

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ РАКЕТНЫХ И АРТИЛЛЕРИЙСКИХ НАУК

ISSN 2075-3608

ИЗВЕСТИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
РАКЕТНЫХ И АРТИЛЛЕРИЙСКИХ НАУК

Выпуск 1 (131)
2024

Издается с 1948 года

ИЗДАНИЕ ФГБУ «РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ
РАКЕТНЫХ И АРТИЛЛЕРИЙСКИХ НАУК»

Москва

Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук.
Издание ФГБУ «Российская академия ракетных и артиллерийских наук». Москва — 2024. Вып. 1 (131).

Подписной индекс 82836 в объединенном каталоге «Пресса России»
Журнал включен в систему Российского индекса научного цитирования
и размещен на сайте Научной Электронной Библиотеки

*Решение о публикации статьи принимается редколлегией на основании
независимой рецензии и по представлению персональных членов РАРАН.*

Председатель редакционного совета В.М. Буренок

Chairman of editorial board V.M. Burenok

Главный редактор М.В. Сильников

Chief editor M.V. Silnikov

Редакционный совет:

*президент РАРАН, академ., д.т.н., профессор В.М. Буренок,
академ., д.в.н., профессор Г.И. Горчица, академ., д.и.н., профессор А.А. Косохин,
академ., д.э.н., профессор Г.А. Лавринов, академ., д.т.н., профессор А.М. Липанов,
академ., д.х.н., профессор Ю.М. Михайлов, академ., д.т.н., профессор В.А. Петров,
академ., д.т.н., профессор А.А. Рахманов, академ., д.т.н. В.Л. Руденко,
академ., д.ф.-м.н., профессор В.А. Садовничий, академ., д.т.н., профессор И.Б. Федоров,
академ., д.т.н., профессор Е.А. Федосов.*

Editorial board:

*President of the RARAS, D.Sc. V.M. Burenok, D.Sc. D.Sc. G.I. Gorchitsya,
D.Sc. A.A. Kokoshin, D.Sc. G.A. Lavrinov, D.Sc. A.M. Lipanov, D.Sc. Yu.M. Mikhailov,
D.Sc. V.A. Petrov, D.Sc. A.A. Rakhmanov, D.Sc. V.L. Rudenko, D.Sc. V.A. Sadovnichiy,
D.Sc. I.B. Fedorov, D.Sc. E.A. Fedosov.*

Редакционная коллегия:

*академ. советник, к.т.н. А.С. Алешин (отв. секретарь), д.воен.н., д.т.н., профессор В.С. Артамонов,
академ., д.воен.н., профессор В.И. Бабенков, академ., д.т.н., профессор В.В. Василенко,
д.юрид.н., профессор В.Ю. Владимиров, чл.-корр., к.т.н. Л.С. Егоренков,
академ., д.и.н. В.М. Крылов, академ., д.т.н., профессор В.П. Кутахов, академ.,
д.т.н., профессор Ю.М. Милехин, чл.-корр., д.т.н. А.И. Михайлин, академ., д.т.н. Ю.Ф. Подоплекин,
чл.-корр., к.т.н., доцент А.М. Сазыкин (зам. главного редактора),
чл.-корр., д.т.н., профессор О.А. Толпегин.*

Editorial assembly:

*Ph.D. A.S. Aleshin, D.Sc. V.S. Artamonov, D.Sc. V.I. Babenkov, D.Sc. V.V. Vasilenko,
D.Sc. V.Yu. Vladimirov, D.Sc. A.M. Vorob'ev, Ph.D. L.S. Egorenkov,
D.Sc. V.M. Krylov, D.Sc. V.P. Kutahov, D.Sc. Yu.M. Milekhin, D.Sc. A.I. Mikhailin,
D.Sc. Yu.F. Podoplekin, Ph.D. A.M. Sazykin, D.Sc. O.A. Tolpegin.*

В соответствии с Решением президиума ВАК Минобрнауки России
журнал «Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук» 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»

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77–80045 от 25.12.2020.

Федеральная служба по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций
(Роскомнадзор)

© Российская академия ракетных и артиллерийских наук, 2024

© АО «НПО Спецматериалов», 2024

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ РАКЕТНЫХ И АРТИЛЛЕРИЙСКИХ НАУК:
30 ЛЕТ ВОССОЗДАНИЯ****RUSSIAN ACADEMY OF ROCKET AND ARTILLERY SCIENCES:
30 YEARS OF RECREATION**

Академик РАРАН В.М. Буренок¹, чл.-корр. РАРАН В.И. Ивкин²

¹РАРАН, ²ВА РВСН им. Петра Великого

V.M. Burenok, V.I. Ivkin

Статья посвящена 30-летию воссоздания ФГБУ «Российская академия ракетных и артиллерийских наук». В ней на основе архивных источников, материалов и документов органов государственного и военного управления, мемуаров и выступлений в периодической печати, раскрыты вопросы создания и деятельности Академии.

Страницы статьи отражают основные исторические этапы создания, развития, практической деятельности Академии. Акцент сделан на научно-практическую деятельность РАРАН за прошедшие 30 лет, участие членов и сотрудников Академии в процессах ее создания и становления как полноправного члена военной науки России.

Статья содержит справочный, информационный материал и может быть полезен тем, кто интересуется становлением отечественной артиллерийской науки, людьми, которые стояли у истоков решения этой важной государственной задачи и имена которых вписаны золотыми буквами в историю военной науки и техники нашей Родины.

Ключевые слова: воссоздание РАРАН, структура Академии, основные направления и результаты деятельности.

