключение

По результатам исследования можно сделать следующие выводы.

1. Теоретико-вероятностный метод расчета многозвенных размерных цепей обеспечивает широкие поля допусков размеров составляющих звеньев.

2. Число изделий в выпускаемой партии влияет на величину доверительного интервала истинного среднего арифметического значения размера и доверительного интервала истинного среднего квадратического отклонения размера составляющего звена сборочной цепи.

3. Предложена методика оценки вероятности успешного комплектования отдельного изделия, учитывающая число изделий в выпускаемой партии.

4. По разработанной методике проведен расчет вероятности успешного комплектования отдельного изделия при разном числе изделий в партии.

Цель исследования достигнута — оценена вероятность успешного комплектования отдельного изделия ТСН в мелкосерийном производстве, сборочная размерная цепь которого рассчитана по теоретико-вероятностному методу.

Список источников

1. Анастасиади Г.П., Окрепилов В.В., Сильников М.В. Управление качеством промышленной продукции. СПб.: «Санкт-Петербургская издательско-книготорговая фирма «Наука». 2014. 412 с.
2. Галкин М.Г., Смагин А.С. Особенности расчета технологических размерных цепей вероятностным методом // Вестник машиностроения. 2016. № 4. С. 13–17.
3. Задорина Н.А., Непомилуев В.В. Исследование робастности процесса сборки на основе метода индивидуального подбора деталей в многозвенных размерных цепях // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2020. Т. 24. № 1 (87). С. 10–16.
4. Непомилуев В.В., Олейникова Е.В., Тимофеев М.В. Обеспечение устойчивости процесса сборки на основе метода индивидуального подбора деталей // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2015. № 11. С. 7–12.
5. Медведев О.А., Рожков Ю.В. Теоретико-вероятностный расчет сборочных размерных цепей, содержащих тонкие компенсаторы // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Машиностроение. 2011. № 4 (70). С. 50–54.
6. Польский Е.А., Сорокин С.В. Повышение надежности изделий машиностроения за счет совершенствования точностного анализа размерных цепей // Научные технологии в машиностроении. 2022. № 6 (132). С. 38–48.
7. Расторгуев Г.В. Оптимизация сборочной размерной цепи на стадии проектирования // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2008. № 2. С. 29–34.
8. Расторгуев Г.А. Проверочный расчет сборочной размерной цепи // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2009. № 2. С. 42–47.
9. Фролов В.В. Проектный расчет размерных цепей на основе имитационного моделирования // Вестник Витебского государственного технологического университета. 2019. № 2 (37). С. 76–88.
10. Андрюшкин А.Ю., Изюмова Е.А., Буцкин Е.Б. Метод уточняемого компенсирующего слоя и его применение для достижения размер-

ной точности изделия с многослойным покрытием // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2023. № 11–12 (185–186). С. 140–148.

11. Кочеткова Т.П. Методы расчета размерных цепей: учеб. пособие. СПб.: БГТУ «ВОЕНМЕХ», 2018. 50 с.

12. Черкашина О.С., Коробко С.И., Трищ Р.М. Расчет сборочных размерных цепей в условиях высокоточного производства // Машинобудування: Збірник наукових праць. 2009. № 4. С. 161–169.

13. Черкашина О.С., Коробко С.И., Трищ Р.М. Стандартизация расчета сборочных размерных цепей в машиностроении путем вероятностного суммирования // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2008. Т. 6. № 6 (36). С. 24–28.

14. Ивин Е.А., Курбачкий А.Н., Артамонов Д.В. Учебно-методическое пособие по математической статистике: для социально-экономических специальностей. Вологда: ИСЭРТ РАН, 2017. 141 с.

References

1. Anastasiadi G.P., Okrepilov V.V., Silnikov M.V. Quality management of industrial products. St. Petersburg: St. Petersburg publishing and bookselling company «Nauka», 2014. 412 p.

2. Galkin M.G., Smagin A.S. Features of calculation of technological dimensional chains by the probabilistic method // Bulletin of mechanical engineering. 2016. No 4. Pp. 13–17.

3. Zadorina N.A., Nepomiluyev V.V. Investigation of the robustness of the assembly process based on the method of individual selection of parts in multi-link dimensional chains // Bulletin of the Ufa State Aviation Technical University. 2020. Vol. 24. No 1 (87). Pp. 10–16.

4. Nepomiluyev V.V., Oleinikova E.V., Timofeev M.V. Ensuring the stability of the assembly process based on the method of individual selection of parts // Assembly in mechanical engineering, instrumentation. 2015. No 11. Pp. 7–12.

5. Medvedev O.A., Rozhkov Yu.V. Theoretical and probabilistic calculation of assembly dimen-

sional circuits containing thin compensators // Bulletin of the Brest State Technical University. Series: Mechanical Engineering. 2011. No 4 (70). Pp. 50–54.

6. Polsky E.A., Sorokin S.V. Improving the reliability of machine-building products by improving the precision analysis of dimensional chains // High-tech technologies in mechanical engineering. 2022. No 6 (132). Pp. 38–48.

7. Rastorguev G.V. Optimization of the assembly dimensional chain at the design stage // Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Engineering Research. 2008. No 2. Pp. 29–34.

8. Rastorguev G.A. Verification calculation of the assembly dimensional chain // Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Engineering Research. 2009. No 2. Pp. 42–47.

9. Frolov V.V. Design calculation of dimensional circuits based on simulation modeling // Bulletin of the Vitebsk State Technological University. 2019. No 2 (37). Pp. 76–88.

10. Andryushkin A.Yu., Izyumova E.A., Buckyukin E.B. The method of the specified compensating layer and its application to achieve dimensional accuracy of a product with a multilayer coating // Questions of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2023. No 11–12 (185–186). Pp. 140–148.

11. Kochetkova T.P. Methods of calculating dimensional chains: textbook. Baltic State Technical University St. Petersburg Univ. 2018. 50 p.

12. Cherkashina O.S., Korobko S.I., Trishch R.M. Calculation of assembly dimensional chains in conditions of high-precision production // Mashinobuduvannya: Zbirnik naukovikh prats. 2009. No 4. Pp. 161–169.

13. Cherkashina O.S., Korobko S.I., Trishch R.M. Standardization of calculation of assembly dimensional circuits in mechanical engineering by probabilistic summation // Eastern European Journal of Advanced Technologies. 2008. Vol. 6. No 6 (36). Pp. 24–28.

14. Ivin E.A., Kurbatsky A.N., Artamonov D.V. Educational and methodical manual on mathematical statistics: for socio-economic specialties. Vologda: ISERT RAS, 2017. 141 p.

УДК 613.6.02-057.36:623(045)

doi: 10.53816/23061456_2025_7–8_111

**ВСЕСТОРОННЯЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОПАСНОСТЕЙ ВОЕННОЙ
СЛУЖБЫ НА СТАДИИ РАЗРАБОТКИ ОБРАЗЦОВ ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ.
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

**COMPREHENSIVE IDENTIFICATION OF MILITARY SERVICE HAZARDS
AT THE STAGE OF DEVELOPMENT OF MILITARY EQUIPMENT SAMPLES.
PRACTICAL RECOMMENDATIONS**

*Д-р мед. наук С.А. Цуциев, канд. техн. наук О.Г. Пригорелов, канд. мед. наук М.В. Сохранов,
канд. мед. наук В.Э. Цогоев*

D.Sc. S.A. Tsutsiev, Ph.D. O.G. Prigorelov, Ph.D. M.V. Sokhranov, Ph.D. V.E. Tsogoev

ГНИИИ ВМ Минобороны России

До сих пор выявление опасностей военного труда осуществляется, преимущественно, в формате текущего контроля за условиями повседневной деятельности военнослужащих, когда результативность разработанных предупреждающих (корректирующих) мероприятий невысокая. Гораздо проще и результативнее решить эту проблему, как известно, на стадиях проектирования и создания образцов вооружения и военной техники. Тем не менее, рассматриваемая процедура на указанных этапах жизненного цикла объектов военной техники проводится в очень узком диапазоне факторов военного труда, что не позволяет сформировать всестороннюю матрицу фактических опасностей во всей их полноте на каждом рабочем месте. В результате некоторые опасности и соответствующие им риски повреждения здоровья военнослужащих остаются неучтенными и, следовательно, неуправляемыми.

Ключевые слова: опасности, профессиональные риски, здоровье, военная техника, военнослужащие.

Until now, the identification of the dangers of military labor is carried out mainly in the format of ongoing monitoring of the conditions of daily activity of military personnel, when the effectiveness of the developed preventive (corrective) measures is low. It is much easier and more efficient to solve this problem, as is known, at the stages of designing and creating samples of weapons and military equipment. Nevertheless, the procedure under consideration at the specified stages of the life cycle of military equipment facilities is carried out in a very narrow range of military labor factors, which does not allow us to form a comprehensive matrix of actual hazards in their entirety at each workplace. As a result, some dangers and the associated risks of damage to the health of military personnel remain unaccounted for and, consequently, uncontrollable.

Keywords: dangers, professional risks, health, military equipment, military personnel.

Введение

Характер современного общевойскового боя буквально за последние несколько лет сущест-

венно, а главное, бесповоротно изменился: это сила, мощь, скоротечность, разнообразие поражающих факторов применяемой военной техники (ВТ) и пр. Поэтому характерная черта

современных армии и флота — высокий уровень технической оснащенности. И чем многочисленнее, разнообразнее и сложнее находящиеся на снабжении образы ВТ, тем выше боеспособность армии и флота. Не случайно обеспечение безопасности военной службы (БВС) в Вооруженных силах (ВС) РФ связано, главным образом, с планированием текущего контроля за условиями повседневной деятельности войск [1]. Это логично, так как эксплуатация ВТ (регламентные работы, ремонт и др.), боевая подготовка (совершение маршей, войсковые учения, боевые стрельбы и пр.) связаны с одновременным привлечением значительного количества личного состава. Однако есть все основания считать такой подход в профилактике нежелательных ситуаций в армии и на флоте недостаточным, так как текущая контрольная (надзорная) деятельность направлена преимущественно на выявление уже состоявшихся случаев увечий (травм, отравлений и пр.) и гибели военнослужащих, когда проведение профилактических управляющих действий, как правило, нецелесообразно. Вместе с тем многие опасности и профессиональные риски легко устраняются (либо минимизируются) на стадиях формирования замысла образца ВТ, предпроектного согласования, проектирования и создания. Поэтому вопросы целеполагания, точность их формулировки в этих обстоятельствах приобретают большое значение. Некорректно (или небрежно) сформулированная задача может послужить причиной принятия решений, реализация которых будет иметь значительно более выраженные нежелательные последствия, чем те, ради решения которых и создавался этот объект. И это, к сожалению, не редкость. Закономерное следствие — взрывы, пожары, аварии и пр. и, соответственно, гибель либо увечье военнослужащих в процессе повседневной деятельности мирного времени. Цифры впечатляют: ежегодно погибает несколько сотен военнослужащих, а десятки тысяч становятся инвалидами [2–3].

Цель — сбор свидетельств некорректного проведения идентификации опасностей и соответствующих им рисков повреждения здоровья на стадиях проектирования и создания образцов ВТ. Разработка практических рекомендаций по реализации принципа всестороннего подхода в выявлении опасностей военной службы на каждом рабочем месте военнослужащих ВС РФ.

Материал и методы: был изучен и проанализирован пакет документов, находящихся в открытом доступе, регламентирующих требования безопасности в РФ, БВС в ВС РФ, требования по эргономике и обитаемости к образцам ВТ. В качестве доказательной базы использовались материалы процесса технической реализации замысла: «механизация перемещений раненых военнослужащих в полевых условиях», как способ снижения тяжести выполняемой военными-санитарами работы при перемещении и погрузке носилочных раненых (пораженных) военнослужащих в эвакуационный транспорт (автомобильный, воздушный и др.) на этапах медицинской эвакуации (ЭМЭ).

Для большей убедительности правомочности выдвинутого тезиса мы не стали рассматривать в качестве примера проектирование и создание сложного образца ВТ (танк, самоходная артиллерийская установка, комплекс управления и пр.), а ограничились самым простым объектом — «средство перемещения и перевозки раненых»: вне зависимости от сложности создаваемого образца ВТ, игнорирование процедуры всесторонней идентификации опасностей военной службы и соответствующих профессиональных рисков на стадиях его разработки имеет большое значение в аспекте реализации требований БВС.

Обсуждение

Сама идея механизации нелегкого труда санитаров в погонах и актуальная, и имеет достаточно убедительную доказательную научную базу. Тем не менее было организовано и проведено соответствующее исследование (на базе медицинской роты бригады, развернутой по штатной схеме в полевых условиях на ровном участке местности с сухим грунтом), которое подтвердило, что перемещение носилочных раненых и погрузка их в транспортные средства в расположении медицинских частей (учреждений), развернутых в полевых условиях, осуществляются исключительно вручную. Также было установлено: физическая нагрузка санитаров складывается преимущественно из динамической (перемещение с грузом в пространстве, подъем груза) и статической нагрузок (удержание груза на весу) и наклонов корпуса. При этом, в частности:

– энерготраты санитаров составляли порядка 250 ккал/ч;

– суммарное расстояние, преодолеваемое каждым санитаром в отдельности, достигало в среднем 6 км/день, в том числе, и с грузом около 3 км/день;

– масса поднимаемого с поверхности земли и удерживаемого при перемещении груза колебалась примерно от 15 кг до 38 кг;

– погрузочная высота изменялась в пределах от 0,65 м до 1,8 м.

В целом оказалось, что физическая нагрузка военнослужащего-санитара медицинской роты превышает допустимые нормы по динамической и статической нагрузке, соответственно, примерно в 7 и в 9 раз, а по количеству наклонов корпуса — в 4 раза.

На основании изложенного выше, был сделан вполне очевидный вывод: на рабочих местах военнослужащих-санитаров медицинской роты в процессе выполнения ими боевой задачи по выдвигению в зону боевых действий в полевых условиях, обнаружению раненых (пораженных) военнослужащих, оказанию им первой медицинской помощи с последующим выносом из зоны боевых действий и погрузке в автомобильный эвакуационный транспорт генерируется опасность «воздействие высоких физических нагрузок», которая является ведущим неблагоприятным фактором военного труда санитаров. Последствия: достаточно быстрое утомление и последующее переутомление организма санитаров-носильщиков. В этих условиях имеет место высокая вероятность реализации различной степени тяжести рисков повреждения здоровья санитаров в виде травмирования различной области локализации (в частности, ушибы мягких тканей, разрыв связок голеностопного и лучезапястного суставов и пр.), снижения физической работоспособности вплоть до полной ее утраты. Сопутствующие риски: высокая вероятность повторного травмирования носилочного раненого (пораженного) военнослужащего, увеличение времени выноса его с поля боя и, соответственно, сроков оказания первой медицинской помощи, снижение пропускной способности лечебного учреждения зоны ответственности.

В акте отмечается, что в отечественной и зарубежной практике нашли применение ряд технических устройств для механизации пере-

мещения носилочных раненых, например, автомобили медицинской эвакуации, как правило, имеют свои средств механизации, облегчающие погрузку носилок с раненым: это откидные аппарели для приема носилок со складывающимися опорами или устройства с опускающейся для погрузки задней частью транспортного средства, но чаще это выдвигающиеся наружу держатели носилок, причем держатели верхнего яруса установлены на рычагах и при выдвижении опускаются. В ряде случаев санитарные автомобили оснащаются закрепленными снаружи средствами погрузки раненых.

По мнению некоторых исследователей, среди автономных средств перемещения и погрузки (выгрузки) носилочных раненых наиболее удобны:

– каталки со складывающейся при погрузке ходовой частью;

– тележки для транспортировки и погрузки раненых;

– погрузчики типа электрокара с телескопической поворотной стрелой и подвешенной на стреле рамой для установки носилок.

Есть авторитетное мнение, что известные автономные средства перемещения и погрузки (выгрузки) не обеспечивают в полевых условиях надежное перемещение раненых по грунту и снежному покрову, а также погрузку на высоту более 1,2 м.

В этой связи группой экспертов были разработаны требования к образцу «средства механизации перемещения носилочных раненых в полевых условиях», суть которых сводится к реализации следующих критериев:

– простота и надежность в работе;

– минимальная возможная масса;

– компактность в транспортном положении;

– достаточная грузоподъемность (не менее 120 кг);

– быстрый перевод из транспортного в рабочее положение и обратно усилиями не более двух человек;

– обеспечение погрузки раненого в транспортное средство за время не более 1 мин;

– безопасность для санитаров и раненых военнослужащих.

К сожалению, каких-либо указаний на возможные опасности и риски повреждения здоровья, возникавшие в процессе эксплуатации этого изделия, разработчиками не было заявлено.

На основании этих рекомендаций был разработан образец каталки, представляющей собой складную раму с двумя съемными колесами большого диаметра (не менее 500 мм), двумя опорами и фиксирующими устройствами для носилок. Масса около 25 кг. Каталка позволяет транспортировать раненого одним-двумя санитарями по местности, включая неровности, грязь, снег. По мнению разработчиков, применение таких изделий «... значительно облегчает перемещение пострадавших, сокращает время эвакуации, позволяет эвакуировать большее количество, исключает необходимость дополнительных перекладываний пострадавших. Наличие колес с шинами большого диаметра позволяет транспортировать пациента не только по ровной поверхности, но и по пересеченной местности в условиях бездорожья (песок, снег, грязь и т.п.) в различных погодных условиях». Далее следует окончательный вывод: «Средство перемещения и перевозки пациентов ... можно рекомендовать для оснащения медицинских организаций, полевых госпиталей, передвижных медицинских групп, подразделений и служб специального назначения, военной и экстремальной медицины». Указаний на возможные опасности и риски повреждения здоровья санитаров-носильщиков, а также носилочных раненых, генерируемых в процессе эксплуатации каталки, нам обнаружить не удалось.

Проведенный нами критический анализ изложенного выше показывает, что проделана определенная работа, позволившая разработчикам утверждать, и не безосновательно, о решении поставленной задачи: труд санитаров-носильщиков механизирован. Вместе с тем, на наш взгляд, разработчики каталки необоснованно заузили спектр решаемых вопросов. Во-первых, по непонятным причинам, но ни одно из ранее сформулированных требований к образцу (см. выше) в новый перечень критериев соответствия не вошло. Во-вторых, понятие «полевые условия» не конкретизируется, а следовательно, имеет «размытые границы». Вместе с тем это может быть место и дислокации лечебного учреждения вне «зимних квартир», и зона боевых действий, и место ликвидации последствий чрезвычайной ситуации и пр. Пребывание в каждом из перечисленных вариантов «полевых условий» сопряжено с реализацией конкрет-

ных требований. Кстати, выезд на дачу — тоже подходит под эти условия. На наш взгляд, требования, сформулированные к образцу каталки, удовлетворяют полевым условиям дислокации лечебного учреждения, расположенного на безопасном расстоянии от «линии огня» (то есть в тылу), но никак не для зоны боевых действий.

Основная и реальная опасность для санитаров-носильщиков на поле боя (во время выдвижения с пустыми носилками к месту расположения раненого, оказания ему первой медицинской помощи, погрузки на носилки и выноса «с линии огня») — это воздействие поражающих факторов огнестрельного, минно-взрывного и пр. оружия и, соответственно, профессиональные риски: огнестрельные и иные ранения разной степени тяжести вплоть до гибели как санитаров, так и раненого военнослужащего. В формате такого взгляда на сущность происходящего любые физические нагрузки теряют свою первоначальную значимость. В этих обстоятельствах основное средство профилактики нежелательного события (ранение, гибель) — это маскировка, максимально рациональное использование защитных свойств естественных укрытий окружающей местности, скорость перемещения, маневренность. Следовательно, основной способ решения этой задачи — обеспечение скрытности. Полагаем, весьма затруднительно обеспечить скрытность даже очень сильным и выносливым военнослужащим в следующих обстоятельствах (на «линии огня»):

- во время выдвижения к месту расположения раненого: каталку массой порядка 25 кг, сложенную в «походное положение», придется волочить по земле, которая цепляется за «всё и вся», затрачивая немалые усилия. При этом высока вероятность повреждения колес, складных опор, фиксирующих устройств и пр., что, как правило, делает изделие непригодным к дальнейшему применению;

- во время сборки каталки в «рабочее положение»: выполнить эту процедуру в положении «лежа» весьма затруднительно, что вынуждает санитаров принимать физиологически более удобные положения (например, «стоя», «на коленях», «на корточках» и др.), подвергая себя дополнительной опасности;

- во время погрузки носилочного раненого на каталку с последующей фиксацией: раненого необходимо поднять с земли на высоту порядка

1 м (такова высота рабочей платформы каталки над уровнем земли). Санитары могут выполнить эту процедуру только в положении «стоя», делая и себя, и раненого уязвимым для огня противника. Затрачиваемые санитарами физические усилия весьма велики;

– во время выноса (вывоза) носилочного раненого, расположенного на каталке, с поля боя. Санитары находятся в это время в положении «стоя», а раненый — «лежа» на каталке на высоте порядка 1 м от поверхности земли. В экстремальных ситуациях (обстрел противником) санитары могут быстро принять положение «лежа» на земле. Каталка вместе носилочным раненым в это время будет находиться в рабочем положении «на ходу», возвышаясь на 1 м над уровнем земли, либо — в опрокинутом положении (возможно даже «вверх ногами», под тяжестью тележки и пр.): беспомощность и незащищенный раненого военнослужащего действия очевидны. Естественно, сопровождающие санитары-носильщики будут стремиться исправить «опасное» положение носилочного раненого, придав ему менее возвышенное положение, подвергая себя смертельной опасности. Кроме того, полагаем весьма спорным является предложение применять велосипедные и иные надувные колеса (любого диаметра и протектора ширины) в полевых условиях (отсутствие на земле твердого покрытия), особенно если это пересеченная, болотистая, лесная и пр. труднопроходимая местность.

Для сравнения: классические санитарные армейские носилки обеспечивают минимальное возвышение раненого над поверхностью земли (в пределах 3 см). Кроме того, с ними можно бегать, маневрировать, быстро менять высоту над уровнем земли, повышая безопасность как раненого, так и санитаров. На такие носилки раненого можно переместить методом «перекатывания», находясь в положении «лежа».