The article is dedicated to the 30th of recreation of the Federal State Budgetary Institution «Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences». Based on archival sources, materials and documents of state and military administration bodies, memoirs and speeches in the periodical press, the issues of the creation and activities of the Academy are disclosed in it. The pages of the article reflect the main historical stages of the creation, development, and practical activities of the Academy. The focus is on the scientific and practical activities of the Russian Academy of Sciences over the past 30 years, the participation of members and staff of the Academy in the processes of its creation and formation as a full member of Russian military science. The article contains reference and informational material and may be useful to those who are interested in the formation of Russian artillery science, people who stood at the origins of solving this important state task and whose names are inscribed in golden letters in the history of military science and technology of our Motherland.

Keywords: reconstruction of the Russian Academy of Sciences, the structure of the Academy, the main directions and results of activities.

5 апреля 2024 года наша Академия будет отмечать 30-летие со дня воссоздания. В связи с этим хочется вкратце напомнить историю ее существования.

Почему воссоздание?

В 1946–1953 годах в стране существовала государственная отраслевая Академия артиллерийских наук (ААН) численностью 45 действи-

тельных членов (академиков) и 50 член-корреспондентов. Началом деятельности ее считается 12 ноября 1946 года. Именно в этот день состоялось учредительное собрание Академии, на котором были избраны президент (академик АН СССР А.А. Благонравов), вице-президенты, академик-секретарь и члены Президиума ААН. Данная дата приказом министра Вооруженных Сил СССР от 30 июня 1949 года № 0083 установлена и как годовой праздник Академии. Эта научная организация сыграла заметную роль в развитии артиллерийской науки и заложила основу отечественных достижений в ракетной и космической технике.

Официально, днем воссоздания академии считается дата подписания — 5 апреля 1994 года — Указа Президента РФ № 661 «О воссоздании Российской академии ракетных и артиллерийских наук» (рис. 1). Термином «воссоздание» подчеркивалось, что РАН является в определенной степени преемницей Академии артиллерийских наук. Следует отметить, что одними из активных сторонников, поддержавших инициативу, выступили действительный член ААН, член-корреспондент РАН А.А. Ильюшин, член-корреспонденты ААН профессор Ижевского механического института М.С. Горохов и маршал артиллерии П.Н. Кулешов, которые 23 июня

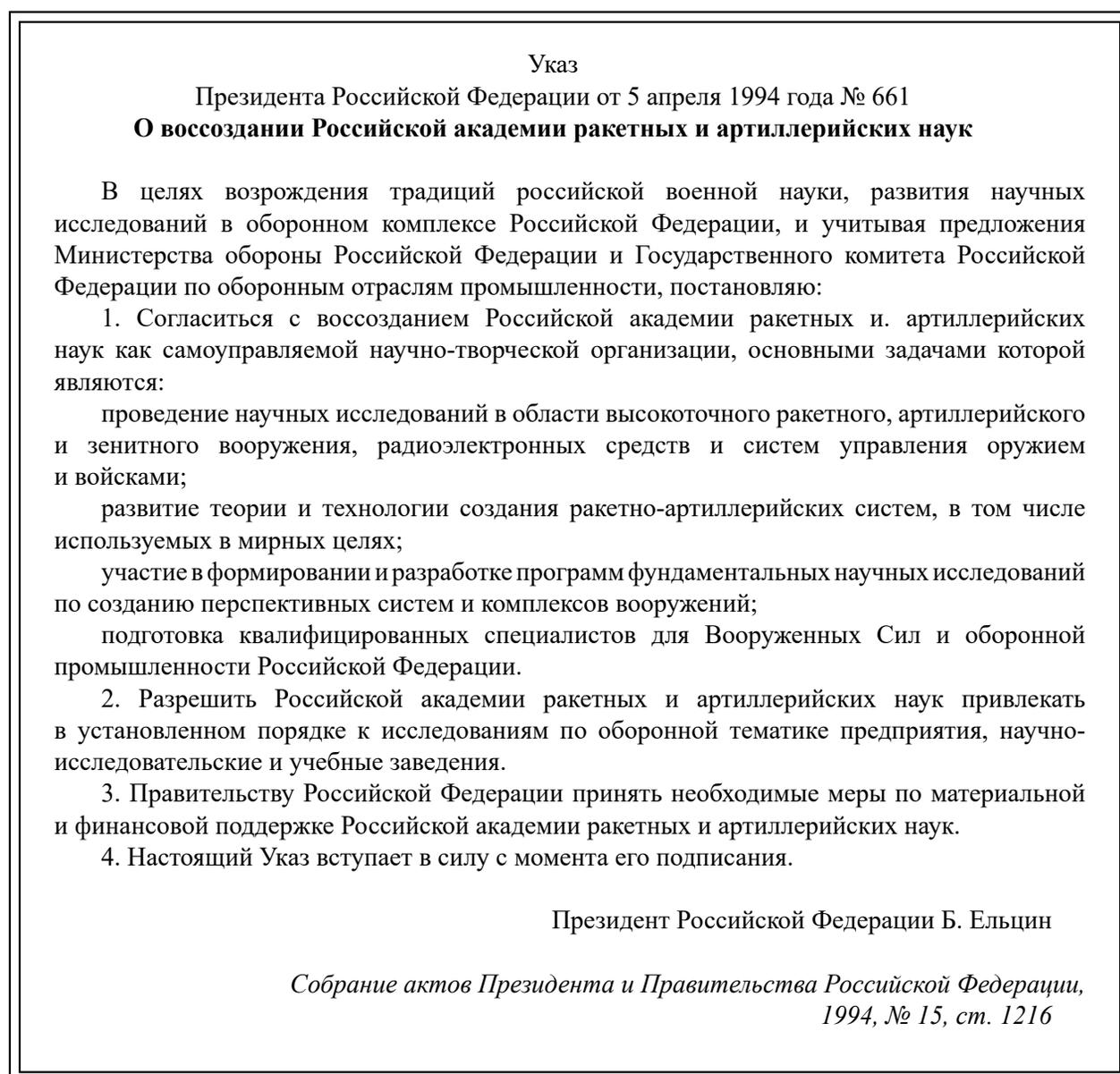


Рис. 1. Указ президента «О воссоздании Российской академии ракетных и артиллерийских наук»

1993 года были избраны почетными академиками РАН. Символично, что избрание первых членов воссозданной Академии проходило при участии членов Академии артиллерийских наук П.Н. Кулешова и А.А. Ильюшина.

Научный и творческий потенциал Академии был достаточно высок. Каждый пятый член Академии является действительным членом и член-корреспондентом Академии наук СССР, 59 человек — докторами наук, 30 членов Академии были удостоены звания «Заслуженный деятель науки и техники».

Несмотря на ликвидацию ААН, в нашей стране осталась потребность в высшем научном учреждении, объединяющем отечественных военных ученых, конструкторов и специалистов, работающих в различных областях по созданию ВВТ. Эта потребность стала особенно острой после распада Советского Союза, что и послужило причиной воссоздания РАН в 1994 году.

В середине 90-х годов прошлого века ведущие ученые и создатели средств вооруженной борьбы, озабоченные состоянием оборонного комплекса страны, выступили с инициативой создания Российской академии ракетных и артиллерийских наук (РАН) как важного механизма предотвращения отставания от высоко развитых индустриальных стран при создании вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ).

Основная цель создания Академии — консолидировать усилия ученых, конструкторов, руководителей производств, военачальников для активизации и координации в новых условиях работы по широкому кругу научных проблем в области создания, развития и использования технических средств ведения различных видов боевых действий всеми видами и родами войск, по изучению возможностей применения нетрадиционных средств, новых физических принципов и передовых технологий в военных и мирных целях с конечной целью обеспечения безопасности страны, а также сохранения оборонно-промышленного комплекса в интересах укрепления экономики государства и посредством внедрения оборонных технологий в гражданскую сферу.

24 декабря 1992 года в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана состоялось организационное

собрание, обсудившее вопросы создания РАН, как правопреемницы и продолжателя традиций отечественной Академии артиллерийских наук (ААН), существовавшей в 1946–1953 годах. Решением собрания был создан организационный комитет в составе:

Соловьев Виктор Сергеевич — председатель оргкомитета, заведующий кафедрой МГТУ им. Н.Э. Баумана;

Селиванов Виктор Валентинович — ученый секретарь оргкомитета, заместитель заведующего кафедрой МГТУ им. Н.Э. Баумана;

21 член оргкомитета, в том числе такие выдающиеся конструкторы вооружения как Грязев Василий Петрович, Непобедимый Сергей Павлович, Мазуров Николай Петрович, Шамшев Кирилл Николаевич.

23 июня 1993 года состоялась учредительная конференция, которая постановила:

– учредить РАН;

– утвердить устав Академии;

– утвердить первый состав действительных членов и членов корреспондентов Академии;

– избрать первым президентом Академии Киреева Владимира Петровича.

– утвердить президиум Академии (Киреев Владимир Петрович, Панов Виталий Валерьевич, Соловьев Виктор Сергеевич, Селиванов Виктор Валентинович, Глухих Виктор Константинович, Глыбин Юрий Алексеевич, Каллистов Анатолий Анатольевич, Кокошин Андрей Афанасьевич, Лысенко Лев Николаевич, Мусьяков Марат Павлович, Ситнов Анатолий Петрович, Стародуб Юрий Николаевич).

Президиумом Академии и его аппаратом была проделана огромная работа по подготовке и согласованию многочисленных документов, необходимых для учреждения Академии, в результате которой 5 апреля 1994 года был подписан Указ Президента Российской Федерации «О воссоздании академии ракетных и артиллерийских наук».

После этого президиум Академии и аппарат президиума осуществили работу по подготовке документов в развитие Указа Президента России:

1. Постановления Правительства Российской Федерации от 17 июля 1995 года № 715 «О Российской академии ракетных и артилле-

Правительство Российской Федерации
постановление от 17 июля 1995 года № 715

О Российской академии ракетных и артиллерийских наук

В соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 5 апреля 1994 года № 661 «О воссоздании Российской академии ракетных и артиллерийских наук» (Собрание актов Президента и Правительства Российской Федерации, 1994, № 15, ст. 1216) Правительство Российской Федерации постановляет:

1. Установить Российской академии ракетных и артиллерийских наук на начальном этапе научно-творческой деятельности:

численность действительных членов — 100 человек, членов-корреспондентов — 200 человек;

количество работников аппарата президиума Академии — 51 человек (без персонала по охране и обслуживанию зданий) за счет штатной численности гражданского персонала и ассигнований Министерства обороны Российской Федерации и Государственного комитета Российской Федерации по оборонным отраслям промышленности.

2. Распространить:

на действительных членов и членов-корреспондентов Российской академии ракетных и артиллерийских наук действие постановления Правительства Российской Федерации от 6 июля 1994 года № 807 «Об установлении окладов за звания действительных членов и членов-корреспондентов Российской академии наук, Российской академии медицинских наук, Российской академии сельскохозяйственных наук, Российской академии образования, Российской академии художеств и Российской академии архитектуры и строительных наук и доплат за ученые степени доктора наук и кандидата наук», в части окладов и доплат, установленных за звание действительного члена и за звание члена-корреспондента Российской академии медицинских наук, Российской академии сельскохозяйственных наук, Российской академии образования, Российской академии художеств и Российской академии архитектуры и строительных наук;

на членов президиума и работников аппарата президиума Российской академии ракетных и артиллерийских наук действие постановления Совета Министров — Правительства Российской Федерации от 28 апреля 1993 года № 373 «Об упорядочении оплаты труда членов президиумов и работников аппарата президиумов Российской академии медицинских наук, Российской академии сельскохозяйственных наук, Российской академии образования и Российской академии художеств» (Собрание актов Президента и Правительства Российской Федерации, 1993, № 18, ст. 1636).