Таким образом, на наш взгляд, разработчикам опытного образца изделия (на стадиях формирования замысла, проектирования и его создания) не удалось идентифицировать все реальные опасности и соответствующие им риски повреждения здоровья. В результате удалось успешно решить второстепенную задачу — минимизировать величину физической нагрузки на санитаров-носильщиков при выполнении боевой задачи по эвакуации носилочных раненых с поля боя при помощи

разработанного образца каталки, так как в качестве основной опасности была определена «тяжесть выполняемой физической работы». Вместе с тем применение такого образца каталки обуславливает генерацию новой опасности — «снижение скрытности и маневренности на поле боя» как для санитаров-носильщиков, так и для носилочного раненого, и, соответственно, значительному увеличению вероятности ранения (травмирования), вплоть до гибели. На наш взгляд, подобного рода риски являются недопустимыми.

Убеждены: разработчики опытного образца «каталки» в таком формате эту проблему не рассматривали и, следовательно, идентифицированные нами опасности и соответствующие риски повреждения здоровья в расчет не принимались. Было принято решение: каталку использовать, в частности, в качестве базового средства:

– для выноса (вывоза) носилочных раненых в полевых условиях с передовых этапов медицинской эвакуации, перемещения раненых между подразделениями — в медицинских подразделениях, частях и учреждениях;

– для механизации погрузки (разгрузки) носилочных раненых в автомобили медицинской эвакуации, в перевязочные, операционные и другие мобильные комплексы в кузовах-фургонах или кузовах-контейнерах на шасси автомобилей, а также в авиационные средства эвакуации (каталка-подъемник).

Полагаем, такое узкое видение проблемы (в формате задачи) не случайно. Нам удалось изучить тактико-технические требования к опытному образцу «Тележка складная для перемещения и перевозки пациентов» в части нас касающейся. Как оказалось, цель проведенных испытаний заключалась в оценке возможности фактического применения опытного образца тележки во время медицинского обеспечения боевых действий войск, а также ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций подразделениями медицинской службы ВС РФ. Испытания планировались в различных регионах нашей страны.

Наше внимание привлек раздел «Требования безопасности». К сожалению, раздел написан в классическом стиле, без учета современных требований по вопросам безопасности [1, 4–7]. Во-первых, учитывая специфику службы в ВС РФ, речь должна идти не вообще о

безопасности, а о безопасности военной службы, так как есть существенные отличия в концепции целеполагания.

Во-вторых, в рассматриваемом документе устанавливаются, в частности, требования на соответствие отдельных показателей изделия положениям конкретных стандартов, что, впрочем, не гарантирует должной степени безопасности. Полагаем, наглядное представление о границах запланированной к реализации безопасности дает следующее требование: «...Поверхности всех деталей изделия не должны иметь заусенцев, задигов, острых кромок или выступов, способных повредить одежду или причинить дискомфорт пациенту и окружающим лицам, а также не должны иметь трещин, отслоений покрытий и других дефектов внешнего вида». Это есть наглядное отражение невысокой культуры безопасности военного труда: на наш взгляд, рассматривать эти требования в качестве критерия соответствия неприемлемо, так как они должны реализовываться безусловно (автоматически).

В-третьих, вызывает беспокойство некорректное применение терминологии, в частности «пациент», «окружающие лица», что не соответствует рассматриваемым обстоятельствам: в ВС РФ действует точный и надежный понятийный аппарат, например «военнослужащий», «командир», «начальник», «должностное лицо», «раненый» и пр. Приведенный пример характерен для гражданского персонала и имеет весьма отдаленное отношение к испытываемому образцу. Это невольно вводит в заблуждение.

В-четвертых, тезис «...В эксплуатационных документах на изделие должны быть указаны возможные виды опасности, требования и средства обеспечения безопасности при эксплуатации и обслуживании изделия». Все это свидетельствует о весьма смутном представлении разработчиков настоящего документа о современных требованиях к БВС и способах ее достижения. Методов выявления опасностей ратного труда, как известно, чрезвычайно много и они очень разнообразные, тем не менее важно следующее: командир (начальник), исходя из специфики условий военной службы, самостоятельно выбирает и устанавливает, какие из методов идентификации будут использоваться для конкретных опасностей с учетом различий в их свойствах и закономерностях реализации. Выб-

ранный метод должен обеспечивать всесторонний анализ условий военной службы, позволяющий исключить возможность неполного описания всех вероятных опасностей [8, ст. 5.5].

С целью реализации принципа всестороннего выявления опасностей военной службы применительно к каждому рабочему месту, на наш взгляд, необходимо следующее.

1. Первоначально провести идентификацию опасностей военной службы на конкретных рабочих местах, а затем — на маршрутах их передвижения: а) в рабочей зоне; б) по территории дислокации воинской части; в) за пределами территории воинской части.

2. Идентификация опасностей начинается с тщательного изучения деятельности личного состава в штатных режимах работы. Если есть необходимость, то далее можно приступать к изучению их деятельности в нештатных режимах: они случаются при отклонении, по тем или иным причинам, от штатных режимов и характеризуются высокой вероятностью появления новых опасностей, отсутствующих при штатных режимах деятельности. Для получения наиболее полных сведений о фактическом состоянии БВС на конкретном рабочем месте приступают к выявлению опасностей в аварийном режиме осуществления деятельности.

3. Для большей наглядности все выявляемые опасности целесообразно условно систематизировать по группам:

а) обусловленные особенностями окружающей среды на рабочем месте (физические, химические и биологические факторы военного труда);

б) обусловленные спецификой трудовых процессов с учетом применяемых оборудования, сырья, инструмента, приспособлений и т.п.;

в) обусловленные особенностями трудового процесса (тяжесть и напряженность ратного труда);

г) касающиеся практически всех военнослужащих на всех рабочих местах, например, опасность ранения (гибели) вследствие воздействия поражающих факторов (огнестрельного, минно-взрывного и пр.) противника; опасность падения с высоты собственного тела из-за потери равновесия (вследствие головокружения, обморока, поскользывания на мокром полу, запутывания в проводах, шлангах, растянутых на полу, подворачивания ноги и пр.); опасность пораже-

ния электрическим током вследствие контакта с неисправными токоведущими частями, находящимися под напряжением (косвенный контакт) и др. [8, ст. 6.1].

Заключение

Проведенное исследование показало, что до сих пор имеют место случаи создания образцов ВТ без должной проработки современных требований безопасности, в частности, на стадиях проектирования и создания изделия. Любое нововведение необходимо рассматривать с позиций наличия конкретных опасностей и соответствующих им рисков повреждения здоровья, которые оцениваются для всего личного состава воинской части (организации), причастных к эксплуатации образца ВТ. В нашем случае и для военнослужащих-санитаров, и для раненых военнослужащих (носилочные), которым необходимо создать безопасные условия военной службы. На этапах создания образца можно исключить (или максимально минимизировать) большинство опасностей и профессиональных рисков. Вместе с тем важно понимать: идентификация опасностей — дело непростое и делать плавно, постепенно осмысливая и творчески развивая все процедуры, видя за этим здоровье военнослужащего. Это позволит обеспечить всесторонность процесса идентификации опасностей военной службы и соответствующих им рисков повреждения здоровья применительно к каждому рабочему месту военнослужащих ВС РФ.

Список источников

1. Методические рекомендации по организации и выполнению мероприятий повседневной деятельности в соединениях и воинских частях Вооруженных сил РФ. Служба войск и обеспечение безопасности военной службы // Для изучения и применения в соответствии с указанием первого заместителя Министра обороны РФ от 20.12.2018 г. № 205/2/585.

2. Марков А.В. Показатели методики оценки безопасности военной службы // Научный резерв. 2018. № 3. С. 103–107.

3. Каменская Е.В., Яблочкин А.Б., Годяев С.А. Требования руководящих документов по

обеспечению безопасности военной службы // Наука и военная безопасность. 2018. № 2 (13). С. 94–98.

4. Федеральный закон от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании».

5. Федеральный закон от 28.12.2010 г. № 390-ФЗ «О безопасности».

6. Федеральный закон от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

7. Федеральный закон от 31.07.2020 г. № 247-ФЗ «Об обязательных требованиях в Российской Федерации».

8. ГОСТ 12.0.230.4–2018 «Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда. Методы идентификации опасностей на различных этапах выполнения работ».

References

1. The methodology recommendations on the organization and implementation of the Russian Army units' daily activities. Troop service and military service security assurance // for the purpose of studying and applying under provisions of the First Deputy Defense Minister of the Russian Federation dated 20 December 2018. № 205/2/585.

2. Markov A.V. Indicators of the methodology for assessing the safety of military service // Scientific reserve. 2018. No 3. Pp. 103–107.

3. Kamenskaya E.V., Yablochkin A.B., Godyaev S.A. Requirements of the governing documents on ensuring the safety of military service // Science and military security. 2018. No 2 (13). Pp. 94–98.

4. Federal Law of 27.12.2002 No 184-FZ «On technical regulation».

5. Federal Law of 28.12.2010 No 390-FZ «On safety».

6. Federal Law of 30.12.2009 No 384-FZ «Technical regulations on the safety of buildings and structures».

7. Federal Law of 31.07.2020 No 247-FZ «On mandatory requirements in the Russian Federation».

8. GOST 12.0.230.4–2018 «Occupational safety standards system. Occupational safety management systems. Methods for identifying hazards at various stages of work».

УДК 535.32

doi: 10.53816/23061456_2025_7–8_118

**РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ФОРМИРОВАНИЮ РАЦИОНАЛЬНОГО СОСТАВА
КОМПЛЕКТОВ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ В ЗИП-Г
К АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ НАВЕДЕНИЕМ
И ОГНЕМ АРТИЛЛЕРИЙСКОГО ВООРУЖЕНИЯ**

**RECOMMENDATIONS ON THE FORMATION OF A RATIONAL COMPOSITION
OF SPARE PARTS KITS IN ZIP-G FOR AN AUTOMATED GUIDANCE
AND FIRE CONTROL SYSTEM FOR ARTILLERY WEAPONS**

Канд. техн. наук П.И. Тобольченко¹, А.В. Пинчук²

Ph.D. P.I. Tobolchenko, A.V. Pinchuk

¹ 46 ЦНИИ Минобороны России,

² Филиал ВА МТО им. А.В. Хрулева (г. Пенза)

Одним из путей обеспечения прогнозируемой безотказности основных модулей автоматизированной системы управления наведением и огнем (АСУНО) является формирование на стадии проектирования образцов рационального состава комплектов ЗИП-Г, обеспечивающих повышение ее безотказности за счет увеличения их технического ресурса. Исходя из результатов прогнозирования возможности повышения технического ресурса основных модулей предложены рекомендации по расчету и формированию рационального состава запасных частей АСУНО для вычисления двух видов показателей достаточности: среднего времени задержки в удовлетворении заявок на запасные части (ЗЧ) комплектом ЗИП-Г $\Delta t_{\text{ЗИП-Г}}$ и коэффициента готовности ЗИП-Г относительно j -го образца из обслуживаемой группы изделий $K_{\text{ЗИП-Г } j}$. Анализ полученных результатов показывает, что предлагаемые рациональные составы комплектов ЗИП-Г позволяют увеличить показатель достаточности запасов.

Ключевые слова: автоматизированная система управления наведением и огнем, показатели достаточности, комплект запасных частей, изделие, стратегия, рациональный состав.

One of the ways to ensure the predicted reliability of the main ASUNO modules is to form a rational set of spare parts at the design stage, which will increase its reliability by increasing its technical resource. Based on the results of forecasting the possibility of increasing the technical resource of the main modules, recommendations have been proposed for calculating and forming a rational composition of spare parts for the automated guidance and fire control system (AGFS) in order to calculate two types of sufficiency indicators: the average delay time in meeting requests for spare parts with the ZIP-G kit and the availability coefficient of the ZIP-G kit relative to the j th sample from the serviced group of products. The analysis of the results shows that the proposed rational compositions of the ZIP-G kits allow for an increase in the sufficiency indicator of stocks.

Keywords: automated guidance and fire control system, adequacy indicators, set of spare parts, product, strategy, rational composition.

Вводная часть

Одним из важнейших звеньев системы управления огнем является автоматизированная система управления наведением и огнем (АСУНО) (далее система). Применение АСУНО позволяет решать эти задачи с меньшими затратами времени.

По оценке военных специалистов, оснащение артиллерийских подразделений новыми комплексами средств АСУНО по опыту проведения СВО повышает вероятность поражения целей на 30...40 %. Комплексный показатель боевой эффективности подразделения (с учетом затрат на его оснащение средствами автоматизации) возрастает на 30...50 %.

В свою очередь уровень боеготовности и результат применения образца вооружения зависят и от обеспечения надежности функционирования всех систем, в том числе и АСУНО [1].

Поэтому разработка рекомендаций по формированию рационального состава комплекта запасных частей (ЗЧ) в ЗИП на стадии разработки сложной электротехнической системы является актуальной.

Основная часть

Определение запасов в комплекте ЗИП-Г состоит из определения запасов каждого типа в отдельности и расчета на их основе показателей достаточности (ПД) и суммарных затрат на ЗЧ по комплекту ЗИП-Г в целом.

Для определения значений ПД используем математические зависимости, приведенные в ГОСТ РВ 27.3.03–2005 [2]:

$$K_{\text{ГЗИП}}^{\text{Тр}} = \prod_{i=1}^N K_{\text{ГЗi}} \geq 0,9, \quad (1)$$

или

$$\Delta t_{\text{ЗИП}}^{\text{Тр}} = \sum_{i=1}^N \Lambda_{\text{Зi}} \leq 0,1, \quad (2)$$

где $K_{\text{ГЗИП}}^{\text{Тр}}$ — требуемое значение $K_{\text{ГЗИП}}$, заданное в техническом задании (ТЗ) на изделие или на комплект ЗИП-Г;

$K_{\text{ГЗi}}$ — коэффициент готовности запаса i -го типа в комплекте ЗИП-Г;

$\Delta t_{\text{ЗИП}}^{\text{Тр}}$ — требуемое значение $\Delta t_{\text{ЗИП}}$, заданное в ТЗ на изделие или на комплект ЗИП-Г;

$\Lambda_{\text{Зi}}$ — интенсивность спроса на ЗЧ i -го типа в комплект ЗИП-Г.

Учитывая тот факт, что при разработке АСУНО в ТЗ требуемые значения ПД не заданы, приведенные ограничения будем использовать при оценке результатов расчета по методикам ГОСТ РВ 27.3.03–2005 [2].

Исходные данные для расчета ПД запасов в комплектах штатного ЗИП-Г формируем в объеме, требуемом для вычисления двух видов ПД:

– среднее время задержки в удовлетворении заявок на ЗЧ комплектом ЗИП-Г $\Delta t_{\text{ЗИП-Г}}$;

– коэффициент готовности ЗИП-Г относительно j -го образца из обслуживаемой группы изделий $K_{\text{ЗИП-Гj}}$, рассчитываемые по формулам:

$$\Delta t_{\text{ЗИП-Г}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{Г}}} \Lambda_{\text{Гi}} \Delta t_{\text{ЗiГ}}}{\sum_{i=1}^{N_{\text{Г}}} \Lambda_{\text{Гi}}} \quad (3)$$

и

$$K_{\text{ГЗИП-Гj}} = \exp \left\{ -\Delta t_{\text{ЗИП-Г}} \sum_{i=1}^{N_{\text{Г}}} \Lambda_{\text{Гi}} \right\}, \quad (4)$$

где $N_{\text{Г}}$ — общее количество типов ЗЧ в ЗИП-Г;

$\Lambda_{\text{Гi}} (\Lambda_{\text{Гij}})$ — интенсивность спроса на ЗЧ i -го типа в комплекте ЗИП-Г от всех изделий группы или только от j -го образца изделия;

$\Delta t_{\text{ЗiГ}}$ — среднее время задержки в удовлетворении заявок на ЗЧ запасом i -го типа в комплекте ЗИП-Г.

Каждый комплект ЗИП-Г непосредственно обслуживает группу изделий в указанных выше количествах.

При расчете исходим из того, что ЗИП-Г обеспечивает выбранные ПД при минимальных суммарных затратах на ЗЧ. Ввиду того, что исходные данные для расчета ПД запасов заданы не полностью, выбор их проводим исходя из требований, предъявленных к уровням надежности обслуживаемых изделий и принятой системы технического обслуживания [3].

Показатели надежности (интенсивности замен) блоков $\lambda_{\text{Зi}}$ принимаем равными значениям, полученным по результатам расчетов безотказности основных модулей АСУНО, выполненных с использованием данных о надежности комплектующих элементов блоков, приведенных в официальных справочниках [4].

Модели расчета λ_{zi} для каждого из основных модулей АСУНО выбраны исходя из конкретных условий эксплуатации анализируемых изделий и их структур, а также уровней сложности и надежности самих блоков, включенных в ЗИП-Г.

Для изделий без резервирования, эксплуатируемых в циклическом режиме, состоящих из элементов, в основном реализованных на полупроводниковых структурах, не делаем различий между режимами применения основным и ожидания [5, 6]. Отказы основных блоков при хранении их в составе ЗИП-Г не учитываются.

С учетом принятых допущений значения

$$\lambda_{zi} = \lambda_i,$$

где λ_i — интенсивность отказов i -го основного модуля при эксплуатации АСУНО.

При подготовке исходных данных для расчета ПД запасов в комплекте ЗИП-Г проводим перерасчет показателей $m_{ij\Gamma}$ (количество основных модулей i -го типа на j -м образце изделия) и λ_{zi} в обобщенный параметр — интенсивность спроса на ЗЧ i -го типа $\Lambda_{i\Gamma}$, который рассчитывается по формуле

$$\Lambda_{i\Gamma} = S\Lambda_{ij\Gamma} = Sm_{ij\Gamma}\lambda_{zi\Gamma}, \quad (5)$$

где S — количество однотипных изделий в группе обслуживаемых ЗИП-Г АСУНО;

$\Lambda_{i\Gamma}$ — интенсивность спроса на ЗЧ i -го типа в комплекте ЗИП-Г АСУНО от j -го образца изделия.

Вычисления параметра $\Lambda_{i\Gamma}$ для основных ЗЧ, входящих в комплекты ЗИП-Г АСУНО, сведены в табл. 1.

Применяем стратегию непрерывного пополнения для запасов восстанавливаемых составных частей, которые восстанавливаются в ремонтном органе и возвращаются в тот же комплект ЗИП-Г, из которого были изъяты. Характерным для данной стратегии является то, что заявка на пополнение формируется по каждой отказавшей составной части отдельно, а время ремонта отсчитывается от момента изъятия из комплекта ЗИП-Г (отказа основного модуля в АСУНО), поэтому оно существенно меньше, чем T_{pi} — период планового пополнения i -го запаса при периодическом пополнении [7, 8].

Выбранная стратегия пополнения характеризуется условным индексом $\alpha_i = 3$ и параметром $T_{i\Gamma} = T_{pi}$ — временем ремонта ЗЧ i -го типа, параметр β_i при этом не используется.

Для расчета принимаем, что средняя годовая наработка АСУНО составляет 100 часов, а ремонт основных модулей осуществляется в среднем за две недели (4 часа наработки).

Параметры запасов каждого типа в ЗИП-Г АСУНО приводим в виде таблицы (формуляра исходных данных), содержащей последовательно записанные численные значения параметров запаса. Для удобства использования левее записаны обозначения составных частей. Ввиду малого количества типов основных модулей в каждом комплекте ЗИП-Г АСУНО артиллерийского вооружения все они приведены в одной табл. 2.

Таблица 1

Состав комплекта ЗИП-Г АСУНО артиллерийского вооружения

Обозначение основных ЗЧ в комплекте ЗИП-Г АСУНО	Обозначение	S	$m_{ij\Gamma}$	$\lambda_{zi} \times 10^{-6},$ 1/ч	$\lambda_{i\Gamma} \times 10^{-6},$ 1/ч
АСУНО изделия 2Б17М АЮИЖ.461939.094					
1. Блок обработки	АЮИЖ.461313.009	30	1	59	1770
2. Система самоориентирующаяся гироскопическая курсокреноруказания	АЮИЖ.462515.017-01	30	2	64	3840
3. Аппаратура спутниковой навигации 14Ц821С в составе:	ЦДКТ.464316.597 ТУ	30	1	138	4140
– блок электронный ПИ	ЦДКТ.431421.599	30	1	56	1634
– модуль антенный МА3	ЦДКТ.468732.014	30	1	2,43	61

Таблица 2

Исходные данные для расчета показателей достаточности ЗИП-Г АСУНО артиллерийского вооружения

Обозначение запасных частей в ЗИП-Г	i_{Γ}	$Sm_{j\Gamma}$	$\lambda_{i\Gamma} \times 10^{-6}, 1/ч$	$C_{i\Gamma}$, руб.	$\alpha_{i\Gamma}$	$T_{i\Gamma}$, ч	$\beta_{i\Gamma}$	$n_{i\Gamma}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
АСУНО изделия 2Б17М АЮИЖ.461939.094								
Блок обработки АЮИЖ.461313.009	1	1	1770	248070	3	4	0	1
Система самоориентирующаяся гироскопическая курсокреноуказания АЮИЖ.462515.017-01	2	1	3840	457310	3	4	0	1
Аппаратура спутниковой навигации ЦДКТ.464316.597 ТУ	1	1	4140	253170	3	4	0	1

В каждой строке табл. 2 записаны числовые значения следующих параметров запаса:

i_{Γ} — порядковый номер запаса в ЗИП-Г;

$Sm_{j\Gamma}$ — вместо $Sm_{j\Gamma}$ в графе 3 проставлена 1 (учтено в графе 3);

$\lambda_{i\Gamma}$ — интенсивность спроса на ЗЧ i -го типа $1/4$ (учтено в графе 4);

$C_{i\Gamma}$ — затраты на одну ЗЧ i -го типа в стоимостных единицах (рублях);

$\alpha_{i\Gamma}, T_{i\Gamma}, \beta_{i\Gamma}$ — тип и параметры принятой стратегии пополнения запаса i -го типа в ЗИП-Г;

$n_{i\Gamma}$ — начальный уровень запаса i -го типа в ЗИП-Г.

Определяем значения ПД запасов в комплектах ЗИП-Г АСУНО:

– среднее время задержки в удовлетворении заявок на запасные части комплектом ЗИП-Г $\Delta t_{\text{ЗИП-Г}}$ по зависимости (1);

– коэффициент готовности ЗИП-Г относительно j -го образца из обслуживаемой группы изделия $K_{\text{ЗИП-Г } j}$ по зависимости (2).

При расчетах интенсивность спроса на ЗЧ i -го типа в комплекте ЗИП-Г записываем в виде десятичных дробей (с шестью знаками после запятой).

АСУНО изделия 2Б17М АЮИЖ.461939.094:

$$\Delta t_{\text{ЗИП-Г}} = 4,03 \text{ ч}, K_{\text{ЗИП-Г } j} = 0,967.$$

Примечания к табл. 2:

Исходные данные сформированы на основе исходных данных по ЗИП-Г изделий.