3. Министерству обороны Российской Федерации и Государственному комитету Российской Федерации по оборонным отраслям промышленности привлекать Российскую академию ракетных и артиллерийских наук при разработке предложений по проведению государственной политики в области фундаментальных и прикладных исследований по важнейшим проблемам создания и теории применения ракетно-артиллерийского вооружения и при проведении научных и экспертных работ.

4. Министерству обороны Российской Федерации и Государственному комитету Российской Федерации по оборонным отраслям промышленности по согласованию с Государственным комитетом Российской Федерации по управлению государственным имуществом решить вопрос о размещении работников аппарата президиума, членов президиума Российской академии ракетных и артиллерийских наук и ее подразделений, занимающихся информационной, издательской и хозяйственной деятельностью.

Председатель Правительства Российской Федерации В. Черномырдин

Собрание законодательства Российской Федерации, 1995. № 30. Ст. 2941

Рис. 2. Постановление правительства «О Российской академии ракетных и артиллерийских наук»

рийских наук» (установлена численность членов академии, РАН приравнена к отраслевым академиям) (рис. 2);

2. Постановления Правительства Российской Федерации от 22 марта 1996 года № 325 «О Российской академии ракетных и артиллерийских наук» (утвержден устав академии).

3. Решением Общего собрания РАН, состоявшегося 21 мая 1996 года после выхода Указа Президента Российской Федерации и на основании Постановлений Правительства Российской Федерации утверждены:

– списочный состав действительных членов, член-корреспондентов и почетных членов Академии, избранных на Учредительной конференции

23 июня 1993 года и на общих собраниях 24 ноября 1994 года и 24 ноября 1995 года;

– организационная структура Академии (рис. 3);

– состав президиума РАН.

В состав президиума Академии, помимо избранных на Учредительной конференции членов президиума вошли председатели региональных центров академии Богоряд Игорь Борисович, Илькаев Радий Иванович, Липанов Алексей Матвеевич, Петров Виктор Алексеевич.

Действительными членами РАН стали:

– пять академиков РАН (в их числе Шипунов Аркадий Георгиевич и Федосов Евгений Александрович);

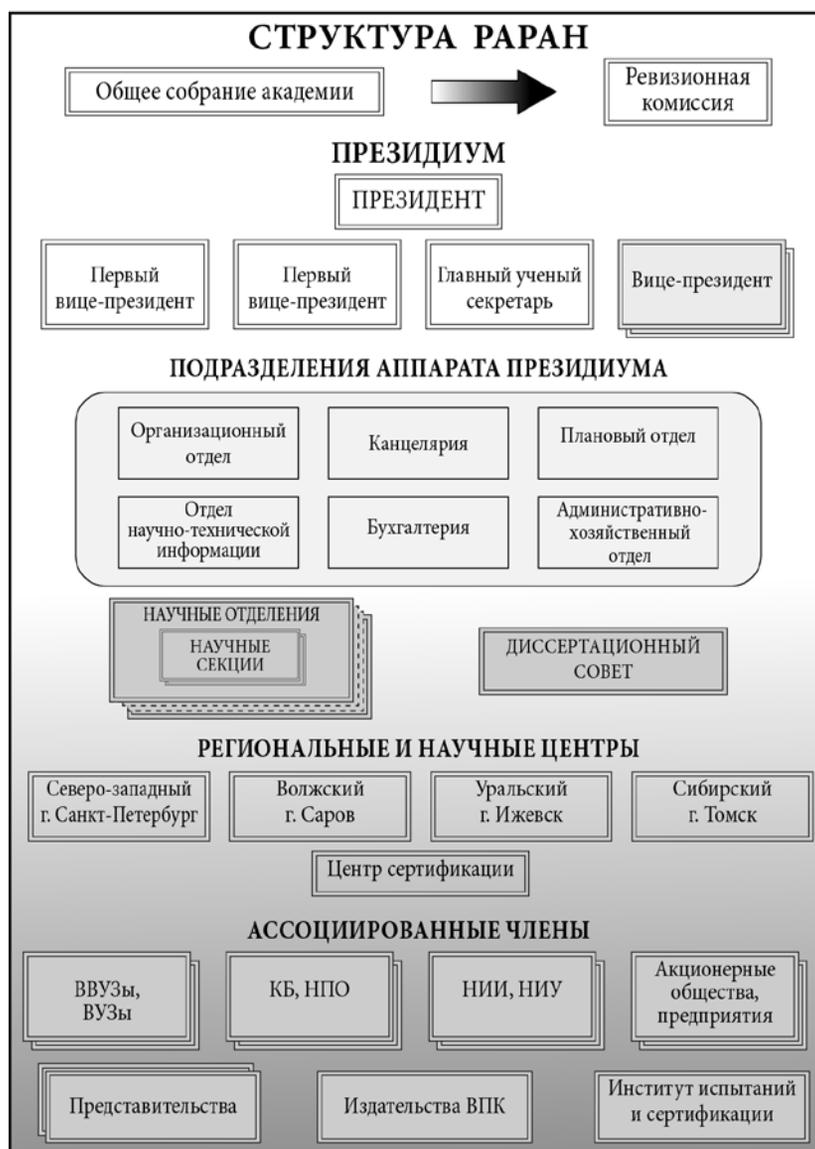


Рис. 3. Структура РАН на 1 января 1997 года

– восемь член-корреспондентов РАН (в их числе Ильяев Радий Иванович, Кокошин Андрей Афанасьевич, Краснощеков Юрий Иванович, Липанов Алексей Матвеевич Непобедимый Сергей Павлович, Шамшев Кирилл Николаевич);

– руководители оборонных отраслей промышленности и органов военного управления Министерства обороны России;

– руководители и генеральные конструкторы оборонных отраслей промышленности, ведущих ВУЗов страны;

– начальники научно-исследовательских организаций Министерства обороны России.

Решением указанного Общего собрания сформированы 17 научных отделений академии, руководителями которых были избраны такие известные ученые и руководители как Гущин Николай Иванович, Силин Николай Александрович, Смирнов Борис Владимирович, Макаровец Николай Александрович, Потемкин Эдуард Константинович, Крылов Валерий Михайлович, Шевчук Александр Борисович, Пенкин Михаил Егорович, Шамшев Кирилл Николаевич.

Следует отметить, что во многом структура и наименование научных отделений была на тот момент заимствована у ААН (рис. 4).

Решением Высшей аттестационной комиссии Российской Федерации от 26 февраля 1996 года № 39 был создан диссертационный совет РАРАН.

За 30 лет существования РАРАН президентами РАРАН избирались Киреев Владимир Петрович (1994–2006 года), Панов Виталий Валерьянович (2006–2011 года), Буренок Василий Михайлович (2011 — по н.в.) (рис. 5).

Период со дня подписания Указа Президента Российской Федерации до 2001 года может расцениваться как период становления Академии, приобретения ею необходимого авторитета научной организации в системе обеспечения обороноспособности России, развития вооружения, военной и специальной техники.

С 2002 по 2013 годы — это время наращивания научного потенциала академии, выполнения большого количества оперативных заданий и научно-исследовательских работ в интересах Министерства обороны России и организаций оборонно-промышленного комплекса.

Однако в этот период уже все более отчетливо стала проявляться узость направлений

деятельности РАРАН, ограничивавшейся фактически только проблематикой ракетных войск и артиллерии. Для Академии, приравненной к государственным академиям, это было неприемлемо. Поэтому в 2012 году началась разработка и согласование новой редакции устава РАРАН.

Постановлением Правительства Российской Федерации от 19 декабря 2013 года № 1192 утвержден Устав РАРАН в редакции, которая коренным образом изменила характер деятельности Академии и в дальнейшем повлияла на структуру и объем решаемых научных и практических задач. Уставом была закреплена ведущая роль академии в решении задач по всем вопросам военно-технической и оборонно-промышленной политики, четко определены права и обязанности Правительства России и Министерства обороны в отношении академии, устранен ряд пробелов и противоречий, затруднявших ее уставную деятельность. Фактически устав Академии обеспечил полное соответствие РАРАН требованиям, предъявляемым к государственным академиям.

В соответствии с положениями нового устава разработана новая Концепция развития Российской академии ракетных и артиллерийских наук, утвержденная решением общего собрания РАРАН от 24 апреля 2015 года

Организационно РАРАН строится по территориально-отраслевому принципу. Ее основными структурными звеньями и центрами творческой профессиональной деятельности являются 11 научных отделений, объединяющих в своем составе специалистов одной или нескольких родственных специальностей по соответствующим направлениям. В территориальную структуру РАРАН входят региональные научные центры, ведущие работу на территории республики, края, области, других региональных образований РФ. Для выполнения научно-исследовательских и участия в опытно-конструкторских работах в академии создаются профильные научные центры.

В настоящее время РАРАН объединяет в своих рядах известных ученых, конструкторов и специалистов, связанных с созданием разнообразных средств вооруженной борьбы и работающих в различных областях оборонной промышленности, в научных организациях Министерства обороны Российской Федерации, высших учебных заведениях, высших военных



Рис. 4. Научные отделения РАРАН на 1 января 1997 года

учебных заведениях Минобороны России и организациях Российской академии наук.

В настоящее время среди членов РАРАН более 200 докторов наук, семь Героев труда Российской Федерации (Белобрагин Борис Андреевич, Кашин Валерий Михайлович, Милехин Юрий Михайлович, Леонов Александр Григорьевич, Межирицкий Ефим Леонидович, Шу-

рыгин Виктор Александрович, Ефремов Герберт Александрович) и шесть Героев Российской Федерации (Булгаков Дмитрий Витальевич, Григоров Сергей Иванович, Корабельников Валентин Владимирович, Обносков Борис Викторович, Сидоренко Лев Георгиевич, Шаманов Владимир Анатольевич), лауреаты государственных премий и премий Правительства РФ.



Рис. 5. Президенты РАРАН (слева направо): В.П. Киреев, В.В. Панов, В.М. Буренок

Они являются авторами большого числа монографий, учебников, статей, конструкторских разработок, известных не только в нашей стране, но и за рубежом.

Следует отметить, что руководящий состав Академии в разные годы тоже менялся. Не стал исключением и 2023 года. По различным причинам произошли изменения в руководстве ряда отделений. В 6 отделении руководителем был избран член-корреспондент РАРАН Михайловский Александр Борисович, ученым секретарем — советник академии Братченко Анатолий Иванович, руководителем 8 отделения избран член-корреспондент РАРАН Сорокин Владимир Алексеевич, руководителем Тульского регионального научного центра — член-корреспондент РАРАН Чуков Александр Николаевич.

Российская академия ракетных и артиллерийских наук является единственной в силовых структурах научно-экспертной организацией, имеющей государственный статус, объединяющей ведущих ученых и специалистов организаций Минобороны России, других федеральных органов исполнительной власти и оборонной промышленности, что позволяет на высоком научном уровне решать проблемные вопросы системного развития вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ).

В состав Академии входят персонально действительные члены (академики), член-корреспонденты, почетные члены, иностранные члены. Действительными членами и член-корреспондентами избираются ученые, конструкторы,

военачальники, руководители производств, известные своими выдающимися достижениями в исследовании теоретических и прикладных проблем в различных областях науки, в разработке, производстве, испытаниях, эксплуатации и применении образцов вооружения и военной техники; создании прогрессивных технологий, что позволяет использовать потенциал академии для решения сложных научных и технических задач в интересах всех видов и родов войск Вооруженных Сил, других силовых ведомств, ОПК, а также организаций, применяющих технологии и технику военного назначения в мирных целях.