Значения параметров стратегии пополнения запасов в ЗИП-Г $T_{i\Gamma}$ и $\beta_{i\Gamma}$ заданы из условия, что

все они пополняются из НИП (неотказывающий источник пополнения).

Для расчета показателей достаточности запасов в комплекте ЗИП-Г используется обобщенный параметр интенсивность спроса на запасные части i -го типа $\Lambda_{i\Gamma}$, которая записана в графе 4 таблицы, а в графе 3 проставлена единица вместо $Sm_{j\Gamma}$.

Приведем расчет показателей достаточности запасов в рациональном составе комплекта ЗЧ элементов блоков АСУНО изделия 2Б17М АЮИЖ.461939.094 при включении в их номенклатуру основных модулей, имеющих наибольшие значения интенсивностей отказов.

Расчет проведен исходя из условия, что каждый i -й запас на складе ремонтного предприятия центра пополняется до средней нормы его расхода, а складские запасы позволяют обеспечить интенсивность спроса в комплекты ЗЧ ремонтного органа на запасные части i -го типа $\Lambda_{i\Gamma}$, определенную по суммарному потоку отказов элементов этого типа для всех блоков основных модулей, где они применяются, и во всех образцах АСУНО, обслуживаемых данным ремонтным органом.

Соотношения между требованиями к показателям достаточности запасов в комплекте запасных частей и показателем надежности (ремонтопригодности) АСУНО, а также расширенная номенклатура запасных частей в комплекте ЗИП-Г и стратегия пополнения вновь включенных запасов соответствуют имеющейся в войсках системе технического обслуживания и ремонта АСУНО и ее основных модулей [9, 10].

Вычисление параметра Λ_{Γ} для расширенного состава ЗЧ, входящих в комплект ЗИП-Г АСУНО изделия 2Б17М АЮИЖ.461939.094, сведены в табл. 3.

При расчете принимаем, что вновь введенные в состав ЗИП-Г запасы, имеющие примерно одинаковые характеристики (интенсивность замен, стоимость, габариты и т.п.), объединяются в группу с одинаковой стратегией пополнения.

При выборе стратегии пополнения учитываем следующее.

Включенные в ЗИП-Г невосстанавливаемые элементы блоков основных модулей АСУНО с относительно низкой интенсивностью спроса на них и небольшими затратами (стоимостью) следует пополнять путем обмена на складах ремонтного органа более высокого уровня.

По ГОСТ РВ 27.3.03–2005 эта стратегия имеет условный индекс $\alpha_i = 3$, параметр $\beta = 0$ [2].

Исходя из принятой для расчета средней годовой наработки АСУНО 100 ч, а также отсутствие необходимости ремонта (восстановления) включенных в ЗИП-Г основных модулей среднее время осуществления замены может составлять 3 суток (1 час наработки АСУНО).

Номенклатура включенных вновь ЗЧ в состав ЗИП-Г АСУНО содержит 6 наименований ($N_0 = 6$). Формуляр исходных данных для расчета показателей достаточности запаса уточненного состава ЗИП-Г, содержащий последовательно записанные численные значения параметров запаса, приведен в табл. 4.

Обозначения параметров запаса соответствуют параметрам, приведенным в табл. 4.

Таблица 3

Расширенный состав комплекта ЗЧ АСУНО изделия 2Б17М АЮИЖ.461939.094

Обозначение ЗЧ в комплекте ЗИП-Г	S	m_{Γ}	$\lambda_{\text{ЗЧ}} \times 10^{-6}$, 1/ч	$\lambda_{\Gamma} \times 10^{-6}$, 1/ч
Блок обработки АЮИЖ.461313.009	30	1	138	4140
Система самоориентирующаяся гироскопическая курсокреноуказания АЮИЖ.462515.017-01	30	1	109	3270
Аппаратура спутниковой навигации 14Ц821С ЦДКТ.464316.597 ТУ в составе:	30	1	177	5310
– блок электронный ПИ	30	1	55	1650
– модуль антенный МАЗ	30	1	1,91	57,3
Датчик скорости механический АЮИЖ.402221.002	30	1	10	300
Радиостанция Р-168-5УН-2	2	1	12	321
Комплект укладочных средств	7	1	54	426

Таблица 4

Исходные данные для расчета показателей достаточности запаса рационального комплекта ЗИП-Г АЮИЖ.461114.053 ЗИП АСУНО изделия 2Б17М АЮИЖ.461939.094

Обозначение ЗЧ в рациональном составе ЗИП-Г	i_{Γ}	Sm_{Γ}	$\lambda_{\Gamma} \times 10^{-6}$, 1/ч	C_{Γ} , руб.	α_{Γ}	T_{Γ} , ч	β_{Γ}	n_{Γ}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Блок обработки АЮИЖ.461313.009	1	1	1770	253170	3	4	0	1
Система самоориентирующаяся гироскопическая курсокреноуказания АЮИЖ.462515.017-01	2	1	3840	307130	3	4	0	1
Аппаратура спутниковой навигации 14Ц821С ЦДКТ.464316.597 ТУ в составе:	3	1	4140	491230	3	4	0	1
блок электронный ПИ ЦДКТ.431421.599	4	1	1650	296690	3	4	0	1
модуль антенный МАЗ ЦДКТ.468732.014	5	1	57	194540	3	1	0	1
Датчик скорости механический АЮИЖ.402221.002	6	1	300	7543	3	1	0	1
Радиостанция Р-168-5УН-2 ИТНЯ.464511.195	7	1	324	21048	3	1	0	1
Комплект укладочных средств АЮИЖ.461936.091	8	1	426	2054	3	1	0	1

Таблица 5

Рациональный состав комплекта ЗЧ ЗИП-Г АЮИЖ.461114.053 ЗИП АСУНО изделия 2Б17М АЮИЖ.461939.094

Обозначение ЗЧ в комплекте ЗИП-Г	S	$m_{j\Gamma}$	$\lambda_{3\Gamma} \times 10^{-6}, 1/\text{ч}$	$\lambda_{i\Gamma} \times 10^{-6}, 1/\text{ч}$
Блок обработки АЮИЖ.461313.009	30	2	59	1770
Система самоориентирующаяся гироскопическая курсокренуказания АЮИЖ.462515.017-01	30	2	64	3840
Аппаратура спутниковой навигации 14Ц821С ЦДКТ.464316.597 ТУ в составе:	30	1	1,91	114,6
– блок электронный ПИ ЦДКТ.431421.599	30	2	7,1	639
– модуль антенный МАЗ ЦДКТ.468732.014	30	1	5,65	508,5
Датчик скорости механический АЮИЖ.402221.002	30	1	7,5	225
Радиостанция Р-168-5УН-2 ИТНЯ.464511.195	2	1	8,62	258,6

Примечания к табл. 4:

Для расчета показателей достаточности запасов в комплекте ЗИП-Г используется обобщенный параметр: интенсивности спроса на ЗЧ i -го типа $\Lambda_{i\Gamma}$, которая записана в графе 4 таблицы, а в графе 3 проставлена единица вместо $Sm_{j\Gamma}$.

Определяем значения показателей достаточности запасов для рационального состава комплекта ЗИП-Г АСУНО изделия 2Б17М АЮИЖ.461939.094 $\Delta t'_{\text{ЗИП-Г}}$ и $K'_{\text{ЗИП-Г}j}$ по зависимостям (1) и (2):

$$\Delta t'_{\text{ЗИП-Г}} = 3,04, K'_{\text{ЗИП-Г}j} = 0,989.$$

Вычисление параметра $\Lambda_{i\Gamma}$ для состава ЗЧ, входящих в рациональный состав комплекта ЗИП-Г АСУНО изделия 2Б17М АЮИЖ.461939.094, сведены в табл. 5.

Таким образом, определены значения показателей достаточности запасов в штатных комплектах ЗИП-Г, к которым относятся:

– среднее время задержки в удовлетворении заявок на ЗЧ комплектом ЗИП-Г $\Delta t_{\text{ЗИП-Г}}$;

– коэффициент готовности ЗИП-Г относительно j -го образца из обслуживаемой группы изделия $K_{\text{ЗИП-Г}j}$.

Для АСУНО изделия 2Б17М — аппаратуры управления АЮИЖ.461214.006 — ПД равны:

$$\Delta t_{\text{ЗИП-Г}} = 4,14, K_{\text{ЗИП-Г}j} = 0,964.$$

Определены значения показателей достаточности запасов в рациональных составах комплектах ЗИП-Г: для АСУНО изделия 2Б17М — аппаратуры управления АЮИЖ.461214.006:

$$\Delta t_{\text{ЗИП-Г}} = 3,04, K_{\text{ЗИП-Г}j} = 0,989.$$

Выводы

Целью разработки предложений явилось формирование рационального состава запасных частей автоматизированной системы управления наведением и огнем для обеспечения надежности функционирования всех составных частей этой системы.

Список источников

- ГОСТ 27.003–2016. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности. М.: Стандартинформ, 2016. 19 с.
- ГОСТ РВ 27.3.03–2005. Надежность военной техники. Оценка и расчет запасов в комплектах ЗИП. М.: Изд-во стандартов, 2005. 38 с.
- ГОСТ 27.002–89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. Изд-во стандартов, 1990.
- Чухнин В.Н. Надежность технических и технологических систем: монография. Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. акад., 2010. 400 с.
- Гаскаров Д.В., Голинкевич Т.А., Мозгалевский А.В. Прогнозирование технического состояния и надежности радиоэлектронной аппаратуры. М.: Сов. радио, 1974. 223 с.
- ГОСТ Р ИСО 13381-1–2016. Контроль состояния и диагностика машин. Прогнозирование технического состояния. Часть 1. Общее руководство. М.: Стандартинформ, 2016. 20 с.
- Беляев Ю.К., Богатырев В.А., Болотин В.В. и др. Надежность технических систем:

Справочник: под ред. И.А.Ушакова. М.: Радио и связь, 1985.

8. Надежность и эффективность в технике: Справочник. Т. 10. М.: Машиностроение, 1990.

9. ГОСТ РВ 0027-010–2008. Надежность военной техники. Прогнозирование надежности. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2008. 20 с.

10. Решетов Д.Н., Иванов А.С., Фадеев В.С. Надежность машин. М.: Высшая школа. 1988. 240 с.

References

1. GOST 27.003–2016. Reliability in technology. Composition and general rules for setting reliability requirements. Moscow: Standartinform, 2016, 19 p.

2. GOST RV 27.3.03–2005 Reliability of military equipment. Estimation and calculation of stocks in spare parts kits. Moscow: Publishing House of Standards, 2005. 38 p.

3. GOST 27.002–89. Reliability in technology. Basic concepts. Terms and definitions. Publishing House of Standards, 1990.

4. Chukhnin V.N. Reliability of technical and technological systems: a monograph. Penza: Publishing House of Penza State Technical University. akad., 2010. 400 p.

5. Gaskarov D.V., Golinkevich T.A., Mozgalevsky A.V. Forecasting the technical condition and reliability of radio electronic equipment. M.: Soviet Radio. 1974. 223 p.

6. GOST R ISO 13381-1–2016. Condition monitoring and diagnostics of machines. Forecasting the technical condition. Part 1. General guidance. Moscow: Standartinform, 2016. 20 p.

7. Belyaev Yu.K., Bogatyrev V.A., Bolotin V.V. et al. Reliability of technical systems: Handbook; Edited by I.A. Ushakov. Moscow: Radio and Communications, 1985.

8. Reliability and efficiency in technology: Handbook. Vol. 10. Moscow: Mashinostroenie, 1990.

9. GOST RV 0027-010–2008. Reliability of military equipment. Reliability forecasting. Basic provisions. M.: Standartinform, 2008. 20 p.

10. Reshetov D.N., Ivanov A.S., Fadeev V.S. Reliability of machines. M.: Higher School. 1988. 240 p.

УДК 623.444

doi: 10.53816/23061456_2025_7–8_125

ОБЗОР ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ШТЫК-НОЖЕЙ

OVERVIEW OF DOMESTIC AND FOREIGN MULTIFUNCTIONAL BAYONET KNIVES

Д.Н. Васильев, С.Н. Васильева, Р.Ю. Малин, М.Н. Рапоткина

D.N. Vasilev, S.N. Vasilieva, R.Yu. Malin, M.N. Rapotkina

НПО Спецматериалов

В статье представлен обзор принятых на вооружение моделей многофункциональных штык-ножей ведущих стран мира. Приведена классификация штыков с указанием отличительного признака исследуемых изделий. Изложены причины появления и сохранения необходимости наличия в современной экипировке военнослужащих многофункциональных штык-ножей. Описаны их модели и обозначены конструктивные особенности и основные характеристики, а также совместимые с конкретными изделиями модели стрелкового оружия. Приведены используемые при производстве описываемых изделий материалы и их параметры. Перечислены дополнительные функции штык-ножей и конструкторские решения, обеспечивающие их реализацию. Проведен анализ конструкций с целью выявления достоинств и недостатков, а также определены основные тенденции развития описываемых изделий.

Ключевые слова: нож, штык, штык-нож, холодное оружие, экипировка.

The article provides an overview of the models of multifunctional bayonet knives adopted by the leading countries of the world. The classification of bayonets is given, indicating the distinguishing feature of the products under study. The reasons for the appearance and maintenance of the need for multifunctional bayonet knives in modern military equipment are described. Their models are described and their design features and main characteristics are indicated, as well as models of small arms compatible with specific products. The materials used in the manufacture of the described products and their parameters are given. Additional functions of bayonet knives and design solutions for their implementation are listed. An analysis of the designs was carried out in order to identify the advantages and disadvantages, as well as the main development trends of the described products.

Keywords: knife, bayonet, bayonet-knife, edged weapon, equipment.

Введение

В современной экипировке военнослужащих особое место занимает штык-нож, который совмещает в себе одновременно функции оружия и хозяйственно-бытового инструмента. Согласно ГОСТ [1], штык определяется как кон-

тактное клинковое колющее или колюще-режущее оружие, крепящееся к дульной части ствола ручного огнестрельного оружия.

К группе этих изделий относят:

- игольчатый штык: штык с прямым тонким граненым клинком;
- штык-нож: штык с клинком ножа;

– штык-сошка: штык, используемый в качестве сошки;

– штык-тесак: штык с клинком тесака;

– штык-шпага: штык с клинком шпаги;

– штык-ятаган: штык с клинком ятагана.

Самым распространенным типом из вышеперечисленных, ввиду своей универсальности, является штык-нож. На популяризацию в армиях мира именно такого вида изделий оказал влияние тот факт, что развитие стрелкового вооружения и средств индивидуальной бронезащиты солдат сделало штыковые атаки анахронизмом, приводящим к высоким потерям среди личного состава. То, что данный тактический прием ушел в прошлое, также подтверждается тем, что его последнее применение датируется 2004 годом, когда он был использован солдатами британской армии в Ираке [2]. В то же время очевидно, что военнотружущему на всем протяжении времени службы критически необходим режущий универсальный инструмент для решения задач, не связанных напрямую с уничтожением живой силы противника, таких как: работа с проволокой, древесиной, такелажом, вскрытие тары для боеприпасов, приготовление пищи в полевых условиях, создание временных укрытий и т.д. Данное обстоятельство привело к необходимос-

ти оснащения вооруженных сил изделиями, способными выполнять хозяйственно-бытовые задачи и сохранять возможность, при необходимости, применения в качестве холодного оружия, будучи присоединенным к стрелковому оружию. К решению этой задачи ведущие страны мира подходят по-разному, несмотря на принципиальную схожесть сферы применения данных предметов.

С точки зрения конструкции, штык-ножи, являющиеся самостоятельными изделиями, следует рассматривать не обособленно, а в составе комплекса «нож-ножны», поскольку последние не только являются обязательной тарой, входящей в комплект поставки, но и часто отвечают за частичную или полную реализацию различных хозяйственно-бытовых функций, например при использовании ножей в роли инструмента для перекусывания проволоки.

В данной статье представлен обзор состоящих на данный момент на вооружении многофункциональных штык-ножей армий ведущих стран мира.

Штык-нож QNL-95 [3] (рис. 1) был принят на вооружение китайской армии в 1995 году. Данное изделие предназначено для установки на винтовку QBZ-95 и QBZ-03 (рис. 2).

Клинок штык-ножа имеет тип геометрии «clip-point» [4], выбор именно такой конфигурации призван обеспечивать не только хорошее проникающее действие при уколе, но и способствовать приемлемой нарезке различных материалов без лишних усилий со стороны пользователя. Лезвие изделия изготавливается из нержавеющей стали и оснащено долотом на одной из боковых поверхностей. Также клинок имеет ряд конструктивных элементов для реализации дополнительного функционала изделия, таких как:

– крепежное отверстие, служащее ответной частью для штифта, размещенного на наконечнике ножен;

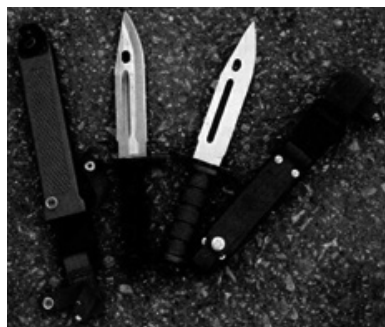


Рис. 1. Общий вид штык-ножа QNL-95 с ножнами в комплекте с ножнами и подвесом



а



б

Рис. 2. Общий вид размещения QNL-95: а — на винтовке QBZ-95; б — на винтовке QBZ-03

– специальная насечка на обухе для работы с листовым металлом.

Рукоять изделия изготавливается из нейлона и имеет цилиндрическую форму. Для улучшения удобства хвата штык-ножа в процессе использования на ней присутствуют четыре широких напльва с насечкой.

Ножны для штык-ножа, так же как и рукоять, производятся из нейлона. В их конструкцию входит металлический наконечник со специальным вырезом и штифтом, необходимыми в процессе использования изделия как устройства для перекусывания проволоки. В качестве крепления на экипировке используется ременной подвес.

Дополнительными функциями, предусмотренными производителем изделия, являются:

1) приспособление для перекусывания проволоки, для реализации которой нужно продеть специальный штифт на наконечнике ножен в предназначенное для него отверстие в клинке. Получаемый в результате данных манипуляций инструмент, согласно заявлениям производителя, предназначен для перекусывания стальной проволоки диаметром до 6 мм включительно;

2) пила по металлу, в роли которой служат специальные насечки на обухе клинка.

Основным недостатком данного изделия является нержавеющая сталь клинка, поскольку ее устойчивость к коррозии обеспечивается

пониженным содержанием углерода, что приводит к относительно быстрой утрате штык-ножом остроты и возникновению необходимости в правке или заточке.

Штык-нож L3A1 [5] (рис. 3) принят на вооружение в Великобритании в 1985 году и может устанавливаться на автоматическую винтовку SA-80, а также ее модификации L85A1 и L85A2 (рис. 4).

Отличительной особенностью данного изделия является то, что клинок с рукоятью представляют собой цельнолитую стальную деталь. Лезвие имеет геометрию типа «clip-point», а его режущая кромка оснащена специальной насечкой («серрейтором» [6]) для облегчения разделения волокнистых материалов и фигурным пазом. Поскольку штык-нож монтируется на оружии поверх надульного устройства, плоскость клинка смещена относительно оси рукояти (рис. 5). Такое конструктивное решение продиктовано необходимостью реализации возможности стрельбы из оружия с примкнутым L3A1.

Помимо нетрадиционного расположения клинка, следствием особенностей монтажа изделия на винтовку, явилось оснащение его рукояти специальными пазами, которые, при установке штык-ножа на оружие, совпадают с прорезами на надульном устройстве. Это позволяет минимизировать влияние изделия на баллистические характеристики боеприпаса при осуществлении стрельбы.

Ножны для данного штык-ножа являются, по своей сути, отдельным техническим комплексом. Основным материалом для их изготовления является пластик, но также присутствует большая доля металлических элементов. Они оснащаются стальным наконечником, служащим для реализации дополнительного функционала изделия, который существенно превосходит все известные на данный момент аналогичные конструкции.



Рис. 3. Общий вид штык-ножа L3A1 с ножнами и системой подвеса



Рис. 4. Общий вид SA-80 с примкнутым штык-ножом L3A1



Рис. 5. Штык-нож L3A1 вид спереди

Дополнительными функциями (рис. 6), предусмотренными производителем в данном изделии, являются:

1) устройство для перекусывания проволоки, которое реализуется путем установки клинка ножа на специальный штифт-ось через предназначенное для этого отверстие. Отличительной особенностью конструкции является наличие быстросменной твердосплавной пластины, формирующей режущую кромку паза на наконечнике ножен. Такое решение дает преимущества в плане полевого ремонта этого узла в случае повреждения;

2) открывашка для бутылок, в качестве которой предполагается использование края паза на наконечнике ножен;

3) пила для работ по дереву или листовому металлу, чье приведение в рабочее положение осуществляется путем раскладывания пилящего полотна, размещенного в специальном отсеке на ножнах, и упирания его в край паза «кусачек» на наконечнике;

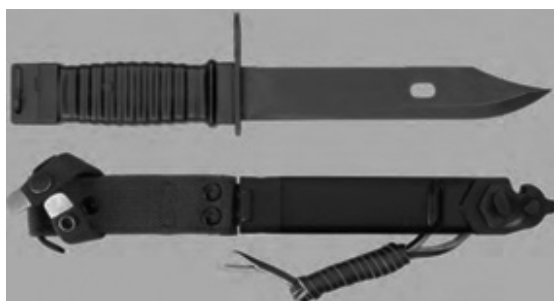
4) устройство для заточки и правки ножа, функцию которого выполняет специальный точильный камень, закрепленный на боковой поверхности ножен.



Рис. 6. Общий вид ножен для L3A1 с установленным для использования в роли «кусачек» штык-ножом и разложенной пилой

Основными недостатками данной конструкции, несмотря на обилие верных, с точки зрения закладываемых задач, технических решений, являются пластиковые с металлическим наконечником ножны и тот факт, что штык-нож выполнен единой стальной деталью, закрепляемой поверх надульного устройства. Обе эти особенности приводят к ухудшению характеристик изделия в условиях жаркого или холодного климата. Пластик ножен меняет свои прочностные характеристики в зависимости от температуры окружающей среды, что ведет к поломкам ножен в местах крепления металлических частей, в то время как металл обладает хорошей теплопередачей. Это становится причиной того, что оперирование штык-ножом голыми руками в условиях экстремальных климатических условий становится травмоопасной задачей для военнослужащего, точно так же как и использование изделия после произведения стрельбы из винтовки с закрепленным L3A1 на стволе. Одновременно с этим, циклические термические нагрузки, возникающие при регулярном воздействии дульного пламени на металл, становятся причиной изменения его структуры и ухудшения прочностных характеристик, что ведет к сокращению срока службы изделия.