Основными направлениями деятельности РАРАН в последние годы стали исследования, проводимые на стыках научных направлений, поиск нетрадиционных технических решений и прорывных технологий, включая базовые военные технологии и технологии двойного назначения, поиск путей обеспечения информационной и экономической безопасности, определение путей каталогизации, унификации и стандартизации вооружения и военной техники, выявление приоритетов в развитии средств вооруженной борьбы с учетом как изменений форм и способов ведения военных действий и совершенствования структуры Вооруженных Сил, так и достижений в развитии науки и техники и другие актуальные направления исследований. Большое внимание уделялось системным исследованиям по разработке средств противо-

действия террористическим угрозам. Участие в опытно-конструкторских работах направлено в первую очередь на создание высокоточного оружия, включая многоцелевые боевые системы, способные комплексно выполнять задачи разведки и всего информационного обеспечения, поражения, управления, технического обеспечения, а также в изучении новых методов и средств проектирования и испытаний. Конкретные результаты получены учеными академии в области создания «базовых» технологий и утилизации ВВСТ. Весьма актуальными являются исследования в области экономики, организации науки и реструктуризации оборонного комплекса, выработки и научного обоснования предложений в государственную программу вооружения и другие основополагающие документы, определяющие направления развития ВВСТ, порядок ввода в строй и эксплуатацию новых образцов, работу ОПК.

Важность деятельности академии подтверждена активным использованием разработок ученых в ходе специальной военной операции на Украине.

Существенное значение имеет деятельность академии, связанная с проведением на независимой основе научных экспертиз проектов нормативно-законодательных документов, планов и программ, технических предложений.

При Академии создан совет молодых ученых, проводятся ежегодные конкурсы на лучшие работы, а по их результатам — итоговые конференции.

Академия решением коллегии Военно-промышленной комиссии РФ от 2016 года определена головной научной организацией Совета главных конструкторов по системе вооружения сухопутной составляющей сил общего назначения, а президент РАН В.М. Буренок назначен руководителем этого совета. Деятельность Академии нацелена на координацию работы главных конструкторов в процессе формиро-

вания и совершенствования сбалансированной системы вооружения Сухопутных войск и ВДВ, береговых войск ВМФ, войск Национальной гвардии.

За прошедшие годы учеными Академии подготовлено к печати и издано большое количество монографий и научных публикаций, получены патенты и зарегистрированы изобретения. Издаются сборники материалов научных конференций и труды академии. Для широкой научной общественности выпускаются журнал «Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук», военно-аналитический журнал «Защита и безопасность», электронный научный журнал «Вооружение и экономика», а также «Бюллетень РАН». В период с 2004 по 2012 год выпущено 10 томов справочной библиотеки разработчика-исследователя вооружения и военной техники. С 2014 года в Академии издается серия научных изданий «Научная библиотека РАН».

Особое внимание академия уделяет подготовке научных кадров и поддержке молодых ученых.

Разработана система стимулирования научной деятельности. Постоянное внимание уделяется социальной защите ученых и ведущих специалистов оборонной промышленности и силовых структур.

Российская академия ракетных и артиллерийских наук является научной организацией, способной проводить системную координацию и проведение научных исследований, активно участвовать в научном обосновании основополагающих документов в области военно-технической политики, в создании отвечающих требованиям времени средств вооруженной борьбы, способствовать сохранению и развитию важнейших направлений фундаментальной и прикладной науки, обеспечивающих безопасность России, содействовать сохранению научного и производственного оборонного потенциала с учетом всего накопленного опыта.

УДК: 623.8; 629.58

DOI: 10.53816/20753608_2024_1_12

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРИМЕНЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ АППАРАТОВ ВЕРОЯТНОГО ПРОТИВНИКА

BASIC PRINCIPLES OF APPLICATION AND CLASSIFICATION OF AUTONOMOUS UNINHABITED VEHICLES OF A PROBABLE ENEMY

Чл.-корр. РАРАН В.А. Шаманов^{1,2}, В.В. Кулаков^{1,2}, О.Ю. Каширина¹, В.Н. Иванас²

¹Государственная дума РФ, ²Финансовый университет при Правительстве РФ

V.A. Shamanov, V.V. Kulakov, O.Y. Kashirina, V.N. Ivanas

Западные державы продолжительное время исследуют вопросы развития безэкипажных аппаратов и применение их в военных целях. Это представляет вполне обоснованные угрозы для России. В предлагаемой статье обозначена актуальность исследования автономных необитаемых аппаратов и проанализированы возможности их применения противником.

Ключевые слова: исследование, научный анализ, кораблестроение, автономные необитаемые аппараты, надводные аппараты, подводная разведка, противоминная борьба.

Western powers have been investigating the development of unmanned vehicles and their use for military purposes for a long time. This poses a well-founded threat to Russia. In the proposed article, the relevance of the study of autonomous uninhabited vehicles is indicated and the possibilities of their use by the enemy are analyzed.

Keywords: research, scientific analysis, shipbuilding, autonomous uninhabited vehicles, surface apparatuses, underwater reconnaissance, mine warfare.