Производство штык-ножей КСВ-70 и КСВ-77 [7] (рис. 7) началось в 1970 г. и 1977 г. соответственно. Они являются, конструктивно, одним и тем же изделием с незначительными доработками, касающимися материала рукояти, устройства для перекусывания проволоки и сегментов, отвечающих за непосредственное примыкание к стволу оружия. Их разные индексы, а также вышеозначенные изменения являются не более чем следствием специфики авторского права и юридическими аспектами смены фирмы



а



б

Рис. 7. Общий вид штык-ножей: а — КСВ-70; б — КСВ-77

производителя и не оказывают существенно-го влияния на функционал и предполагаемый спектр задач, которые предполагалось решать конечным изделием.

Изделие КСВ-70, изначально производившееся Carl Eickhorn Waffenfabrik AG, предназначалось для установки на различные модификации винтовки Stoner 63 (рис. 8), являясь, как и его следующая версия КСВ-77, западным аналогом штык-ножей для автомата Калашникова, существовавших в то время (модели 6Х3 и 6Х4).

Клинки ножей КСВ-70/77 имеют тип геометрии типа «clip-point» и изготавливаются из углеродистой стали. Для уменьшения коррозии они также проходят через фосфатирование, обеспечивающее создание защитной пленки по всей поверхности лезвия. Также у обеих версий штык-ножа клинок оснащается насечкой на обухе, предназначенной для работы с листовым металлом, и специальным пазом для закрепления на соответствующем штифте на кончике ножен.

Рукояти КСВ-70/77 изготавливаются из пластика, причем его марки, применяемые на КСВ-70 и на КСВ-77, отличаются. Геометрически они имеют веретенообразную форму, сплюсненную по боковой поверхности, параллельной плоскости клинка. Поперечное же сечение представляет собой прямоугольник с скругленными углами. Выбор такой конфигурации объясняется стремлением к обеспечению слепого позиционирования изделия в руке пользователя. Для повышения удобства хвата рукоять оснащена специальными насечками, а также в состав ее конструкции входит металлический тыльник, в котором, помимо защелки для крепления к оружию, оборудован специальный отсек для инструмента для настройки прицельных приспособлений на винтовках серии Stoner 63 (рис. 9).



Рис. 8. Общий вид винтовки Stoner 63 с установленным КСВ-70

Ножны для данных изделий производятся из пластика, так же как и в случае с рукоятями, его марки отличаются для каждой из версий. Оба варианта имеют металлический наконечник со специальным пазом, штифтом для установки клинка и плоским выступом на самом конце, а для фиксации на экипировке оснащаются ремненным подвесом.

Помимо возможности использования в качестве холодного оружия, закрепляемого на стволе винтовки, производитель конструктивно адаптировал данные изделия для выполнения следующих функций:

- 1) пила по металлу, реализуемая за счет специальной насечки на обухе клинка;
- 2) крупная шлицевая отвертка, в качестве которой предполагается использование плоского выступа на наконечнике ножен (рис. 10);
- 3) устройство для перекусывания проволоки и проводов под напряжением. Второе свойство сделалось возможным благодаря наличию пластиковых деталей на рукояти, которые обеспечивают токоизоляцию при работе с напряжениями до 20 000 Вольт, по заверению производителя. Приведение в рабочее положение осуществляется путем продевания специального штифта на наконечнике ножен в предназначенное для него отверстие на клинке.

В ходе эксплуатации изделия КСВ-70 был выявлен ряд проблем, касающихся прочностных характеристик ножен в местах контакта пластиковых и металлических деталей. Их устранение послужило формальным поводом для создания КСВ-77 преемником фирмы-производителя.

Основными отличиями КСВ-77 от своего формального предшественника являются:

- смена используемого при производстве рукояти и ножен пластика;

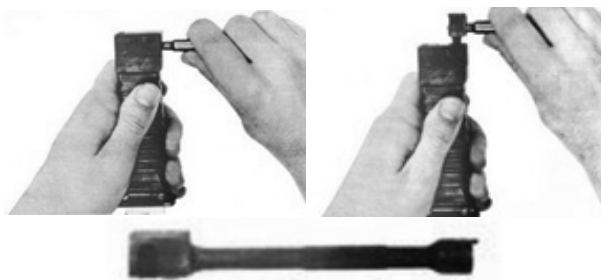


Рис. 9. Извлечение и демонстрация инструмента для настройки прицельных приспособлений из рукояти КСВ-70

- появление открывалки для бутылок на подпальцевом упоре;
- изменение конструкции наконечника ножен с пазом для перекусывания проволоки (рис. 10);
- расширение номенклатуры крепежных узлов (тыльников рукояти и подпальцевых упоров), что позволило увеличить число моделей оружия, с которыми данный штык-нож мог быть использован. Так появились модификации: М1 для винтовки M-16, М2 для FN-FAL, М3 для винтовки G3, М4 для U.S. M1 Carbine, М5 для применения с S.I.G. Stgw. 57 & 90, М6 для Mauser Kar 98k и М7 для АКМ, разница между которыми была только в вышеназванных узлах [7].

Все остальные эксплуатационные характеристики КСВ-77 остались неизменными, как и конструкция. В следствие этого сохранились и его принципиальные недостатки, основным из которых стал тот факт, что в попытке найти разумный компромисс между двумя сферами применения штык-ножа, производитель переоснастил клинок лишними конструктивными элементами, которые в случае боевого применения будут работать концентраторами напряжений, что приведет к порче или поломке изделия.

Штык-нож Eickhorn SG 2000 WC-F [8] является штатным штык-ножом к винтовке H&K 416F (рис. 11) и принято на вооружение французской армии в 2017 году. Данное изделие является специально адаптированной под требования вооруженных сил Франции версией Eickhorn SG 2000 WC с увеличенной до 5 мм толщиной обуха и замененной сталью клинка с 55Si7 на Professional Bayonet Steel собственного производства компании Eickhorn. Общий вид описываемого изделия показан на рис. 12.

В Eickhorn SG 2000 WC-F используется клинок, имеющий геометрию типа «американский



Рис. 11. Солдат с H&K 416F с примкнутым Eickhorn SG 2000 WC-F

танто». По замыслу производителя, такое решение позволяет сохранить кончик при колющих ударах по твердым предметам. На ближайшей к рукояти трети режущей кромки нарезан «серрейтор», что дает возможность быстро перерезать волокнистые материалы, такие как веревки и канаты. Также на клинке присутствует паз для закрепления на ножнах.

Рукоять данного штык-ножа изготавливается из армированного стекловолокном пластика. Она имеет веретенообразную форму, сплюсненную по краям, параллельно плоскости клинка, что облегчает оперирование изделием вслепую. В целях улучшения хвата рукоять также оснащена специальными напылениями для улучшения сцепления с ладонью пользователя.

Ножны для изделия изготавливаются из пластика, имеют металлический наконечник, оснащенный специальным пазом и штифтом для установки клинка ножа. Также в устье ножен имеется пружина для фиксации Eickhorn SG



Рис. 10. Вид наконечников ножен КСВ-70 (слева) и КСВ-77 (справа)



Рис. 12. Общий вид Eickhorn SG 2000 WC-F в комплекте с ножнами

2000 WC-F в походном положении. В качестве элемента крепления к экипировке предусмотрена адаптируемая система подвеса из кордуры, совместимая с системами MOLLE и IDZ.

Единственной дополнительной функцией данного изделия является возможность использования в роли инструмента для перекусывания проволоки и проводов под напряжением. Реализация данной возможности осуществляется путем установки клинка на ножны с совмещением отверстия на ноже с соответствующим штифтом. При таком сценарии использования электроизоляция в процессе применения обеспечивается наличием деталей, чей материал не проводит электрический ток.

Основными недостатками Eickhorn SG 2000 WC-F являются большой вес и сложная система фиксации ножа в ножнах, включающая в себя пружину, наличие которой увеличивает вероятность поломки узла.

Штык-нож M9 [5] принят на вооружение армии США в 1986 г. Является именно ножом вооруженных сил Соединенных Штатов Америки и не имеет отношения к морской пехоте США. Общий вид штык-ножа M9 представлен на рис. 13. Изделие подходит ко всем версиям винтовки M16, автоматическому карабину M4 и ряду гладкоствольных ружей армии США. Общий вид его монтажа на стволе оружия продемонстрирован на рис. 14.

Геометрия клинка штык-ножа M9 типа «clip-point» позволяет ему быть использованным в качестве колющего оружия, а также выдерживать боковые нагрузки за счет ширины клинка. Также этот параметр позволяет сделать на ноже высокие, по сравнению с аналогами, спуски, которые дают возможность применения изделия в качестве режущего инструмента без дополнительных усилий и оснастить изделие дополнительными хозяйственно-бытовыми функциями.



Рис. 13. Общий вид штык-ножа M9



Рис. 14. Общий вид монтажа изделия на стволе оружия

Рукоять у M9 пластиковая цилиндрическая с насечками для улучшения хвата изделия. Ее главной конструктивной особенностью является обеспечение возможности осуществления полной разборки изделия в полевых условиях (рис. 15) без использования специализированного инструмента. Такое решение позволяет упростить ремонт изделия в случае его поломки.

Ножны для данного штык-ножа изготавливаются из пластика и оснащаются металлическим наконечником для реализации функции приспособления для перекусывания проволоки. Для крепления к экипировке производителем предусмотрен ремной подвес, позволяющий размещать изделие на различных системах крепления, включая MOLLE.

Изделие в комплекте с ножнами имеет дополнительные конструктивно предусмотренные опции, такие как применение в роли приспособления для перекусывания проволоки, реализуемое классическим способом размещения клинка ножа на оси-штифте ножен, и пилки по металлу, что обеспечивается наличием насечки на обухе.

Главным недостатком штык-ножа M9 с точки зрения эксплуатации является его избыточный вес, напрямую связанный с большими габаритами изделия.

Актуальная на данный момент (третья) версия штык-ножа 6X5 [9] (рис. 16) была принята на вооружение в 1988 году. Она отличается от



Рис. 15. Штык-нож M9 в разобранном виде

предыдущих двух тем, что был возвращен предыдущий вариант реализации инструмента для перекусывания проволоки, применявшийся на 6Х3 и 6Х4, и удлинением области насечек на обухе, предназначенных для работы в качестве пилы по металлу. Штык-нож 6Х5 предназначен для использования с различными модификациями АК-74/100/12, АН-94, СВД, и общий вид его монтажа на ствол оружия представлен на рис. 17.

Клинок штык-ножа 6Х5 имеет кинжалообразный профиль и является асимметрично двулезвийным. Так же, как и его аналоги, оснащается насечкой на обухе, которая предназначена для работы с листовым металлом. Помимо этого, на клинке имеется прямоугольное отверстие для реализации функции использования в роли инструмента для перекусывания проволоки.

Рукоять данного изделия изготавливается из стеклонаполненного полиамида и для повышения надежности удержания в ладони пользователя снабжена тремя поперечными напльями. Также в конструкцию рукояти входит кольцо, служащее для закрепления на надульном устройстве, которое также выполняет защитную функцию, предохраняя пальцы пользователя от травм во время эксплуатации.

Ножны 6Х5 изготавливаются из стали и покрыты по всей длине, за исключением наконечника, стеклонаполненным полиамидом, идентичным тому, что использован на рукояти ножа.



Рис. 16. Общий вид штык-ножа 6Х5 в комплекте с ножнами



Рис. 17. Монтаж штык-ножа 6Х5 на стволе

На их наконечнике присутствует выступ-ось, для скрепления с клинком 6Х5. В соответствии с инструкцией, не подразумевающей иного ношения ножа в походном положении, кроме как на ремне, изделие имеет свободный ременный подвес с хлястиком для фиксации на рукояти изделия.

Дополнительными конструктивно предусмотренными функциями применения штык-ножа являются возможность использования в качестве инструмента для перекусывания проволоки, путем совместного использования клинка ножа и наконечника ножен, а также в роли пилки по металлу.

По опыту эксплуатации 6Х5 были выявлены следующие недостатки данного изделия: нестабильные значения твердости по всей площади клинка, а также его перегруженность конструктивными элементами, создающими точки концентрации напряжений.

Тем не менее, поскольку автомат Калашникова является одним из самых распространенных видов оружия в мире, а 6Х5 является его штатным штык-ножом с обратной совместимостью со старыми моделями оружия, то и само изделие не уступает по популярности стрелковому оружию, для которого предназначено. Наличие данного факта оказало прямое влияние на проверку средств индивидуальной защиты. Так, согласно ГОСТ 34286 [10], именно изделие 6Х5 в заводской заточке используется в качестве средства подтверждения класса «С» защитной структуры бронеодежды.

Штык-нож 6Х9-1 [11] (рис. 18) входит в состав комплекта боевой экипировки «Ратник», поставки которой в вооруженные силы начались в 2015 году. Единственным его отличием от боевого ножа 6Х9 является обеспечение возможности



Рис. 18. Общий вид штык-ножа 6Х9-1 в комплекте с ножнами

крепления на стволе стрелкового оружия. Данное изделие предназначено для использования вместе с различными модификациями автоматов Калашникова, общий вид монтажа на ствол которых показан на рис. 19.

Геометрия клинка штык-ножа 6Х9-1 относится к типу «clip-point». Лезвие оснащается долами на всем протяжении плоской части для снижения массы с сохранением прочности и обеспечения требуемого баланса изделия. Такой выбор конфигурации также был обусловлен тем, что одним из требований заказчика было то, чтобы нож был способен пробить бронежилет 6Б23 с энергией удара 40 Дж на глубину не менее 20 мм.

Рукоять изделия изготавливается из маслобензостойкого материала «Эластрон» (термоэластопласт) и оснащена насечками для лучшего удержания. Поскольку изделие, хоть и дает возможность применения в качестве штыка, предполагалось для основного использования в качестве ножа, в том числе и боевого, на тыльнике рукояти реализован ударный выступ, который может использоваться для разбивания каменных стекол или нанесения ударов в рукопашном бою.

Ножны изделия (рис. 20) изготовлены из ударостойкого пластика. Они также имеют металлические конструктивные элементы, такие как приспособление для перекусывания проволоки. Причем следует обратить внимание, что в данном случае «кусачки» являются полностью самостоятельным инструментом и не требуют использования клинка ножа в процессе эксплуатации. Такое конструктивное решение выгодно отличает данный штык-нож от своих предшественников (6Х4, 6Х5), у которых при перекусывании проволоки могло быть выведе-

но из строя лезвие из-за превышения допустимой нагрузки или отсутствия умения у пользователя. Также на внутренней стороне ножен размещена специальная алмазная пластина, которая дает возможность правки и заточки 6Х9-1 в полевых условиях, что немаловажно в условиях отсутствия нормального ремонта и обслуживания технических изделий. Система подвеса, примененная на изделии, также в лучшую сторону отличается от использованной на предыдущих моделях 6Х4 и 6Х5, поскольку позволяет не только размещать 6Х9-1 на всех видах ремennых креплений, но и на системе MOLLE.

На данный момент, ввиду новизны изделия, говорить о выявлении каких-либо общих конструктивных недостатков будет преждевременным, однако исключение из конструкции заведомо слабых мест, проявившихся у предшественников, так же как и обратная совместимость изделия в плане стрелкового оружия, позволяет надеяться на их минимальное количество.

Для большей наглядности результатов исследования все основные тактико-технические характеристики описанных ниже изделий сведены в таблицу.

Заключение

В настоящее время, штык-нож является неотъемлемым элементом снаряжения военнослужащего любой страны мира, представляя собой универсальный инструмент с возможностью применения в качестве средства уничтожения живой силы противника.

Проведенное обзорное исследование характеристик самых распространенных образцов отечественных и зарубежных штык-ножей по-



Рис. 19. Монтаж изделия на автомат Калашникова

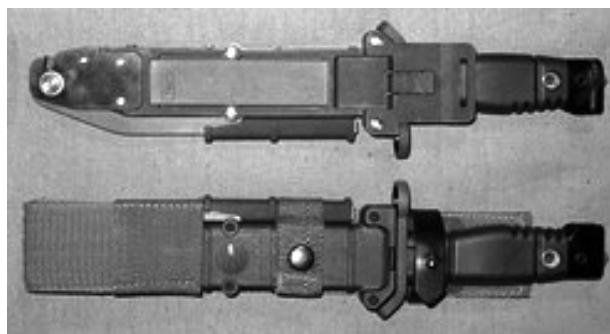


Рис. 20. Общий вид 6Х9-1 в ножнах

Таблица

Основные технические характеристики многофункциональных штык-ножей стран мира

Наименование изделия	QNL-95	L3A1	KCB-70/77	Eickhorn SG 2000 WC-F	M9	6X5	6X9-1
Общая длина, мм	300	273	303	309	310	290	281
Длина клинка, мм	175	178	175	173	180	160	162
Ширина клинка, мм	—	31	30	—	37	29	30
Толщина клинка, мм	—	—	—	5	6	4	5
Материал клинка	Сталь марки AISI 420	Нержавеющая сталь	Углеродистая сталь	Сталь марки Eickhorn Professional Bayonet Steel, твердостью 51-53 HRC	Сталь марки AISI 425 mod	Сталь марки 8ХФ	Сталь марки 95Х18 твердостью 54-58 HRC
Основной материал рукояти и ножен	Нейлон марки STB 801	Нержавеющая сталь	Пластик	Армированный стекловолокном пластик	Dupont Zytel 8018	Полиамид ПА6С-211ДС, сталь	Ударостойкий пластик и термоэластопласт «Эластрон»
Вес ножа, кг	0,38	—	0,25	0,32	0,38	0,223	0,27
Вес ножа с ножнами, кг	0,56	—	0,48	—	0,53	0,37	0,7

звolyет сделать следующие выводы, касающиеся роли изделия и тенденций его дальнейшего развития.

1. Штык-нож вследствие развития средств индивидуальной защиты и стрелкового вооружения из оружия превратился в универсальный-хозяйственно-бытовой инструмент, который, тем не менее, необходим каждому военнослужащему в процессе выполнения боевых задач.

2. При разработке новых изделий всегда исходят из предполагаемых задач, которые ему необходимо будет решать в процессе эксплуатации.

3. Основным путем конструктивного решения задачи обеспечения адекватного компромисса между двумя сценариями использования штык-ножа (в качестве инструмента и холодного оружия) является перенос элементов для реализации «инструментальной» их части на ножны, что позволяет распределить функции между составными частями комплекса «нож-ножны».

Тем самым повышается надежность каждого отдельного элемента, а также качество выполнения им той самой роли, для которой он предназначен.

Следует также отметить, что при разработке таких изделий всегда надо обеспечивать более строгий контроль качества материалов и их термообработки.

Улучшение прочностных, массогабаритных, геометрических и химических параметров в рамках грамотного подбора сырья является одним из основных способов обеспечения надежности и расширения списка сценариев применения изделий.

Основным преимуществом штык-ножа в рамках военной службы до сих пор остается универсальность. Именно это свойство позволяет сохранять жизни личного состава в условиях быстро меняющейся обстановки в зонах боевых действий, где постоянно необходимо не только оружие, но и шанцевый инструмент.

Список источников

1. ГОСТ 51215–98 «Оружие холодное. Термины и определения». М.: Стандартинформ, 2020.
2. Geoffrey Ingersoll A bayonet charge saved a whole lot of lives during the Iraq war // Business Insider. URL: <https://www.businessinsider.com/the-most-famous-bayonet-charge-of-modern-conflict-2012-10> (дата обращения: 12.03.2025).
3. Deng Qiyuan The most «cold» modern weapon — the M-9 multifunctional bayonet // NetEase. URL: <https://www.163.com/dy/article/EIU25QM605356CGL.html> (дата обращения: 10.02.2025).
4. Немцев А. Типы лезвий ножей и формы ножей // Noble Custom Knives. URL: <https://noblecustomknives.com/ru/types-of-knife-blades-and-knife-shapes/> (дата обращения: 13.02.2025).
5. Марчингтон Д. Боевые ножи. Иллюстрированная энциклопедия. М.: Эксмо, 2006. 44 с.
6. Семин Ю.М. Особенности использования и заточки серрейторного ножа // Мастерская Семина. URL: <https://semin-knife.ru/articles/osobennosti-zatochki-serreytornogo-nozha/> (дата обращения: 20.02.2025).
7. Ralph E. Cobb Promise meets hard luck The kcb-70 bayonet; the eickhorn brand's evolution and participation in u.s. bayonet trials; and the elusive pursuit of commercial success // The S.A.B.C. JOURNAL. 2016, Vol. 97, Fall.
8. The Original Eickhorn-Solingen Company. URL: <https://www.eickhorn-solingen.de/SG-2000-WC-F/> (дата обращения: 05.02.2025).
9. Подгорнов К. Эволюция штыка. Штык-ножи 6X2, 6X3, 6X4 и 6X5 для автоматов Калашникова // Калашников. 2018. № 10. С. 34–41.
10. ГОСТ 34286–2017 «Бронеодежда. Классификация и общие технические требования». М.: Стандартинформ, 2018. 3 с.
11. Штык-нож 6X9-1. Руководство по эксплуатации: АО «КАМПО». М.: КАМПО. С. 3–5.

References

1. GOST 51215–98 «Cold steel. Terms and Definitions». Moscow: Standartinform, 2020.
2. Geoffrey Ingersoll A bayonet charge saved a whole lot of lives during the Iraq war // Business Insider. URL: <https://www.businessinsider.com/the-most-famous-bayonet-charge-of-modern-conflict-2012-10> (date of accesse: 12.03.2025).
3. Deng Qiyuan The most «cold» modern weapon — the M-9 multifunctional bayonet // NetEase. URL: <https://www.163.com/dy/article/EIU25QM605356CGL.html> (date of accesse: 10.02.2025).
4. Nemtsev A. Types of knife blades and shapes of knives // Noble Custom Knives. URL: <https://noblecustomknives.com/ru/types-of-knife-blades-and-knife-shapes/> (date of accesse: 13.02.2025).
5. Marchington D. Combat knives. The Illustrated Encyclopedia. Moscow: Eksmo, 2006. 44 p.
6. Semin Yu.M. Features of using and sharpening a serrated knife // Semin's workshop. URL: <https://semin-knife.ru/articles/osobennosti-zatochki-serreytornogo-nozha/> (date of accesse: 20.02.2025).
7. Ralph E. Cobb Promise meets hard luck The kcb-70 bayonet; the eickhorn brand's evolution and participation in U.S. bayonet trials; and the elusive pursuit of commercial success // The S.A.B.C. JOURNAL. 2016. Vol. 97, Fall.
8. The Original Eickhorn-Solingen Company: URL: <https://www.eickhorn-solingen.de/SG-2000-WC-F/> (date of accesse: 05.02.2025).
9. Podgornov K. The evolution of the bayonet. Bayonet knives 6X2, 6X3, 6X4 and 6X5 for Kalalashnikov assault rifles // Kalashnikov. 2018. No 10. Pp. 34–41.
10. GOST 34286–2017 «Armored clothing. Classification and general technical requirements». Moscow: Standartinform, 2018. 3 p.
11. Bayonet knife 6X9-1 Instruction Manual / JSC «CAMPO». М.: CAMPO. Pp. 3–5.

УДК 544.47: 544.478.023.57:546.824-31:546.97:546.112

doi: 10.53816/23061456_2025_7–8_136

ПОИСК ПУТЕЙ СОЗДАНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ ВОДОРОДА ДЛЯ ВОДОРОД-ВОЗДУШНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

FINDING WAYS TO CREATE HYDROGEN GENERATORS FOR HYDROGEN-AIR FUEL CELLS

Д-р техн. наук Е.А. Нижниковский

D.Sc. E.A. Nizhnikovskiy

*Межведомственный научный совет по комплексным проблемам физики,
химии и биологии при президиуме РАН*

В качестве источника автономного электропитания вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) специалистами все чаще рассматриваются водород-воздушные топливные элементы (ТЭ). При использовании ТЭ возникает вопрос обеспечения надежного источника водорода. В настоящей работе проводились исследования путей создания эффективных генераторов водорода (ГВ) на основе гидридных соединений для обеспечения работы водород-воздушных ТЭ. Разработаны и изготовлены экспериментальные образцы ГВ с проточным реактором и реактором периодического действия, которые по своим характеристикам не уступают аналогичным разработкам, описанным в литературе. Разработана оптимальная конструкция и технология изготовления ГВ. Разработаны и изготовлены экспериментальные образцы ГВ двух типов, способные обеспечить работу ТЭ мощностью 20 Вт в течение 3 часов при расходе 18 г боргидрида натрия.

Ключевые слова: водород, генератор водорода, боргидрид, гидролиз.

Experts are increasingly considering hydrogen-air fuel cells (FS) as a source of autonomous power supply for military and special equipment. When using FS, the issue arises of providing a reliable source of hydrogen. In this work, research has been conducted on ways to create efficient hydrogen generators (HG) based on hydride compounds to ensure the operation of hydrogen-air FS. Experimental samples of HG with a flow reactor and a batch reactor have been developed and manufactured, which are not inferior in their characteristics to similar developments described in the literature. The optimal design and manufacturing technology of HG has been developed. Experimental samples of two types of thermal power plants have been developed and manufactured, capable of FS with a power of 20 Watts for 3 hours while consuming 18 g of sodium borohydride.

Keywords: hydrogen, hydrogen generator, borohydride, hydrolysis.

Введение

Большое внимание уделяется исследователями созданию источников автономного электропитания вооружения, военной и специ-

альной техники (ВВСТ) с использованием топливных элементов. Поскольку топливом для водород-воздушных топливных элементов служит чистый водород, именно его генерация в полевых условиях является решающим фактором для

работы ТЭ и автономных блоков питания на их основе. Следует подчеркнуть, что боргидриды щелочных металлов, и в частности, боргидрид натрия, теоретически содержат 10,8 весовых % водорода, который может выделяться при гидролизе боргидрида водой в соответствии с реакциями:



Высокую каталитическую активность в реакции гидролиза NaBH_4 с получением чистого водорода демонстрируют некоторые благородные металлы, а также катализаторы на основе боридов кобальта и никеля [1–16].

В настоящей работе показана возможность и найдены условия генерирования водорода, обеспечивающие его образование со скоростью 230 мл·мин⁻¹. Это обеспечивает работу ТЭ мощностью 20 Вт в течение 3 часов. Расчеты показывают, что для получения такой скорости генерации водорода необходимо, чтобы активность катализатора составляла 11650 мл_{H₂} мин⁻¹·г⁻¹. Такими характеристиками обладают аморфный катализатор на основе Со-В, а также аморфный Со-В, нанесенный на подложку из высокодисперсного диоксида титана (размер частиц $\text{TiO}_2 = 21$ нм).

Были разработаны решения по оптимизации технологии прессования «таблеток» состава катализатор-боргидрид натрия (количество катализатора на единицу массы боргидрида натрия, количество связующего вещества, температура и давление прессования). Проведены исследования скорости генерации водорода на выбранном катализаторе, спрессованном в «таблетки» с боргидридом натрия.

Разработана оптимальная конструкция и технология изготовления генераторов водорода (ГВ).

Разработаны и изготовлены экспериментальные образцы ГВ двух типов — с проточным реактором и реактором периодического действия, способные обеспечить работу ТЭ мощностью 20 Вт в течение 3 ч при расходе 18 г боргидрида натрия.

Проведены испытания экспериментальных образцов ГВ по разработанным методикам.

1. Разработка технологии приготовления порошков катализатора.

В результате проведенных исследований была разработана технология получения платиносодержащих катализаторов гидролиза боргидрида натрия на основе катодного материала LiCoO_2 (производство Новосибирского завода химических концентратов) и коммерческих катодных материалов NMC H5 ($\text{LiNi}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$) и NCA 850 ($\text{LiNi}_{0,8}\text{Co}_{0,15}\text{Al}_{0,05}\text{O}_2$).

Для приготовления катализаторов получения водорода из водных или водно-щелочных растворов боргидрида натрия в качестве гетерогенного носителя используют как непосредственно LiCoO_2 , так и модифицированные другими элементами носители общей формулы LiCoO_2X .

Для этого в стеклянную емкость помещают определенное количество носителя (LiCoO_2 , $\text{LiNi}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$ или $\text{LiNi}_{0,8}\text{Co}_{0,15}\text{Al}_{0,05}\text{O}_2$) и добавляют раствор H_2PtCl_6 с таким расчетом, чтобы нанести платину в количестве 1,5 % от веса носителя. Излишек жидкости упаривают при температуре 80 °С и постоянном перемешивании. После этого осадок сушат в атмосфере аргона при 110–150 °С в течение 4 часов. Таким способом на основе коммерческих катодных материалов литиевых источников тока были приготовлены три образца содержащих 1,5 % платины катализаторов:

1) PtLiCoO_2 , содержащий 1,5 % Pt; выход катализатора 2 г;

2) $\text{PtLiNi}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$, содержащий 1,5 % Pt и полученный при температуре 144–147 °С; выход катализатора 2,02 г;

3) $\text{PtLiNi}_{0,8}\text{Co}_{0,15}\text{Al}_{0,05}\text{O}_2$, содержащий 1,5 % Pt и полученный при температуре 133–150 °С; выход катализатора 2,07 г.

Предварительные испытания показали эффективность использования указанных катализаторов для генерации водорода.

2. Сравнительное исследование скорости гидролиза боргидрида натрия в присутствии катализаторов на разных носителях.

При переносе электрона от иона BH_4^- на катализатор ион BH_4^- отдает электрон, а при этом ион H^- в анионе BH_4^- окисляется. С другой стороны, этот электрон восстанавливает протон H^+ из воды с образованием газообразного водорода. Реакцию гидролиза боргидрида

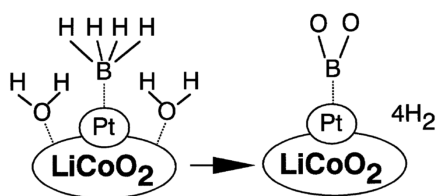


Рис. 1. Схематическое изображение реакции NaBH_4 с водой на катализаторе $\text{Pt} - \text{LiCoO}_2$

натрия на катализаторе $\text{Pt} - \text{LiCoO}_2$ можно представить схемой, изображенной на рис. 1.

Таким образом, эти процессы можно формально описать уравнением (3):



NaBH_4 медленно реагирует с водой, выделяя водород. NaBH_4 достаточно стабилен при поддержании высокого pH раствора [5].

Согласно данным электронной микроскопии, размер частиц катализатора после взаимодействия с боргидридом натрия уменьшается и, соответственно, снижается активность катализатора при последующих циклах. Такое падение активности, вероятно, связано с частичным взаимодействием боргидрида с LiCoO_2 и образованием стеклоподобных литий-бороксидных слоев [17].

Изучены кинетические зависимости скорости гидролиза боргидрида натрия, полученные в последовательных циклах гидролиза в присутствии платиносодержащих катализаторов на исследованных носителях.

Сравнительный анализ полученных данных по скорости гидролиза боргидрида натрия на платиносодержащих катализаторах на разных носителях показывает, что наибольшая скорость гидролиза достигается на платиновом катализаторе, полученном на носителе LiCoO_2 .

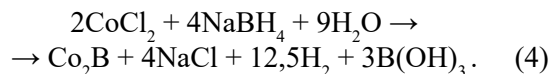
3. Разработка технологии приготовления катализатора $\text{Co} - \text{V}$.

Разработаны методики для приготовления катализатора $\text{Co} - \text{V}$, а также катализатора $\text{Co} - \text{V}$, равномерно нанесенного на высокодисперсную подложку из диоксида титана.

3.1. Технология приготовления катализатора $\text{Co} - \text{V}$.

Для приготовления каталитического предшественника $\text{Co} - \text{V}$ (борида кобальта) в качестве исходных реагентов были взяты боргидрид натрия NaBH_4 и хлорид кобальта CoCl_2 . Гидрок-

сид натрия служил в качестве буферной добавки. Процесс приготовления состоял в следующем. 50 мл раствора CoCl_2 ($0,40 \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1}$) были помещены в колбу объемом 200 мл. Затем в ту же колбу добавляли 50 мл 5 % NaBH_4 в 10 % растворе NaOH со скоростью подачи $10 \text{ мл} \cdot \text{мин}^{-1}$.



Осадок, обработанный в атмосфере азота (аргона) и высушенный при температуре 90°C , демонстрирует наибольшую активность в реакции гидролиза боргидрида натрия ($5136 \text{ мл} \times \text{мин}^{-1} \cdot \text{г}^{-1}$), что может обеспечить работу ТЭ мощностью 830 Вт.

3.2. Технология приготовления $\text{Co} - \text{V}$ на высокодисперсном TiO_2 .

Катализаторы $\text{Co} - \text{V}$ получали методом пропитки. В качестве подложки был использован высокодисперсный диоксид титана, а в качестве исходного материала — ацетат кобальта. Содержание металлического Co в катализаторе составляло 5 мас. %. После пропитки ацетатом кобальта образцы восстанавливали раствором NaBH_4 при комнатной температуре. Для получения 2 г катализатора, содержащего 5 % Co , необходимо растворить 422 мг $\text{Co}(\text{II})$ ацетаттетрагидрата в 20 мл воды. Раствором ацетата кобальта пропитывают подложку из диоксида титана и затем сушат в сушильном шкафу при 100°C в течение 4 часов. Затем порошок диспергируют в воде и добавляют к нему по каплям раствор боргидрида (5 мл, 1 М) в смеси вода : метанол = 1 : 1 в потоке аргона или азота. Молярное соотношение $\text{Co} : \text{V}$ в исходном материале было зафиксировано на уровне 1 : 3. Избыточное количество NaBH_4 использовали для полного восстановления катионов кобальта до металла.

4. Разработка оптимальной конструкции и технологии изготовления ГВ.

Было предложено два варианта конструкции генератора водорода.

1) Генератор водорода (ГВ) с проточным реактором гидролиза боргидрида натрия с использованием порошкового катализатора $\text{Co} - \text{V}$ аморфной модификации.

Данная модификация ГВ состоит из блока реакторной зоны в виде цилиндра из никелевой сетки, приваренной точечной сваркой к цилиндрическому остоу из нержавеющей стали с



Рис. 2. Реакторный блок ГВ с проточным реактором

окном для загрузки порошкового катализатора (рис. 2).

В состав проточной конструкции также входят емкость для исходного 6 % раствора боргидрида натрия в 1 % щелочном растворе (стабилизатор раствора боргидрида натрия) и насос для подачи раствора боргидрида натрия в зону гидролиза (реакторную зону).

Для обеспечения работы ТЭ мощностью 20 Вт в течение 3 часов, в реактор, и непосредственно на катализатор, подается 6 % раствор боргидрида натрия (300 мл, содержащие 18 г NaBH_4) со скоростью 1,66 мл·мин⁻¹. Соответствующая конструкция в сборке показана на рис. 3.

После окончания трех часов работы ГВ предусмотрена его промывка для удаления жидких продуктов гидролиза, для чего нижняя зона реактора ГВ снабжена сливной пробкой. Катализатор после отделения и промывки дистиллированной водой с последующим высушиванием может быть использован повторно;

2) Конструкция ГВ с реактором периодического действия. Реактор этой модификации ГВ также выполнен из нержавеющей стали и содержит зону загрузки исходного таблетированного боргидрида натрия с катализатором и связующим, технический манометр для фиксации дав-



Рис. 3. ГВ проточного типа в сборке включает: реакторный блок с обогреваемым корпусом (слева на рисунке), емкость для щелочного раствора боргидрида натрия, перистальтический насос для подачи раствора NaBH_4 в реакторную зону гидролиза

ления в реакторе и кран тонкой регулировки для подачи водорода в ТЭ.

Внутренний объем реактора периодического действия составляет 1,9 л. Технологически реактор рассчитан на давление 40 атм. Для обеспечения трехчасовой работы ТЭ мощностью 20 Вт, в реактор одновременно загружают 3 «таблетки», каждая из которых содержит 6 г NaBH_4 , 1,2 г катализатора Co-B , 1,2 г H_3BO_3 и 0,6 г порошка тефлона. Предварительно в реактор гидролиза заливается 100 мл воды, и после сборки ГВ 3 «таблетки» опрокидываются в воду, при этом все краны ГВ в это время закрыты. При контакте «таблеток» с водой начинается реакция гидролиза. После окончания процесса гидролиза 18 г NaBH_4 (6 г $\times$ 3) теоретически должно выделиться 42,6 л H_2 .

Учитывая, что свободный объем реактора составляет 1,9 л, давление в ГВ должно составить 22,4 атм. Генератор водорода с реактором периодического действия в сборке представлен на рис. 4.



Рис. 4. Генератор водорода периодического действия в сборке. Объем рабочей полости реактора гидролиза 1,9 л. Температура в реакторной зоне 40 °С. Давление 11,2 атм.

В нижней зоне реактора ГВ предусмотрена сливная пробка для удаления продуктов гидролиза. После промывки реакторной зоны водой ГВ готов к последующим циклам работы. Катализатор Со-В, содержащийся в таблетированном боргидриде натрия, после многократной промывки водой и сушки может быть повторно использован для приготовления таблетированного топлива.

5. Разработка и изготовление экспериментальных образцов ГВ

Были изготовлены экспериментальные образцы ГВ, способных обеспечить работу ТЭ мощностью 20 Вт в течение 3 часов при расходе 18 г боргидрида натрия. Рабочие реакторные зоны как проточного ГВ, так и ГВ периодического действия изготовлены на базе готовых (покупных) изделий, доработанных и оснащенных в соответствии с условиями, требуемыми для проточного или периодического варианта их работы.

Проведенные испытания экспериментальных образцов ГВ показали оправданность использования вышеописанных технических решений.

Заключение

Показана возможность и определены условия генерирования водорода, обеспечивающие его образование со скоростью 230 мл·мин⁻¹. Генерация водорода с такой скоростью обеспечивает работу ТЭ мощностью 20 Вт в течение 3 часов. Расчеты показывают, что для получения такой скорости генерации водорода активность катализатора должна достигать величины не менее 11650 мл_{H₂}·мин⁻¹·г⁻¹. Такими катализаторами могут быть, например, синтезированный катализатор на основе аморфизированного Со-В, а также Со-В, нанесенный на подложку из высокодисперсного диоксида титана (размер частиц 21 нм), а также другие синтезированные нами катализаторы. Полученные результаты могут быть основой для разработки промышленных образцов ГВ проточного и периодического действия.

Разработана оптимальная конструкция и технология изготовления ГВ.

Разработаны и изготовлены экспериментальные образцы ГВ двух типов (с проточным реактором и реактором периодического действия), способных обеспечить работу ТЭ мощностью 20 Вт в течение 3-х часов при расходе 18 г боргидрида натрия.

Проведены испытания экспериментальных образцов ГВ. Результаты испытаний подтверждают работоспособность экспериментальных образцов в соответствии с планируемыми условиями.

Список источников (References)

1. Amendola S.C., Sharp-Goldman S.L., Janjua M.S., Kelly M.T., Petillo P.J., Binder M. An ultra-safe hydrogen generator: aqueous, alkaline borohydride solutions and Ru catalyst. *J. Power Sources* 2000; 85:186.
2. Richardson B.S., Birdwell J.F., Pin F.G., Jansen J., Lind R.F. Sodium borohydride based hybrid power system. *J. Power Sources* 2005; 145: 21–9.
3. Schlesinger H.I., Brown H.C., Finholt A.E., Gilbreath I.R., Hoekstra H.R., Hyde E.K. Sodium borohydride, its hydrolysis and its use as a reducing agent and in the generation of hydrogen. *J. Am. Chem. Soc.* 1953; 75: 215–9.
4. Kaufman C.M., Sen B. Hydrogen generation by hydrolysis of sodium tetrahydroborate: effects of

acids and transition metals and their salts. *J. Chem. Soc. Dalton Trans.* 1985; 13: 307.

5. Kojima Y., Suzuki K.I., Fukumoto K., Sasaki M., Yamamoto T., Kawai Y., et al. Hydrogen generation using sodium borohydride solution and metal catalyst coated on metal oxide. *Int. J. Hydrogen Energy* 2002; 27: 1029–34.

6. Hua D., Hanxi Y., Xinping A., Chuansin C. Hydrogen production from catalytic hydrolysis of sodium borohydride solution using nickel boride catalyst. *Int. J. Hydrogen Energy* 2003; 28: 1095–100.

7. Chin-Chang Yang, Miao-Sheng Chen, Yu-Wen Chen. Hydrogen generation by hydrolysis of sodium borohydride on CoB/SiO₂ catalyst. *Int. J. Hydrogen Energy* 36 (2011) 1418–1423.

8. Paul Brack, Sandie E. Dann & K. G. Upul Wijayantha. Heterogeneous and homogenous catalysts for hydrogen generation by hydrolysis of aqueous sodium borohydride (NaBH₄) solutions // *Energy Science and Engineering* 2015; 3(3): 174–188.

9. Chuan Wu, Feng Wua, Ying Baia, Baolian Yi, Huamin Zhan. Cobalt boride catalysts for hydrogen generation from alkaline NaBH₄ solution // *Materials Letters* 59 (2005), 1748–1750.

10. Gupta S., Patel N., Fernandes R., Kadrekar R., AlpaDashora, Yadav A.K., Bhattacharyya D., Jha S.N., Miotello A., Kothari D.C. Co–Ni–B nanocatalyst for efficient hydrogen evolution reaction in wide pH ranges // *Applied Catalysis B: Environmental* 192 (2016), 126–133.

11. Sooseok Choi, Lorico D.S., Lapitan Jr., Yingying Cheng, Takayuki Watanabe, Synthesis of

cobalt boride nanoparticles using RF thermal plasma // *Advanced Powder Technology* 25 (2014) 365–371.

12. Suraj Gupta, Nainesh Patel, Antonio Miotello, Kothari D.C.. Cobalt-Boride: An efficient and robust electrocatalyst for Hydrogen Evolution Reaction // *J. Power Sources* 279 (2015), 620–625.

13. Cheng-Hong Liu, Bing-Hung Chena, Chan-Li Hsueh, Jie-Ren Ku, Ming-Shan Jeng, Fanghei Tsau. Hydrogen generation from hydrolysis of sodium borohydride using Ni–Ru nanocomposite as catalysts // *Int. J. Hydrogen Energy* 34 (2009), 2153–2163.

14. Umit Bilge Demirci, Akdim Ouadia, Jérôme Andrieux, Julien Hannauer, Rita Chamoun, Philippe Miele. Sodium borohydride hydrolysis as hydrogen generator: issues, state of the art and applicability upstream from a fuel cell // *Fuel Cells, Wiley-VCH Verlag*, 2010, 10 (3). Pp. 335.

15. Simagina V.I., Ozerova A.M., Komova O.V., Odegova G.V., Kellerman D.G., Fursenko R.V., Odintsov E.S., Netskina O.V. Cobalt boride catalysts for small-scale energy application // *Catalysis Today* 242 (2015), 221–229.

16. Netskina O.V., Fursenko R.V., Komova O.V., Odintsov E.S., Simagina V.I. NaBH₄ generator integrated with energy conversion device based on hydrogen combustion // *J. Power Sources* 273 (2015), 278–281.

17. Komova O.V. et al. LiCoO₂-Supported Catalysts for Hydrogen Generation from Sodium Borohydride Solution. *Chemistry for Sustainable Development* 15 (2007), 181–187.

УДК.623.4

doi: 10.53816/23061456_2025_7-8_142

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСОВ ПОВЫШЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ФОРТИФИКАЦИОННЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ
ГАБИОНОВ НАСЫПНОГО ТИПА**

**STUDY OF THE ISSUES OF INCREASING THE PROTECTIVE
CHARACTERISTICS OF FORTIFICATION STRUCTURES
BASED ON BULK-TYPE GABIONS**

*Д-р техн. наук Н.М. Сильников¹, канд. техн. наук А.С. Пучков¹,
канд. техн. наук А.И. Спивак¹, канд. техн. наук И.А. Спивак²*

D.Sc. N.M. Silnikov, Ph.D. A.S. Puchkov, Ph.D. A.I. Spivak, Ph.D. I.A. Spivak

¹ НПО Спецматериалов, ² НИЦ(РВуА) Михайловской военной артиллерийской академии

В статье рассмотрен вопрос применения фортификационного комплекса, состоящего из последовательно размещенных изделий «Лоза» и габионов насыпного типа, для оборудования критически важных объектов, позиций вооружения, военной и специальной техники с целью защиты личного состава, боевой техники, транспорта и материальных средств от противотанковых кумулятивных гранат ручных противотанковых гранатометов. Защитные характеристики комплекса подтверждены в ходе натурных испытаний обстрелом его гранатами ПГ-7ВЛ, в результате испытаний установлено, что элементы гранаты ПГ-7ВЛ после срабатывания ее боевой части на конструкции изделия «Лоза» задерживаются габионами насыпного типа без поражения их тыльной части.