В состав военно-политического блока НАТО входит 31 государство, 25 из которых имеют выход к морю. Организация имеет перспективы к расширению, а также продвижению к границам Российской Федерации, что подтверждается фактом принятия блоком НАТО Финляндии в 2023 году. Теперь во взаимодействии с Эстонией и Швецией осуществляется организация военно-морских сил в Балтийском море. Подобные случаи целесообразно расценивать в качестве угрозы безопасности России, потому что наблюдается фактическое наращивание военного присутствия недружественных стран в Азии, а также в морском пограничном пространстве. События октября 2023 года показывают, насколько военные действия других стран могут иметь беспрецедентный характер. То, что

воспринимается гражданским населением одной страны как сенсационная новость, является тщательно спланированным действием другой. В этой связи особенно важно сфокусировать внимание на любых изменениях, которые могут подрывать безопасность государств. Основным членом НАТО, провоцирующим мировое сообщество на недружественную политику в отношении России, выступают Соединенные Штаты Америки. Они позиционируют себя как морскую державу, обладающую господством в водной среде. В соответствии с планом военного кораблестроения Министерства обороны США, опубликованным 9 декабря 2020 года, предусмотрены активные темпы конструирования и создания морских объектов для нужд военно-морского флота [1]. План был составлен с учетом

положений стратегий национальной обороны (National Defense Strategy — NDS) [2] и морской стратегии «Advantage at Sea», согласно которым ВС США имеют интересы содержания боеготовых сил в Тихоокеанском регионе для «выигрыша в повседневной конкуренции», защиты национальных интересов и обрушения военной мощи на предполагаемых «агрессоров», которыми считаются Россия и Китай. Основной проблемой для решения данной задачи, по мнению специалистов США, является слабая доступность к отдельным акваториям Мирового океана, в частности Арктического региона. Данное обстоятельство мотивирует противника к планированию выборочного «зондирования» территорий автономными необитаемыми подводными аппаратами (АНПА). Благодаря использованию безэкипажных аппаратов достигается впечатление непредсказуемости и способность ВМС США к успешным разведывательным операциям. Вооружение западных стран уже активно применяется в Черном море, а беспилотные аппараты угрожают не только военной инфраструктуре, но и объектам гражданского пользования, мирному населению.

Исходя из перечисленного, целесообразно планировать превентивные меры защиты. Они должны начинаться прежде всего с проработки имеющейся информации для снижения степени неопределенности. В ряде зарубежных стран, в частности в США, развита практика государственно-частного партнерства по разработке, закупке и модернизации технологий военного применения [3]. Поэтому важно понимать, что пополнение автономными аппаратами структуры флота, их внедрение — это процессы, которые могут развиваться на стремительной основе из-за конкурентных особенностей рынка. Как видно, спрогнозировать возможные изменения в финансовом обеспечении отдельных программ и проектов модернизации флотов стран НАТО представляется затруднительным.

Соединенные Штаты географически и геостратегически предрасположены развивать себя как морскую державу, поэтому для них важно уделять внимание принципам ведения войны в водной среде. При этом необходимо учитывать, что действия морских сил, безусловно, сопряжены с действиями авиационных группировок, боевым применением военно-воздушных средств. Таким образом, широкое использова-

ние безэкипажных (беспилотных) ударных аппаратов выводит способы ведения современной войны на качественно новый уровень. В соответствии с планом строительства автономных необитаемых надводных аппаратов (АННА) США, можно их классифицировать по отдельным признакам [4]. Так, предполагается внедрение «сверхбольших» надводных аппаратов (Extra Large Unmanned Undersea Vehicle — XLUUV) в флот. В ближайшей перспективе их планируют изготовить в количестве пяти единиц. Они могут оснащаться ракетами для ударов по наземным целям и противокорабельными боеприпасами. Основное их предназначение — скрытая установка мин «Hammerhead» и планируемых мин, которые привязываются к морскому дну и оснащаются противолодочной торпедой. Сверхтяжелый класс способен нести на себе тяжелые автономные необитаемые подводные аппараты, представители такого класса обладают высоким уровнем автономности по времени. Однако представленная технология является дорогостоящей, из-за чего проходит долгую процедуру утверждения и принятия планов по финансированию для внедрения во флот. Также содержание аппаратов подобного класса подразумевает создание удаленных пунктов базирования, что сопряжено с дополнительными проблемами [5]. Вполне очевидно, что концентрировать ресурсы на объект, который может оказаться уязвимым перед современными технологиями корабельной войны, не всегда целесообразно. Данный вопрос может стать предметом отдельного исследования. Однако американцы в перспективе предполагают замену такими кораблями устаревающих по своим возможностям авианосцев.

Следующий класс — класс «больших» надводных аппаратов (Large Unmanned Surface Vessel — LUSV). По своим характеристикам он отличается меньшим временем автономности и объемом водоизмещения, чем сверхбольшой класс. Временной лимит максимального возможного автономного плавания можно расширить при оснащении подобных кораблей комбинированной системой заряда батарей в надводном положении. Это подразумевает наличие на объекте ионных аккумуляторов, солнечных батарей и топливных отсеков. Тем не менее они способны нести тяжелую целевую нагрузку, в том числе АНПА средних классов, средства борьбы

с надводными силами и противокорабельные ракеты. В сравнении со сверхбольшими аппаратами они имеют более высокую скорость хода при приемлемой маневренности. ВМФ США ожидает от данных аппаратов длительного срока службы при недорогом производстве. По мнению командования ВМС, подобные аппараты целесообразно спускать в водную среду для самостоятельного долгосрочного присутствия и разведки, потому что создаваемые радиотехнические помехи могут сделать «большой» класс уязвимым для ударов авиации вследствие отсутствия противовоздушного вооружения. Представленный риск характерен для каждого класса, но и степень защиты от создаваемых радиотехнических помех может находиться на ином уровне из-за качества и количества средств защиты, размещаемых на безэкипажных судах. Важно отметить, что два предыдущих класса при дополнительных затратах могут быть обеспечены противоторпедными системами обороны.