Ключевые слова: система инженерной защиты «Лоза», габион насыпного типа, противотанковая кумулятивная граната, ручной противотанковый гранатомет, полигонные испытания.

The article considers the issue of using a fortification complex consisting of sequentially placed Loza products and bulk gabions for equipping critically important objects, weapon positions, military and special equipment in order to protect personnel, combat equipment, transport and material resources from anti-tank cumulative grenades of hand-held anti-tank grenade launchers. The protective characteristics of the complex were confirmed during full-scale tests by firing PG-7VL grenades at it. As a result of the tests, it was established that the elements of the PG-7VL grenade, after the activation of its warhead on the Loza product structure, are retained by the bulk gabions without damaging their rear part.

Keywords: engineering protection system «Loza», bulk gabion, anti-tank cumulative grenade, hand-held anti-tank grenade launcher, field tests.

В современных условиях изменилась тактика применения противотанковых ручных гранатометов, которые нашли широкое применение не

только для поражения бронированных целей, но также для уничтожения деревоземляных укрытий, а также поражения открыто расположенной

живой силы. Так, например, в ходе деблокирования 22 ноября 1992 года вооруженными отрядами таджикской оппозиции совместно с афганскими моджахедами автодороги Пяндж — Курган-Тюбе при падении так называемого Пянджского фронта (Таджикистан) [1] на каждый выстрел из стрелкового оружия с противоположной следовало 2–3 выстрела из РПГ-7 (в большинстве случаев не прицельных), в результате которых происходили поражения осколками и взрывной волной личного состава в радиусе до 4 м.

Кроме этого, оказывается дополнительное деморализующее воздействие на личный состав. Следует отметить, что при попадании противотанковой гранаты в легкобронированную машину поражение личного состава в бронемашине кумулятивной струей происходит только на расстоянии до 2,5 м, а поражение осколками — только на длину внутреннего пространства машины. Данные показывают необходимость исследования и разработки средств защиты блок-постов и объектов критической инфраструктуры не только от пуль стрелкового оружия [2–4], но и от фугасного [5–8], осколочного [9], кумулятивного действия боеприпасов [10].

При инженерном оборудовании местности для размещения блок-постов, совершенствовании фортификационного оборудования системы охраны объектов, позиций критически важных элементов воинских частей, усиления (дооборудования) инженерного оборудования позиций вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) в настоящее время широкое применение получили габионы насыпного типа (ГНТ) [11]. Они предназначены для защиты личного состава, боевой техники, транспорта и материальных средств при фортификационном оборудовании

в короткие сроки позиций подразделений и мобильных объектов, а также пунктов временной дислокации войск.

К системе охраны объектов, требующей усиления, относятся: оборудованные контрольно-пропускные пункты (КПП) и въездные группы объекта; элементы системы наземной обороны. Для этого в позиционных районах объекта возводятся сооружения: для наблюдения, для ведения огня, для защиты личного состава, для укрытия боевой техники, для отдыха личного состава, оборудованные КПП. При этом наиболее целесообразным является применение ГНТ при оборудовании временных, ложных и учебных мобильных объектов. Основными типами сооружений, возводимых из габионов насыпного типа, могут быть: защитная стена; бойницы для стрелка с противоосколочными козырьками; позиции для стрельбы из ручного противотанкового гранатомета; позиции для стрельбы из автоматического станкового гранатомета АГС-17; универсальные окопы для боевой техники; универсальные укрытия для боевой техники; перекрытые щели на отделение; устройство КПП. Все типы сооружений из ГНТ возводятся на поверхности грунта, без заглубления с применением средств механизации и вручную. Примеры использования ГНТ для оборудования блок-постов, позиций для боевой техники и стрелковой огневой позиции представлены на рис. 1 и 2.

Широкое применение ГНТ способствовало значительному сокращению сроков фортификационного оборудования позиций войск, при этом уровень защиты личного состава, вооружения и техники по сравнению с окопами, укрытиями заглубленного и полуглубленного типов в значительной степени не снижался.



Рис. 1. Пример использования ГНТ для оборудования блок-поста



а



б

Рис. 2. Примеры использования ГНТ для оборудования позиции:
а — для боевой техники; б — для стрелковой огневой позиции

ГНТ изготавливаются и поставляются двух типов:

- малогабаритные габионы насыпного типа (ГНТ-1), размерами $0,6 \times 0,6 \times 3,6$ м, состоящие из шести секций размерами $0,6 \times 0,6 \times 0,6$ м;
- габионы механизированного заполнения (ГНТ-2), размерами $0,9 \times 1,2 \times 3,6$ м, состоящие из четырех секций $0,9 \times 1,2 \times 0,9$ м.

С внутренней стороны по периметру ГНТ закрепляется защитная оболочка, выполненная из

геотекстиля, представляющего собой, как правило, экологически безопасный огнестойкий нетканый водопропускной материал, из полиэфирных или полипропиленовых волокон. Для быстрой разборки в каркасе каждого отдельного модуля имеется запирающая конструкцию проволоочная спираль.

Основные технические характеристики ГНТ представлены в таблице [11].

Однако в ходе эксплуатации ГНТ в составе элементов фортификационного оборудования

Таблица

Основные характеристики ГНТ

№ п/п	Наименование показателей	ГНТ-1	ГНТ-2
1	Габаритные размеры в развернутом положении:		
	– длина, м	3,65	3,65
	– ширина, м	0,6	0,9
	– высота, м	0,6	1,2
	– объем, м ³	1,31	3,94
2	Масса, кг	20,0	35,0
3	Наружные размеры после заполнения грунтом:		
	– длина, м	3,68	3,68
	– ширина, м	0,72	1,1
	– высота, м	0,6	1,2
	– объем, м ³	1,58	4,85
4	Расчет на развертывание (сборку), заполнение грунтом и на разборку габиона, чел.	2	2
5	Время на развертывание (сборку) вручную, мин.	2–3	3–4
6	Заполнение грунтом:		
	– средствами механизации, мин.	6	6–7
	– вручную, мин.	35	105

местности, было отмечено, что они пробиваются кумулятивной струей противотанковых гранат ручных противотанковых гранатометов. Так, при обстреле ГНТ из РПГ-18 гранатой была получена детонация гранаты внутри ГНТ, чем было нанесено значительное повреждение его конструкции, при этом ГНТ был пробит кумулятивной струей. При обстреле ГНТ из РПГ-7 две противотанковые гранаты сдетонировали о сетку габиона, потому повреждения его конструкции были нанесены минимальные, хотя в обоих случаях кумулятивная струя пробивала ГНТ [12].

В связи с отсутствием в [13–14] информации, позволяющей идентифицировать тип ГНТ, обстрелянного из РПГ, была проведена серия испытаний ГНТ-1 и ГНТ-2, стрельбой из РПГ-7. Толщина преграды по нормали составляла: для ГНТ-1 — 0,6 м, для ГНТ-2 — 0,9 м. По ГНТ-1 был произведен один выстрел, по ГНТ-2 — два выстрела. На всех выстрелах были получены

полные детонации противотанковых гранат на лицевых поверхностях ГНТ, при этом на всех выстрелах кумулятивная струя проникла за тыльную поверхность. Результаты обстрела ГНТ противотанковыми гранатами ПГ-7ВЛ представлены на рис. 3 и 4.

Полученные в эксперименте результаты можно объяснить тем, что противотанковые гранаты ПГ-7 и ПГ-7Л к гранатомету РПГ-7 способны пробивать кирпичную стенку толщиной 1,0–1,5 м, железобетон толщиной 0,6–1,1 м, дерево-земляное укрепление толщиной 1,5–2,4 м [13].

В связи с этими обстоятельствами возникает острая проблема увеличения стойкости фортификационных сооружений к воздействию противотанковых гранат ручных противотанковых гранатометов, для решения которой предлагают различные технические решения [14–17].

Известно изобретение [17], в котором патентуется способ защиты объекта вооружения,



а



б

Рис. 3. Результаты обстрела ГНТ-1 противотанковой гранатой ПГ-7ВЛ:
а — входное отверстие; б — выходное отверстие



а



б

Рис. 4. Результаты обстрела ГНТ-2 противотанковыми гранатами ПГ-7ВЛ:
а — входные отверстия; б — выходные отверстия

военной техники и личного состава от поражения кумулятивно-осколочными артиллерийскими боеприпасами. Способ заключается в том, что перед защищаемым объектом на всех театрах военных действий размещают на открытой местности в один ряд по фронту и в один или два яруса по высоте ГНТ, заполненные грунтом, при этом внутри ГНТ устанавливают противоосколочные и противокумулятивные сетки. Технический результат выражается в повышении стойкости к воздействию кумулятивной струи и осколкам артиллерийского боеприпаса и, как следствие, снижается вероятность поражения защищаемого объекта. Один из вариантов реализации предлагаемого технического решения представлен на рис. 5.

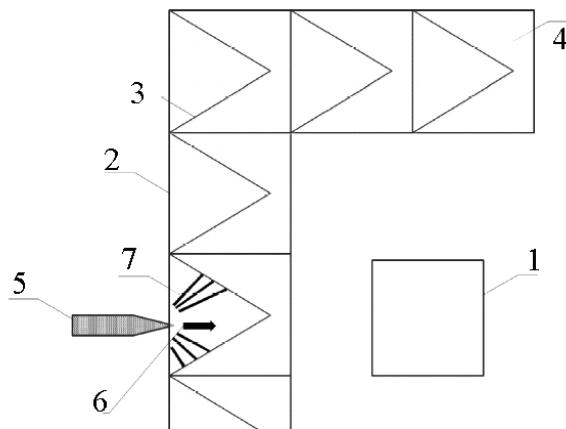


Рис. 5. Реализация способа повышения стойкости ГНТ к воздействию кумулятивной струи ПГ:
1 — защищаемый объект; 2 — ГНТ;
3 — противоосколочные и противокумулятивные сетки; 4 — грунт; 5 — кумулятивно-осколочный артиллерийский боеприпас; 6 — кумулятивная струя; 7 — направление движения осколков артиллерийского боеприпаса после контакта с ГНТ

Информация об опытной проверке и оценке эффективности предлагаемого технического решения, к сожалению, отсутствует.

Для эффективного решения возникшей проблемы может быть использована система инженерной защиты «Лоза» (производства АО «НПО Спецматериалов», Санкт-Петербург), предназначенная для защиты объектов (сооружений, контрольно-пропускных пунктов стационарного и мобильного размещения, сосредоточения техники) путем снижения степени воздействия противотанковых гранат ПГ-7 за счет подрыва на izdelii [18, 19].

Изделие «Лоза» представляет собой многосекционное быстровозводимое инженерное ограждение в виде металлических рам с закрепленными на них металлическими сетками, размещаемых на местности с любым типа грунта. Установка изделия «Лоза» на местности производится путем закрепления рам с помощью опор, забиваемых в грунт ручным способом. Схема размещения изделия «Лоза» представлена на рис. 6.

Для оценки защитных свойств фортификационного комплекса, состоящего из последовательно размещенных изделия «Лоза» и габионов ГНТ, к воздействию противотанковых гранат ПГ-7В была проведена серия полигонных испытаний.

Для проведения испытаний были использованы ГНТ-2, установленные на местности в два ряда по высоте. Перед ГНТ-2 на расстоянии 10 м были установлены три комплекта изделия «Лоза». С тыльной стороны ГНТ-2 был установлен контрольный экран из бумаги с целью фиксации их пробития кумулятивной струей и вторичными осколками от содержимого ГНТ. Вид ГНТ-2 перед стрельбой представлен на рис. 7.

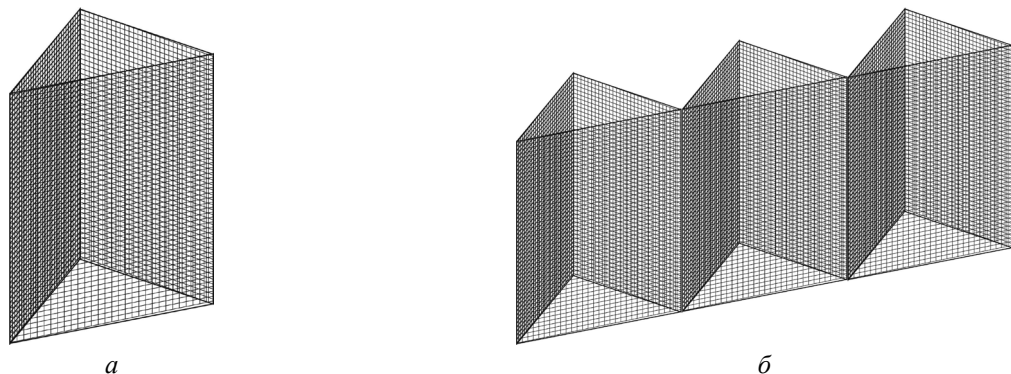


Рис. 6. Схема размещения изделия «Лоза»: а — одиночное изделие, б — группа из трех изделий

Вид фортификационного комплекса, состоящего из последовательно размещенных изделия «Лоза» и габионов ГНТ-2, представлен на рис. 8.

При проведении испытаний было сделано три выстрела из противотанкового гранатомета

РПГ-7 противотанковой кумулятивной гранатой ПГ-7ВЛ. Вид стрелка перед выстрелом представлен на рис. 9. Кинограмма взаимодействия гранаты ПГ-7ВЛ с изделием «Лоза» и ГНТ-2 представлена на рис. 10.



а



б

Рис. 7. Вид ГНТ-2 перед стрельбой: а — вид с лицевой стороны; б — вид с тыльной стороны



а

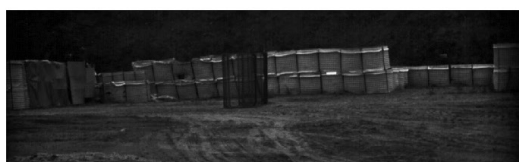


б

*Рис. 8. Вид изделий «Лоза» и ГНТ-2 в мишенной обстановке перед стрельбой:
а — одиночное изделие «Лоза»; б — группа из трех изделий «Лоза»*



Рис. 9. Вид стрелка из РПГ-7 перед выстрелом



0 с



0,010 с



0,014 с



0,016 с



0,022 с



0,024 с



0,026 с



0,030 с



0,032 с



0,034 с



0,036 с



0,038 с



0,040 с



0,042 с



0,05 с



0,06 с

Рис. 10. Кинограмма взаимодействия гранаты ПГ-7ВЛ с изделием «Лоза» и ГНТ-2

Вид изделия «Лоза» после взаимодействия с гранатой ПГ-7ВЛ представлен на рис. 11.

Анализ результатов, представленных на рис. 10 и 11, показывает, что изделие «Лоза» обеспечивает срабатывание гранат ПГ-7ВЛ с обра-

зованием кумулятивной струи, при этом живучесть изделия составляет более трех выстрелов из РПГ-7.

Вид ГНТ-2 после серии из трех выстрелов гранатами ПГ-7ВЛ представлен на рис. 12.



а



б



в



г

Рис. 11. Вид изделия «Лоза» после взаимодействия с гранатой ПГ-7ВЛ: а — вид защитной конструкции после испытания; б — вид внешнего элемента изделия «Лоза»; в — вид правого внутреннего элемента изделия «Лоза»; г — вид левого внутреннего элемента изделия «Лоза»



а



б

Рис. 12. Вид ГНТ-2 после проведения испытаний: а — вид с лицевой стороны; б — вид с тыльной стороны

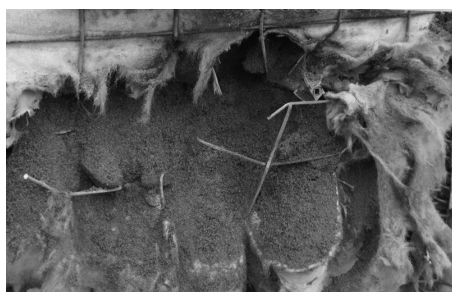


Рис. 13. Вид поражений ГНТ-2 с лицевой стороны элементами гранат ПГ-7ВЛ

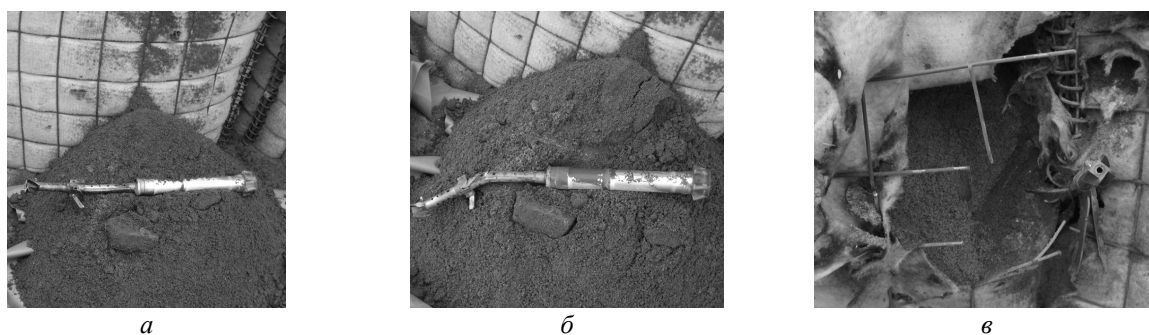


Рис. 14. Вид фрагментов гранат ПГ-7ВЛ с лицевой стороны ГНТ-2 после испытаний: а — после первого выстрела; б — после второго выстрела; в — после третьего выстрела

Вид поражений ГНТ-2 с лицевой стороны элементами гранат ПГ-7ВЛ представлен на рис. 13.

Вид фрагментов гранат ПГ-7ВЛ после трех выстрелов с лицевой стороны ГНТ-2 представлен на рис. 14.

Анализ результатов, представленных на рис. 12–14, показывает, что элементы гранаты ПГ-7ВЛ, продолжившие движение в сторону защищаемого объекта после ее срабатывания на изделии «Лоза» с образованием кумулятивной струи, надежно задерживаются ГНТ-2. При этом глубина проникания элементов гранаты ПГ-7ВЛ в ГНТ-2 не превышает длины реактивного двигателя гранаты.

Таким образом, фортификационный комплекс, состоящий из последовательно размещенных изделия «Лоза» и габионов ГНТ, обеспечивает надежную защиту от противотанковых гранат ПГ-7В. Этот комплекс может применяться для оборудования в короткие сроки систем охраны объектов, позиций критически важных элементов воинских частей; усиления (дооборудования) инженерного оборудования позиций вооружения, военной и специальной техники с целью защиты личного состава, боевой техники, транспорта и материальных средств.

Список источников

1. spec-naz.org/index.php?/topic/5041/ (дата обращения: 12.05.2025).
2. Сильников М.В., Михайлин А.И., Гук И.В., Насонов В.Д. Повышение защитных свойств структур с механоактивированными энергетическими композитами от пуль легкого стрелкового оружия // Известия Российской ака-

демии ракетных и артиллерийских наук. 2025. № 1 (136). С. 39–48.

3. Юрченко Н.М., Гук И.В., Михайлин А.И., Сильников Н.М. О перспективных методах исследования защитных свойств элементов бронеструктур // Актуальные проблемы защиты и безопасности: Труды XXVI Всероссийской научно-практической конференции. Том 2. СПб.: РАН, 2023. С. 157–160.

4. Гук И.В. Исследование взаимодействия пули со стальным термоупрочненным сердечником и разнесенной защитной структуры с перфорированной лицевой преградой // Актуальные проблемы защиты и безопасности: Труды XXII Всероссийской научно-практической конференции. Том 2. СПб.: РАН, 2019. С. 100–105.

5. Хомик С.В., Иванцов А.Н., Медведев С.П. и др. Ослабление сферической ударной волны перфорированной перегородкой в конической ударной трубе // Химическая физика. 2022. Т. 41, № 8. С. 88–92.

6. Vasilieva S.N., Guk I.V. Investigation of interaction of shock waves with permeable barriers in gas dynamic installation CST-14 // XXII international conference on the methods of aerophysical research (ICMAR 2024): Abstracts, Novosibirsk, 01–05 июля 2024 года. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2024. Pp. 188–189.

7. Денисов А.В., Матвейкин С.В., Заикин С.В. и др. Применение математической модели нижней конечности человека для моделирования ударно-волнового воздействия контактного взрыва // Вестник Российской Военно-медицинской академии. 2024. Т. 26, № 3. С. 337–348.

8. Гук И.В., Помазов В.С. Коническая ударная труба для натурального моделирования дейст-

вия взрыва // Актуальные проблемы защиты и безопасности: Труды XXIII Всероссийской научно-практической конференции. Том 2. СПб.: РАРАН, 2020. С. 65–69.

9. Гук И.В., Спивак А.И., Васильева С.Н., Лебедкин А.В. Исследование возможности применения баллистических установок различных способов метания поражающих элементов при оценке противоосколочной стойкости перспективных защитных структур // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2024. № 9–10 (195–196). С. 118–132.

10. Сильников М.В., Лазоркин В.И., Гук И.В. Приближенный расчет массогабаритных и динамических характеристик мультикумулятивной боевой части // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2024. № 4 (134). С. 89–94.

11. Федоренко А.В., Ладышкин Г.С., Лебедь Б.П., Алтынников А.В. Обоснование системы фортификационной защиты мобильных объектов при воздействии обычных средств поражения // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2022. № 5–6. С. 109–115.

12. <https://chervonec001.livejournal.com/62941.html?ysclid=m7w7l8s590513652604&es=1>. (дата обращения: 12.05.2025).

13. Мешки с песком и металлические экраны—то, что не даст хорошую защиту от кумулятивных боеприпасов URL: <https://topwar.ru/246898-meshki-s-peskom-i-metallicheskie-jekrany-to-chto-ne-dast-horoshuju-zaschitu-ot-kumuljativnyh-boepripasov.html?ysclid=m7w8329n7a741346981> (дата обращения: 12.05.2025).

14. Сильников М.В., Сильников Н.М., Спивак А.И. и др. Противогранатометное защитное устройство. Патент Российской Федерации № 2462680. 29.11.2010.

15. Сильников М.В., Сильников Н.М., Пучков А.С. и др. Противогранатометное защитное устройство. Патент Российской Федерации № 2833890. 23.04.2024.

16. Спивак А.И., Лебедкин А.В. К вопросу анализа опыта создания и перспектив разработки устройств пассивной защиты от поражающего действия кумулятивных гранат // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2024. № 1–2. С. 130–137.

17. Анучин Д.В., Деров М.Н., Позднухов О.В., Соловьев М.Ю. Способ защиты объекта от поражения кумулятивно-осколочными артиллерийскими боеприпасами. Патент Российской Федерации № 2755560. 21.09.2020.

18. Пучков А.С., Спивак А.И., Сизов А.А. К вопросу совершенствования состава технических систем и средств защиты военных комиссариатов Министерства обороны Российской Федерации в условиях проведения специальной военной операции // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2023. № 11–12. С. 91–100.

19. Спивак А.И., Дмитриев В.Я. Инженерная защита федеральных судов // Защита и безопасность. 2011. № 3. С. 19–21.

References

1. URL: spec-naz.org/index.php?/topic/5041/ (date of accesse: 05.12.2025).

2. Silnikov M.V., Mikhailin A.I., Guk I.V., Nasonov V.D. Improving the protective properties of structures with mechanically activated energy composites from small arms bullets // Proceedings of the Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences. 2025. No 1 (136). Pp. 39–48.

3. Yurchenko N.M., Guk I.V., Mikhailin A.I., Silnikov N.M. On promising methods of studying the protective properties of elements of armored structures // Actual problems of protection and safety: Proceedings of the XXVI All-Russian Scientific and Practical Conference. Vol. 2. St. Petersburg: Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences, 2023. Pp. 157–160.

4. Guk I.V. Investigation of the interaction of a bullet with a thermally reinforced steel core and a spaced protective structure with a perforated face barrier // Actual problems of protection and safety: Proceedings of the XXII All-Russian Scientific and Practical Conference of the Russian Academy of Sciences. Vol. 2. St. Petersburg: Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences, 2019. Pp. 100–105.

5. Khomik S.V., Ivantsov A.N., Medvedev S.P. et al. Attenuation of a spherical shock wave by a perforated partition in a conical shock tube // Chemical Physics. 2022. Vol. 41, No 8. Pp. 88–92.

6. Vasilieva S.N., Guk I.V. Investigation of interaction of shock waves with permeable barriers in gas dynamic installation CST-14 // XXII international conference on the methods of geophysical research (ICMAR 2024): Abstracts, Novosibirsk, July 01–05, 2024. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2024. Pp. 188–189.
7. Denisov A.V., Matveikin S.V., Zaikin S.V. et al. Application of a mathematical model of the human lower limb for modeling the shock-wave effects of a contact explosion // Bulletin of the Russian Military Medical Academy. 2024. Vol. 26, No 3. Pp. 337–348.
8. Guk I.V., Pomazov V.S. Conical shock tube for full-scale modeling of the explosion effect // Actual problems of protection and safety: Proceedings of the XXIII All-Russian Scientific and Practical Conference of the Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences (RARAN). Vol. 2. St. Petersburg: Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences, 2020. Pp. 65–69.
9. Guk I.V., Spivak A.I., Vasilyeva S.N., Lebedkin A.V. Investigation of the possibility of using ballistic installations of various methods of throwing striking elements in assessing the anti-fragmentation resistance of promising protective structures // Issues of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2024. No 9–10 (195–196). Pp. 118–132.
10. Silnikov M.V., Lazorkin V.I., Guk I.V. Approximate calculation of the mass and size and dynamic characteristics of a multicumulative warhead // Proceedings of the Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences. 2024. No 4 (134). Pp. 89–94.
11. Fedorenko A.V., Ladyshkin G.S., Lebed B.P., Altyntnikov A.V. Substantiation of the system of fortification protection of mobile objects under the influence of conventional weapons // Issues of defense technology. Episode 16. Technical means of countering terrorism. 2022. No 5–6. Pp. 109–115.
12. URL: <https://chervonec001.livejournal.com/62941.html?ysclid=m7w718s590513652604&es=1>. (date of accesse: 05.12.2025).
13. Sandbags and metal screens are something that will not provide good protection against cumulative боеприпасов. URL: <https://topwar.ru/246898-meshki-s-peskom-i-metallicheskie-jekrany-tochto-ne-dast-horoshuju-zaschitu-ot-kumuljativnyh-boepripasov.html?ysclid=m7w8329n7a741346981> (date of accesse: 05.12.2025).
14. Silnikov M.V., Silnikov N.M., Spivak A.I. et al. Anti-grenade protection device. Patent of the Russian Federation No. 2462680. 11/29/2010.
15. Silnikov M.V., Silnikov N.M., Puchkov A.S. et al. Anti-grenade protection device. Patent of the Russian Federation No. 2833890. 04/23/2024.
16. Spivak A.I., Lebedkin A.V. On the issue of analyzing the experience of creating and prospects for the development of passive protection devices against the damaging effects of cumulative grenades // Issues of defense technology. Episode 16. Technical means of countering terrorism. 2024. No 1–2. Pp. 130–137.
17. Anuchin D.V., Derov M.N., Pozdnukhov O.V., Solovyov M.Yu. A method of protecting an object from damage by cumulative fragmentation artillery ammunition. Patent of the Russian Federation No. 2755560. 09/21/2020.
18. Puchkov A.S., Spivak A.I., Sizov A.A. On the issue of improving the composition of technical systems and protective equipment of military commissariats of the Ministry of Defense of the Russian Federation in the context of special military operation // Issues of defense technology. Episode 16. Technical means of countering terrorism. 2023. No 11–12. Pp. 91–100.
19. Spivak A.I., Dmitriev V.Ya. Engineering protection of federal courts // Protection and safety. 2011. No 3. Pp. 19–21.

УДК 620.17

doi: 10.53816/23061456_2025_7–8_153

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИЛИНДРОКОНИЧЕСКОГО ГАЗОГЕНЕРАТОРНОГО УСКОРИТЕЛЯ ИМИТАТОРОВ ЧАСТИЦ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА

STUDY OF CYLINDRICAL-CONICAL GAS GENERATOR ACCELERATOR OF SPACE DEBRIS PARTICLES

Канд. техн. наук М.В. Житный, Э.Г. Синельников

Ph.D. M.V. Zhitniy, E.G. Sinelnikov

Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского

В статье рассмотрены результаты моделирования процесса функционирования взрывного газогенераторного ускорителя, проведенного в интересах исследования влияния исходного положения имитатора частицы космического мусора на достигаемую им скорость через заданный промежуток времени. Рассмотрены различные случаи исходного расположения имитатора частицы космического мусора относительно среза газогенератора. Показаны зависимости изменения скорости имитатора от времени. Рассмотрено влияние формы конической части газогенератора на конечную скорость имитатора. Полученные результаты могут использоваться для обоснования характеристик газогенераторного ускорителя в целях реализации натурного моделирования высокоскоростного соударения частицы космического мусора и элементов конструкции космического аппарата.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, кумулятивный газогенераторный ускоритель, космический мусор, высокоскоростное соударение.

The article considers the results of modeling the operation of a cumulative gas generator accelerator, conducted in the interests of studying the influence of the initial position of the space debris particle simulator on the velocity achieved by it after a given period of time. Various cases of the initial location of the space debris particle simulator relative to the gas generator section are considered. The dependences of the simulator velocity change on time are shown. The influence of the shape of the conical part of the gas generator on the final velocity of the simulator is considered. The obtained results can be used to justify the characteristics of the cumulative gas generator accelerator for the purpose of implementing a full-scale modeling of a high-speed collision of a space debris particle and elements of the spacecraft design.

Keywords: computer modeling, cumulative gas generator accelerator, space debris, high-speed collision.

Введение

Важной особенностью функционирования любой технической конструкции является воздействие на нее внешних факторов среды. Такое воздействие, в конечном счете, может оказывать

значительное влияние на надежность функционирования технической конструкции и в итоге привести к сокращению времени ее активного существования. Рассматривая космический аппарат (КА), находящийся на орбите, можно констатировать, что в процессе его жизненно-

го цикла на него действуют различные внешние факторы среды, к основным из которых можно отнести следующие [1]:

- вакуум (приводит к ухудшению эксплуатационных характеристик различных конструкционных материалов и смазок);

- знакопеременные температурные нагрузки, вызванные периодическим нахождением КА как в зоне солнечного излучения, так и в теневой области (приводит к появлению и развитию микротрещин внешних поверхностей элементов конструкции КА);

- поверхностный заряд (приводит к ложному срабатыванию электронных систем, ухудшению характеристик терморегулирующих поверхностей КА, особенно для КА, находящихся на геостационарной орбите);

- невесомость (усложнение работы систем с жидкими рабочими телами, исключение свободного конвективного теплообмена);

- повышенное радиационное воздействие (приводит к возникновению поверхностной эрозии конструкционных материалов, ионизации веществ, изменению характеристик конструкционных материалов).

- кинетическое воздействие твердых частиц техногенного и естественного происхождения.

С учетом активного освоения околоземного пространства в настоящее время оценивание кинетического воздействия частиц техногенного происхождения на элементы КА является важной актуальной практической задачей.

Основные положения

Реализация натурных экспериментов по оцениванию результатов высокоскоростного ударного взаимодействия имитаторов частиц космического мусора (КМ) с элементами конструкции КА, в общем случае основывается на применении следующих видов ускорительных установок:

- пороховые;
- легкогазовые;
- электромагнитные;
- ударные трубы;
- взрывные газогенераторы.

Как показывают исследования, относительная скорость встречи КА с частицей космического мусора может достигать значений, равных 15000 м/с. Достижение таких скоростей с помо-

щью лабораторных ускорительных установок является довольно сложной практической задачей. Так, например, скорость метаемого тела при использовании легкогазовых установок в общем случае ограничивается следующими параметрами установки: длина ствола, объем легкого газа, величина пороховой навески и др. С учетом этого очевидно, что чем выше требуемая скорость метаемого тела, тем более жесткие требования предъявляются к ускорительной установке, приводя, с одной стороны, к увеличению ее размеров, а с другой — к росту стоимости. Аналогичные рассуждения можно провести и для других видов ускорительных установок. Однако отдельно можно выделить ускорительные установки, основанные на применении взрывных газогенераторов. Основной отличительной особенностью таких конструкций является их компактность и относительная простота. Используя различные виды взрывчатых веществ, составляющих основу взрывных газогенераторных ускорителей (ВГУ) и имеющих разные скорости детонации, можно обеспечивать достижение скоростей метаемого тела в достаточно широком диапазоне.

Однако, как показали ранее проведенные исследования [3, 4], на конечную скорость метаемого тела влияет не только конструкция ВГУ (форма и тип взрывчатого вещества (ВВ)), но и первоначальное положение метаемого имитатора КМ относительно среза ВГУ.

Следует отметить, что существует достаточно большое количество видов и схем ВГУ, которые объединяет единый принцип их работы, заключающийся в разгоне метаемого тела продуктами взрывчатого превращения ВВ, которые имеют скорость движения, превышающую 10 000 м/с.

Простейшая схема ВГУ представляет собой формованное в виде цилиндра ВВ, имеющее цилиндрическую выборку по оси симметрии, внутри которой размещено метаемое тело. При этом эффективность действия данной конструкции невысока. Это объясняется следующим обстоятельством. Как показало компьютерное моделирование процесса функционирования данного ВГУ, после инициирования ВВ, входящего в его состав, волна детонации, имеющая скорость распространения выше, чем скорость движения продуктов взрывчатого превращения ВВ, обгоняет метаемое тело, начинающее движение по

цилиндрической выборке. В результате образования продуктов взрывчатого превращения ВВ впереди метаемого тела происходит «перекрытие» канала его движения газообразными массами, что снижает конечную скорость тела.

Для устранения данного недостатка применяются другие схемы ВГУ. Одной из таких схем является схема, имеющая в своей конструкции кроме цилиндрической выборки и коническую.

Основной идеей, положенной в основу данной конструкции ВГУ, является создание искусственной задержки между моментом инициирования заряда ВВ средством инициирования, находящимся в тыльной части ВГУ, и моментом начала взрывчатого превращения ВВ, образующего цилиндрический канал, по которому метаемое тело осуществляет свое движение. Кроме того, такая схема позволяет повысить коэффициент полезного действия генератора за счет того, что большая часть образующихся продуктов взрывчатого превращения ВВ будет воздействовать на метаемое тело, совершающее поступательное движение. В настоящей работе рассмотрены результаты моделирования процесса функционирования такого ВГУ при различном начальном положении метаемого тела. Кроме того, рассмотрено влияние угла конической выборки на рассматриваемый процесс. Общий вид моделируемой схемы цилиндроконического ВГУ представлен на рис. 1.

Моделирование процесса функционирования реализуется в эйлеровой постановке (Eulerian approach). Данный подход рекомендован для применения в случаях наличия больших деформаций (течение газов, жидкостей и т.д.), то есть в тех случаях, где необходимо учитывать движение газа (жидкости), но не требуется отслеживать движение отдельных частиц.

Для уменьшения времени моделирования применялась «четвертная» симметрия, то есть расчетная схема состояла из четверти полной модели. В данном случае применение преграды не

является необходимым условием, влияющим на результаты, однако позволяет корректно задать параметры эйлерова домена. Такой домен в данной расчетной задаче представляет собой фиксированную расчетную область, через которую движется моделируемая среда.

Моделирование проводилось в среде специального программного обеспечения ANSYS Mechanical, а в качестве решателя применялся пакет AUTODYN, который рекомендован для моделирования нестационарных динамических процессов, в том числе детонации и распространения ударных волн [5].

Использовались следующие начальные значения:

- диаметр метаемого тела (имитатора частицы КМ): 2,5 мм;
- материал метаемого тела: structural steel;
- начальная скорость метаемого тела: 0 м/с;
- тип ВВ, используемый в ВГУ: тринитротолуол (ТНТ);
- точка детонации: в донной части заряда;
- полная масса ВВ: 68 г;
- время моделирования: 20 мкс;
- минимальный временной шаг: 10 пикосекунд;
- масштабные факторы домена (scale factors) (X ; Y ; Z): 1,3; 1,0; 1,0.

Моделирование проводилось для множества расстояний (L), характеризующих положение метаемого тела от фронтальной плоскости ВВ, расположенного в тыльной части ВГУ (рис. 1): $L \in \{0; 18; 30; 46\}$. Значение расстояния $L = 46$ мм, соответствует положению метаемого тела на срезе ВГУ.

В табл. 1 представлены значения максимальной скорости метаемого тела (имитатора частицы КМ), зафиксированные в ходе моделирования.

На рис. 2 представлены зависимости изменения скорости метаемого тела от времени для различных его начальных положений.

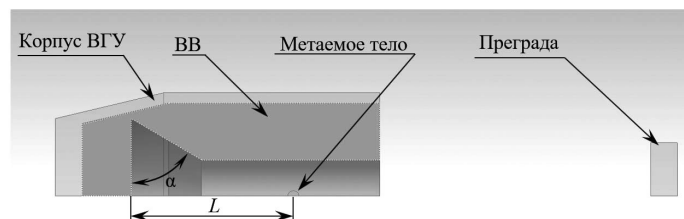


Рис. 1. Схема цилиндроконического ВГУ

Таблица 1

Результаты моделирования

L , мм	t , мкс	V , м/с
0	6,7	720
18	9,1	2472
30	11,0	3104
46	19,0	3250

Анализ графиков, представленных на рис. 2, позволяет заключить, что наиболее выгодным, с точки зрения достижения наибольшей скорости метаемого тела, является его положение на срезе ВГУ. Исследование процесса моделирования позволяет предположить о том, что данный результат обусловлен нижеследующими особенностями процесса. При расположении метаемого тела внутри ВГУ, волна детонации, распространяющаяся от точки инициирования, расположенной в донной части ВГУ, имеет скорость, значительно превышающую скорость метаемого тела. В этом случае образующиеся продукты взрывчатого превращения, расширяясь, перекрывают канал, по которому перемещается метаемое тело, и за счет своей высокой плотности создают для его движения некоторое сопротивление. На рис. 2 для расположения метаемого тела на расстоянии 18 и 30 мм начало этого процесса характеризуется снижением скорости метаемого тела после первого максимума. В дальнейшем, когда продукты взрывчатого превращения расширяются в окружающую среду, снижая тем самым плотность газов, в которых движется метаемое

тело, можно наблюдать некоторое повышение его скорости. Чем ближе метаемое тело находится к срезу ВГУ, тем ниже влияние этого эффекта и тем менее значительно уменьшение скорости метаемого тела. При его расположении на срезе ВГУ данный эффект исчезает.

Другой особенностью, оказывающей влияние на скорость метаемого тела, является форма конической выборки в метательном заряде, задаваемая углом α (рис. 1). Как показали исследования, неверно подобранный угол конической выборки приводит к значительному снижению скорости метаемого тела. Так, например, было проведено моделирование для двух значений угла α , равных 35 и 55 градусов, при одинаковом начальном положении метаемого тела. Динамика изменения скорости метаемого тела для этих начальных условий приведена на рис. 3.

Объяснение такого влияния формы конической выборки на скорость метаемого тела лежит в области развития процесса взрывчатого превращения ВВ. В начальный момент времени после начала инициирования ВВ формируется направленное течение продуктов взрывчатого превращения вдоль оси ВГУ, которые обеспечивают придание начального движения метаемому телу. Однако скорость детонации значительно превышает скорость метаемого тела, приводя к инициированию части ВВ через поверхность конической выборки. Это в свою очередь приводит к образованию продуктов взрывчатого превращения, движущихся, в том числе и по направлению, задаваемому конической выборкой, то есть под

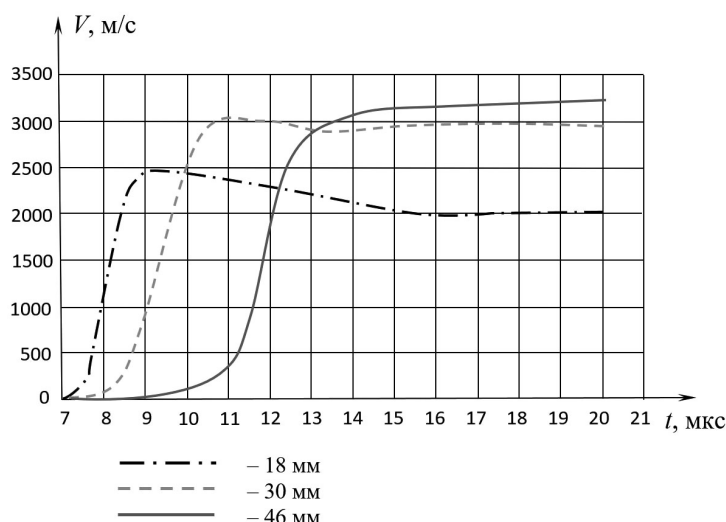


Рис. 2. Изменение скорости метаемого тела при его различном начальном размещении в ВГУ

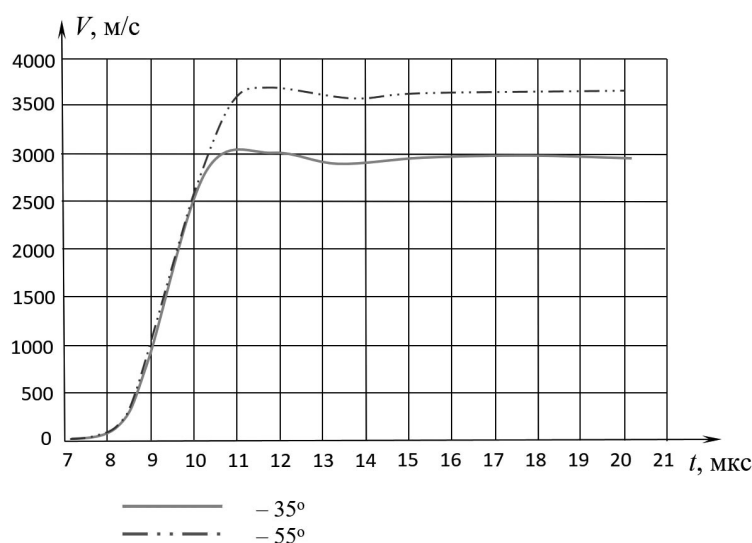


Рис. 3 Влияние формы метательного заряда ВГУ на скорость метаемого тела

углом к направлению движения метаемого тела. В результате происходит процесс блокирования («отсекания») продуктов взрывчатого превращения, первоначально действующих на метаемое тело и, как следствие, снижение эффективности процесса разгона метаемого тела.

Выводы

Таким образом, в результате исследований можно сделать следующие выводы. Оптимальным расположением метаемого тела является положение около среза ВГУ. Форму конической выборки необходимо задавать таким образом, чтобы струя газов, формирующаяся в результате взрывчатого превращения конической части ВВ, не препятствовала первоначальному разгону метаемого тела газами из донной части ВВ, а действовала с некоторой задержкой, обеспечивая дополнительный импульс. Полученные результаты можно использовать при проектировании компактных взрывных газогенераторных устройств.

Список источников

1. Абдурахимов А.А. Основы устройства космических аппаратов. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2014. 184 с.
2. Назаренко А.И. Моделирование космического мусора. Серия «Механика, управление и автоматика». М.: ИКИ РАН, 2013. 216 с.

3. Вениаминов С.С. Космический мусор — угроза человечеству. М.: ИКИ РАН, 2010. 207 с.

4. Гончаров П.С., Житный М.В. Методика подготовки данных для экспериментальных исследований взаимодействия высокоскоростных частиц с элементами конструкции космического аппарата // Известия Тульского государственного университета, 2017. Вып. 11. Ч. 3. С. 68–75.

5. Мартынов В.В., Житный М.В. Конструкция легкогазовой установки с демпфирующими элементами // Известия Тульского государственного университета. Тула: ТулГУ, 2016. Вып. 12. Ч. 1. С. 124–131.

6. Тимофеев Н.М., Гончаров П.С., Денисов А.М., Светлорусов М.М. и др. Экспериментальный баллистический комплекс // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2013. № 3–4. С. 120–122.

7. Баллистические установки и их применение в экспериментальных исследованиях / Златин Н.А. [и др.]. М.: Наука, 1974. 334 с.

8. Экспериментальный баллистический комплекс / А.М. Бабин [и др.] // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2013. № 3–4. С. 120–122.

9. Житный М.В., Синельников Э.Г. Численное моделирование процесса разгона малогабаритной твердой частицы газогенератором с конической выборкой // Известия Тульского государственного университета, 2024. Вып. 8. С. 347–350.

10. Синельников Э.Г., Житный М.В. Исследование газогенератора с цилиндрической облицовкой методом численного моделирования // Известия Тульского государственного университета, 2025. Вып. 1. С. 93–98.

11. Ansys Autodyn [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ansys.com/products/structures/ansys-autodyn> (дата обращения: 05.08.2024).

12. Huei-Huang Lee Finite element simulations with ANSYS Workbench // SDC publications, 580 с.

References

1. Abdurakhimov A.A. Fundamentals of the structure of spacecraft. St. Petersburg: VKA named after A.F. Mozhaisky, 2014. 184 p.

2. Nazarenko A.I. Modeling of space debris. Series «Mechanics, control and automation». Moscow: IKI RAS, 2013. 216 p.

3. Veniaminov S.S. Space debris — a threat to humanity. Moscow: IKI RAS, 2010. 207 p.

4. Goncharov P.S., Zhitny M.V. Methodology for preparing data for experimental studies of the interaction of high-speed particles with structural elements of a spacecraft // Bulletin of Tula State University, 2017. Issue 11. Part 3. Pp. 68–75.

5. Martynov V.V., Zhitny M.V. Design of a light-gas installation with damping elements // Bulletin of

Tula State University. Tula: Tula State University. 2016. Issue 12. Part 1. Pp. 124–131.

6. Timofeev N.M., Goncharov P.S., Denisov A.M., Svetlorusov M.M. et al. Experimental ballistic complex // Issues of defense equipment. Series 16. Technical means of counteracting terrorism. 2013. No 3–4. Pp. 120–122.

7. Ballistic installations and their application in experimental research / Zlatin N.A. [et al.]. M: Nauka, 1974. 334 p.

8. Experimental ballistic complex / A.M. Babin [et al.] // Issues of defense technology. Series 16. Technical means of countering terrorism. 2013. No 3–4. Pp. 120–122.

9. Zhitny M.V., Sinelnikov E.G. Numerical modeling of the process of acceleration of small-sized solid particles by a gas generator with a conical sample // Bulletin of Tula State University, 2024. Issue. 8. Pp. 347–350.

10. Sinelnikov E.G., Zhitny M.V. Study of a gas generator with a cylindrical lining using numerical simulation // Bulletin of Tula State University, 2025. Issue 1. Pp. 93–98.

11. Ansys Autodyn [Electronic resource]. URL: <https://www.ansys.com/products/structures/ansys-autodyn> (date of access: 05.08.2024).

12. Huei-Huang Lee. Finite element simulations with ANSYS Workbench // SDC publications, 580 p.

СОДЕРЖАНИЕ

ГЕОПОЛИТИКА И ОБОРОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

<i>Красовитов Р.А.</i> Перспективы развития цифровых технологий в системе вещевого обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации	3
---	---

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ, РАСЧЕТЫ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ

<i>Скворцов Д.В., Краснощеков С.Н., Сиволап В.А.</i> Методика сравнительной оценки технического уровня образцов космической техники.....	8
--	---

<i>Алчинов В.И., Демяшкин А.В.</i> Метод разработки системы поддержки принятия решений при управлении безопасностью объектов хранения ракет и боеприпасов.....	14
--	----

<i>Филиппов А.А., Гаврилова А.В., Корельский Н.А., Андрийчук В.П.</i> Применение метода неравноточных измерений при позиционировании морских судов в бухтах с использованием локальных многопозиционных радионавигационных систем	23
---	----

<i>Обухов А.В., Зимовец А.И., Гаврилова А.В.</i> Алгоритм подготовки исходных данных для распознавания сложных технических объектов с компенсацией неполноты информационного признакового пространства.....	29
---	----

<i>Швец Т.С.</i> Модель представления процессов обработки задач с динамической трудоемкостью в распределенной вычислительной среде с программно-определяемой архитектурой.....	36
--	----

<i>Гханем Ф.Н., Эдигаров В.Р.</i> Математическая модель двигателя с адаптивной системой управления тепловым состоянием.....	44
---	----

<i>Ключкин А.К., Гаврилова А.В., Ковтун А.И.</i> Моделирование звездных полей в задачах синтеза бортовых оптико-электронных систем	55
--	----

<i>Мандрица Д.П., Миронов А.Н.</i> Расчетно-экспериментальный подход к мониторингу несущих конструкций опор воздушных линий электропередачи с учетом возможных повреждений отдельных элементов	59
--	----

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ТЕРРОРИЗМУ

<i>Седнев В.А., Лысенко И.А., Кошечкина Е.И., Седнев А.В.</i> Предложения по обеспечению устойчивости управления за счет применения инженерных заграждений, средств и приемов имитации, и обеспечения защищенности объектов системы управления	66
--	----

<i>Сильников Н.М., Пучков А.С., Спивак А.И., Васильев Н.Н.</i> К вопросу о защитных конструкциях воздушного судна для обеспечения защиты в случае террористического акта	73
--	----

ВООРУЖЕНИЕ, ВОЕННАЯ И СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕХНИКА

<i>Оишкин А.А., Терентьев А.Б.</i> Пути повышения эксплуатационной безопасности боеприпасов ствольной артиллерии	82
<i>Детков А.Н.</i> Рациональный выбор числа модельных экспериментов для достоверной оценки характеристик сложной радиоэлектронной системы при ограниченном объеме натурных испытаний.....	87
<i>Привалов А.Е., Александров М.А., Яковлев Е.Л.</i> Алгоритм коллективного распределения задач.....	93
<i>Цуциев С.А., Пригорелов О.Г., Сохранов М.В., Цогоев В.Э.</i> Всесторонняя идентификация опасностей военной службы на стадии разработки образцов военной техники. Практические рекомендации	111
<i>Тобольченко П.И., Пинчук А.В.</i> Рекомендации по формированию рационального состава комплектов запасных частей в ЗИП-Г к автоматизированной системе управления наведением и огнем артиллерийского вооружения	118
<i>Васильев Д.Н., Васильева С.Н., Малин Р.Ю., Рапоткина М.Н.</i> Обзор отечественных и зарубежных многофункциональных штык-ножей	125

МАТЕРИАЛЫ, ТЕХНОЛОГИИ И ИССЛЕДОВАНИЯ

<i>Нижниковский Е.А.</i> Поиск путей создания генераторов водорода для водород-воздушных топливных элементов	136
<i>Сильников Н.М., Пучков А.С., Спивак А.И., Спивак И.А.</i> Исследование вопросов повышения защитных характеристик фортификационных сооружений на основе габионов насыпного типа	142
<i>Житный М.В., Синельников Э.Г.</i> Исследование цилиндрикоконического газогенераторного ускорителя имитаторов частиц космического мусора	153

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

Александров Максим Андреевич, канд. техн. наук, доцент кафедры, Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. Тел.: +7 (999) 209-2422. E-mail: vka@mil.ru

Алчинов Виктор Иванович, д-р техн. наук, профессор кафедры, Филиал Военной академии материально технического обеспечения им. А.В. Хрулева в г. Пенза. Тел.: +7 (9603) 254-7200.

Андрейчук Валерий Павлович, д-р воен. наук, профессор, профессор кафедры, Михайловская военная артиллерийская академия. E-mail: avp-1961@yandex.ru

Андрюшкин Александр Юрьевич, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой, БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова. E-mail: Saschala@mail.ru

Васильев Николай Николаевич, канд. техн. наук, старший научный сотрудник НИИ АО «НПО Спецматериалов». Тел.: +7 (812) 291-4503.

Васильева Светлана Николаевна, младший научный сотрудник НИИ АО «НПО Спецматериалов». E-mail: VasilyevaSN@npo-sm.ru

Гаврилова Анастасия Владимировна, научный сотрудник, лаборатория военного института (НИИ), Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. E-mail: vka@mil.ru

Гханем Ферас Назевич, адъюнкт кафедры, Филиал Военной академии материально технического обеспечения им. А.В. Хрулева в г. Омск. E-mail: ferasghanem6@gmail.com

Демяшкин Алексей Владимирович, адъюнкт кафедры, Филиал Военной академии материально технического обеспечения им. А.В. Хрулева в г. Пенза. E-mail: AlexVladDem@yandex.ru

Детков Александр Николаевич, д-р техн. наук, профессор кафедры, ФАУ «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем». E-mail: detkov@gosniias.ru

Житный Михаил Владимирович, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, Военно-

космическая академия им. А.Ф. Можайского. E-mail: vka@mil.ru

Зимовец Алена Игоревна, канд. техн. наук, младший научный сотрудник, лаборатория военного института (НИИ), Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. E-mail: vka@mil.ru

Ключкин Александр Константинович, канд. техн. наук, преподаватель кафедры, Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. E-mail: vka@mil.ru

Ковтун Артем Иванович, старший инженер-испытатель, ИГИК МО РФ, в/ч 85907. Тел.: +7 (921) 486-6138.

Корельский Николай Александрович, магистрант, СПбГУАП. E-mail: nkorelskiy@mail.ru

Кошечкина Елена Ивановна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры, Академия ГПС МЧС России. E-mail: e.i.koshevaya@mail.ru

Краснощеков Сергей Николаевич, канд. воен. наук, старший научный сотрудник, лаборатория (научно-исследовательская), Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. E-mail: vka@mil.ru

Красовитов Роман Александрович, канд. экон. наук, доцент, Филиал Военной академии материально технического обеспечения им. А.В. Хрулева в г. Вольск. E-mail: roma.krasovitov@yandex.ru

Лысенко Игорь Александрович, канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры, Академия ГПС МЧС России. E-mail: lisenko70@inbox.ru

Малин Руслан Юрьевич, инженер, НИИ АО «НПО Спецматериалов». E-mail: malin@pro-sm.ru

Мандрица Дмитрий Петрович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры, Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. E-mail: mandriza66@mail.ru

Миронов Андрей Николаевич, д-р техн. наук, профессор, Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. E-mail: mironov-anik@yandex.ru

Нижниковский Евгений Александрович, д-р техн. наук, профессор, заместитель председателя, Межведомственный научный совет по комплексным проблемам физики, химии и биологии при президиуме РАН. E-mail: nizhnikovsky@mail.ru

Обухов Александр Валерьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры, СПбГЭТУ «ЛЭТИ». E-mail: aleks.obuhov@yandex.ru

Ошкин Александр Александрович, канд. техн. наук, доцент, докторант кафедры, Филиал Военной академии материально технического обеспечения им. А.В. Хрулева в г. Пенза. E-mail: g20461497@gmail.com

Пинчук Андрей Владимирович, курсовой офицер-преподаватель, Филиал Военной академии материально технического обеспечения им. А.В. Хрулева в г. Пенза. E-mail: Abonent34@yandex.ru

Привалов Александр Евгеньевич, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры, Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. E-mail: vka@mil.ru

Пригорелов Олег Геннадиевич, канд. мед. наук, начальник управления, ФГБУ «ГНИИИ ВМ» МО РФ. E-mail: gniiivm_2@mil.ru

Пучков Андрей Сергеевич, канд. техн. наук, директор НИИ АО «НПО Спецматериалов». Тел.: +7 (812) 542-8770.

Рапоткина Мария Николаевна, инженер, НИИ АО «НПО Спецматериалов». E-mail: rapotkina@npo-sm.ru

Седнев Алексей Владимирович, студент, МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: alexsei.ss@yandex.ru

Седнев Владимир Анатольевич, д-р техн. наук, профессор кафедры, Академия ГПС МЧС России. E-mail: sednev70@yandex.ru

Сиволап Валерий Александрович, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, отдел (научно-исследовательский), Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. E-mail: vka@mil.ru

Сильников Никита Михайлович, д-р техн. наук, заместитель генерального директора АО «НПО Спецматериалов». E-mail: Nikita.Silnikov@npo-sm.ru

Синельников Эдуард Геннадьевич, старший научный сотрудник, Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. E-mail: vka@mil.ru

Скворцов Дмитрий Валерьевич, канд. техн. наук, начальник отдела (научно-исследовательского) — заместитель начальника управления, Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. E-mail: vka@mil.ru

Сохранов Михаил Викторович, канд. техн. наук, начальник отдела, ФГБУ «ГНИИИ ВМ» МО РФ. E-mail: medbot22@yandex.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) Михайловской военной артиллерийской академии. Тел.: +7 (812) 472-1571.

Терентьев Андрей Борисович, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры, Филиал Военной академии материально технического обеспечения им. А.В. Хрулева в г. Пенза. E-mail: terab55@list.ru

Тобольченко Павел Иванович, канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник, ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России. E-mail: pit63_05@mail.ru

Филиппов Александр Анатольевич, д-р техн. наук, профессор, старший научный сотрудник, Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. E-mail: filaleant@yandex.ru

Цогоев Владимир Эльбрусович, канд. техн. наук, заместитель начальника отдела, ФГБУ «ГНИИИ ВМ» МО РФ. E-mail: medbot22@yandex.ru

Цуциев Сергей Александрович, д-р мед. наук, старший научный сотрудник, ФГБУ «ГНИИИ ВМ» МО РФ. E-mail: sdsot@yandex.ru

Чжао Чэн, аспирант, БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова. E-mail: 1610793259@qq.com

Чжэньнин Ли, аспирант, БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова. E-mail: 2973787410@qq.com

Швец Татьяна Сергеевна, адъюнкт кафедры, Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. E-mail: tanya.shvets.92@inbox.ru

Эдигаров Вячеслав Робертович, канд. техн. наук, доцент, начальник кафедры, Филиал Военной академии материально технического обеспечения им. А.В. Хрулева в г. Омск. E-mail: edigarovs@mail.ru

Яковлев Евгений Леонидович, канд. техн. наук, доцент кафедры, Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского. E-mail: vka@mil.ru

LIST OF AUTHORS OF ARTICLES

Alchinov Viktor Ivanovich, Doctor of Sciences, Professor of the Department in Filial Voennoj akademii material'no tekhnicheskogo obespecheniya im. A.V. Xruleva v g. Penza. Ph.: +7 (9603) 254-7200.

Aleksandrov Maksim Andreevich, Candidate of Sciences, associate Professor of the Department in Voenno-kosmicheskaya akademiya im. A.F. Mozhajskogo. E-mail: vka@mil.ru

Andriychuk Valerij Pavlovich, Doctor of Sciences, Professor, Professor of the Department in Mixajlovskaya voennaya artillerijskaya akademiya. E-mail: avp-1961@yandex.ru

Andriushkin Aleksandr Iurevich, Candidate of Sciences, docent, head of the Department in BGTU «VOENMEX» im. D.F. Ustinova. E-mail: Sascha1a@mail.ru

Chzhao Chen, graduate student in BGTU «VOENMEX» im. D.F. Ustinova. E-mail: 1610793259@qq.com

Chzhennin Li, post-graduate student in BGTU «VOENMEX» im. D.F. Ustinova. E-mail: 2973787410@qq.com

Demiashkin Aleksei Vladimirovich, Associate Professor of the Department in Filial Voennoj akademii material'no tekhnicheskogo obespecheniya im. A.V. Xruleva v g. Penza. E-mail: AlexVladDem@yandex.ru

Detkov Aleksandr Nikolaevich, Doctor of Sciences, Professor of the Department in FAU «Gosudarstvenny'j nauchno-issledovatel'skij institut aviacionny'x sistem». E-mail: detkov@gosniias.ru

Edigarov Viacheslav Robertovich, Candidate of Sciences, docent, head of the Department in Filial Voennoj akademii material'no tekhnicheskogo obespecheniya im. A.V. Xruleva v g. Omsk. E-mail: edigarovs@mail.ru

Filippov Alexander Anatolyevich, Doctor of Sciences, Professor, Senior Researcher in Voenno-kosmicheskaya akademiya im. A.F. Mozhajskogo. E-mail: filaleant@yandex.ru

Gavrilova Anastasiia Vladimirovna, researcher in Voenno-kosmicheskaya akademiya im. A.F. Mozhajskogo. E-mail: vka@mil.ru

Gkhanem Feras Nazevich, associate Professor of the Department in Filial Voennoj akademii

material'no tekhnicheskogo obespecheniya im. A.V. Xruleva v g. Omsk. E-mail: ferasghanem6@gmail.com

Iakovlev Evgenii Leonidovich, Candidate of Sciences, associate Professor of the Department in Voenno-kosmicheskaya akademiya im. A.F. Mozhajskogo. E-mail: vka@mil.ru

Kliuchkin Aleksandr Konstantinovich, Candidate of Sciences, lecturer of the Department in Voenno-kosmicheskaya akademiya im. A.F. Mozhajskogo. E-mail: vka@mil.ru

Korel'skij Nikolaj Aleksandrovich, Master's student in SPbGUAP. E-mail: nkorelskiy@mail.ru

Koshevaia Elena Ivanovna, Candidate of Sciences, associate professor, Associate Professor of the Department in Akademiya GPS MChS Rossii. E-mail: e.i.koshevaya@mail.ru

Kovtun Artem Ivanovich, senior test engineer in 1GIK MO RF, v/ch 85907. Ph.: +7 (921) 486-6138.

Krasnoshchekov Sergei Nikolaevich, Candidate of Sciences, Senior Researcher in Voenno-kosmicheskaya akademiya im. A.F. Mozhajskogo. E-mail: vka@mil.ru

Krasovitev Roman Aleksandrovich, Candidate of Sciences, docent, in Filial Voennoj akademii material'no tekhnicheskogo obespecheniya im. A.V. Xruleva v g. Vol'sk. E-mail: roma.krasovitev@yandex.ru

Lysenko Igor Aleksandrovich, Candidate of Sciences, Associate professor, Professor of the Department in Akademiya GPS MChS Rossii. E-mail: lisenko70@inbox.ru

Malin Ruslan Iurevich, engineer in AO «NPO Speczmaterialov». E-mail: malin@npo-sm.ru

Mandritsa Dmitrii Petrovich, Candidate of Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department in Voenno-kosmicheskaya akademiya im. A.F. Mozhajskogo. E-mail: mandriza66@mail.ru

Mironov Andrei Nikolaevich, Doctor of Sciences, Professor, in Voenno-kosmicheskaya akademiya im. A.F. Mozhajskogo. E-mail: mironov-anik@yandex.ru

Nizhnikovskii Evgenii Aleksandrovich, Doctor of Sciences, Professor, Deputy Chairman in Mezhvedomstvenny'j nauchny'j sovet po

kompleksny`m problemam fiziki, ximii i biologii pri prezidiume RAN. E-mail: nizhnikovsky@mail.ru

Obukhov Aleksandr Valerevich, Candidate of Sciences, associate Professor of the Department in SPbGE`TU «LE`TI». E-mail: Aleks.obuhov@yandex.ru

Oshkin Aleksandr Aleksandrovich, Candidate of Sciences, Associate Professor, doctoral student of the Department in Filial Voennoj akademii material`no texnicheskogo obespecheniya im. A.V. Xruleva v g. Penza. E-mail: g20461497@gmail.com

Pinchuk Andrei Vladimirovich, course teaching officer in Filial Voennoj akademii material`no texnicheskogo obespecheniya im. A.V. Xruleva v g. Penza. E-mail: Abonent34@yandex.ru

Prigorelov Oleg Gennadievich, Candidate of Sciences, head of department, in FGBU «GNIII VM» MO RF. E-mail: gniiivm_2@mail.ru

Privalov Aleksandr Evgenevich, Candidate of Sciences, senior lecturer of the Department in Voenno-kosmicheskaya akademiya im. A.F. Mozhajskogo. E-mail: vka@mail.ru

Puchkov Andrei Sergeevich, Candidate of Sciences, Director in AO «NPO Speczmaterialov». Ph.: +7 (812) 542-8770.

Rapotkina Mariia Nikolaevna, engineer in AO «NPO Speczmaterialov». E-mail: rapotkina@npo-sm.ru

Sednev Aleksei Vladimirovich, Student in MGTU im. N.E`. Bauman. E-mail: alexsei.ss@yandex.ru

Sednev Vladimir Anatolevich, Doctor of Sciences, Professor of the Department in Akademiya GPS MChS Rossii. E-mail: sednev70@yandex.ru

Shvets Tatiana Sergeevna, associate professor of the Department in Voenno-kosmicheskaya akademiya im. A.F. Mozhajskogo. E-mail: tanya.shvets.92@inbox.ru

Silnikov Nikita Mikhailovich, Doctor of Sciences, Deputy Director General in AO «NPO Speczmaterialov». E-mail: Nikita.Silnikov@npo-sm.ru

Sinelnikov Eduard Gennadevich, senior Researcher in Voenno-kosmicheskaya akademiya im. A.F. Mozhajskogo. E-mail: vka@mail.ru

Sivolap Valerii Aleksandrovich, Candidate of Sciences, Senior Researcher in Voenno-kosmicheskaya akademiya im. A.F. Mozhajskogo. E-mail: vka@mail.ru

Skvortsov Dmitrii Valerevich, Candidate of Sciences, Head of the Department (research) – Deputy Head of the Department, in Voenno-kosmicheskaya akademiya im. A.F. Mozhajskogo. E-mail: vka@mail.ru

Sokhranov Mikhail Viktorovich, Candidate of Sciences, head of department in FGBU «GNIII VM» MO RF. E-mail: medbot22@yandex.ru

Spivak Aleksandr Ivanovich, Candidate of Sciences, Senior Researcher in AO «NPO Speczmaterialov». Ph.: +7 (812) 291-4503.

Spivak Igor Aleksandrovich, Candidate of Sciences, in NICz(RViA) Mixajlovskoj voennoj artillerijskoj akademii. Ph.: +7 (812) 472-1571.

Terentev Andrei Borisovich, Doctor of Sciences, Professor, Professor of the Department in Filial Voennoj akademii material`no texnicheskogo obespecheniya im. A.V. Xruleva v g. Penza. E-mail: terab55@list.ru

Tobolchenko Pavel Ivanovich, Candidate of Sciences, docent, senior Researcher in FGBU «46 CzNII» Minoborony` Rossii. E-mail: pit63_05@mail.ru

Tsogoev Vladimir Elbrusovich, Candidate of Sciences, deputy head of Department in FGBU «GNIII VM» MO RF. E-mail: medbot22@yandex.ru

Tsutsiev Sergei Aleksandrovich, Doctor of Sciences, senior researcher in FGBU «GNIII VM» MO RF. E-mail: sdsot@yandex.ru

Vasilev Nikolai Nikolaevich, Candidate of Sciences, Senior Researcher in AO «NPO Speczmaterialov». Ph.: +7 (812) 291-4503.

Vasileva Svetlana Nikolaevna, junior Researcher in AO «NPO Speczmaterialov». E-mail: VasilyevaSN@npo-sm.ru

Zhitnyi Mikhail Vladimirovich, Candidate of Sciences, senior Researcher in Voenno-kosmicheskaya akademiya im. A.F. Mozhajskogo. Ph.: +7 (905) 207-2017. E-mail: vka@mail.ru

Zimovets Alena Igorevna, Candidate of Sciences, junior researcher in Voenno-kosmicheskaya akademiya im. A.F. Mozhajskogo. E-mail: vka@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 полутонных (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

ПОДПИСКА
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. 7–8 (205–206)

Компьютерная верстка — М.А. Лаурман
Корректор — Е.А. Красикова, А.К. Райхчин

Подписано в печать 20.07.2025
Дата выхода издания 26.08.2025
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.