Класс «средних» надводных аппаратов (Medium Unmanned Surface Vessel — MUSV) предназначен преимущественно для размещения на них средств разведки, наблюдения и систем радиоэлектронной борьбы. Сочетание приборов, расположенных на аппаратах среднего класса, позволяет поддерживать мониторинг боевого пространства [6]. Управление ими более стабильно, потому что они имеют полуавтономный режим, который подразумевает координацию движения в режиме реального времени. Такими аппаратами возможно управлять с береговых станций, а также с бортов военных кораблей ВМФ стран НАТО. Слабой стороной средних аппаратов является невозможность несения тяжелого вооружения и средств защиты, из-за чего они являются недостаточно эффективными при боевом контакте с авиационными ударными группами или подводными лодками.

Представленная классификация позволяет распределить управление, силы и средства для решения конкретных задач флота. Ключевая идея в минимизации присутствия крупных боевых кораблей и увеличении количества беспилотных транспортных средств. Кроме того, создание механизма беспилотного присутствия в надводной среде может существенно улучшить качество патрульных и мониторинговых операций, а также содержание тактических и опе-

ративных ударных средств. На взгляд авторов, в условиях морского сражения нецелесообразно полагаться лишь на «традиционные» системы предупреждения.

Эффективное ведение боевых действий в морском пространстве не ограничивается одной лишь надводной средой. Для обеспечения скрытности и внезапности предусмотрены подводные аппараты. Их значительно труднее обнаружить без специальных приборов. Проанализировав характеристики зарубежных автономных необитаемых подводных аппаратов [7], правомерно утверждать, что они могут обеспечивать военные операции по наведению авиационных ударных групп, сопровождению военных кораблей, введению в заблуждение противника, мониторингу подводной среды, обеспечению связи и патрулированию. Подводные аппараты — технология, которая представляет наибольшую угрозу из-за своего многоцелевого назначения. На сегодняшний день АНПА обладают автономностью по времени от суток до полугода самостоятельного плавания. Благодаря данной особенности они способны обеспечивать подводную разведку различного характера, выполняя при этом исследовательские функции, функции геологоразведки, гидрографические, мониторинговые, а также прямого военного назначения — разведку территории, ее минирование (разминирование), доставку целевых грузов, создание технических помех приборам разведки.

Присутствие АНПА в районах особого внимания — это тщательно спланированный тактический ход. Ряд зарубежных производителей (таких как Boeing, Hydroid и т.д.) выпускает многообразие аппаратов, отличающихся размерами и применяемыми композитными материалами [7]. Подобные объекты отличаются совершенно иными возможностями и принципами автономной работы. В данном случае наиболее приемлемая форма подводного аппарата может быть представлена в виде торпеды, ракеты. Благодаря его маленькому диаметру это наименее заметный вариант для разведывательных и противоминных операций. Однако существуют и крупногабаритные АНПА, которые визуальным образом имеют сходство с подводными лодками. Технологии подобных размеров предназначены преимущественно для дальнего плавания на предельной глубине с несением целевой нагрузки. Важно понимать, что

существуют и роботизированные аппараты, которые имеют формы представителей подводного мира. У них может быть крабообразное или рыбообразное строение. В качестве военного предназначения их основными функциями являются разведка, зондирование, подача импульсов, мониторинг изменения подводного пространства, обман противника и обеспечение оперативной маскировки подводных объектов путем дезинформации и имитации. Такие аппараты не могут использоваться в целях оперативного применения в условиях ведения морского боя.

К слабым сторонам сверхбольшого класса можно отнести невозможность полного скрытного автономного передвижения по заданному маршруту даже при наличии датчиков, которые должны обеспечивать корректировку курса и парирование непредвиденных преград на пути [8]. При длительном патрулировании сверхбольшой класс АНПА может быть недостаточно эффективен в случае внезапного боевого столкновения с подводными и надводными объектами, оснащенными средствами радиотехнической борьбы. В данном случае оперативный контроль на большом расстоянии затруднен. Понимание таких особенностей необходимо для оценки времени, обстановки, сил и в целом для определения возможностей технологий подводной войны ВМС стран НАТО. Подобные сведения способствуют наиболее качественной заблаговременной подготовке и планированию операций (боевых действий).

Разнообразие автономных аппаратов является преимуществом, потому что по принципу их комплексного применения (комплексный подход; создание комплексов) обеспечивается максимальный эффект от реализации оперативных действий группировки сил, демонстрации военного присутствия, применения на главном и других направлениях. В частности, повышается эффективность операций подводной разведки и ведения минной войны. Кроме того, специфика подводных и надводных аппаратов, их тактико-технические характеристики позволяют выделить классификацию данных средств по зоне применения.

Особенностью действий сил флота в прибрежной зоне является то, что при прямом боевом столкновении могут быть задействованы все рода войск. Поэтому здесь ощутимый вклад

могут принести легкие АНПА из композитных материалов, оснащенные разведывательными приборами. Это обеспечивает наиболее скрытное слежение за различными объектами. Такие аппараты предназначены для сбора информации, создания различных помех и целеуказания, что характерно для фазы разведки и подготовки боевых действий. Заблаговременная подготовка действий с применением АНПА минимизирует потери в личном составе. Повышается устойчивость группировки разнородных сил при активных действиях. Полученные данные позволяют определять координаты групповых целей для авиационных ударных групп и морской артиллерии, а также координировать и поддерживать бой при высадке морского десанта. Данное положение весьма актуально, так как современная война характеризуется действиями оперативных групп при сопровождении беспилотных аппаратов. С другой стороны, безэкипажные средства могут нести в качестве целевой нагрузки взрывчатые вещества, мины и оружие с целью прямолинейного удара по инфраструктуре. Подобная практика уже была применена в отношении России на Черноморском побережье в 2023 году вооруженными силами Украины. Следует иметь в виду, что масштаб и частота подобных атак можеткратно возрасти, если аналогичным способом будут действовать страны НАТО. В таком случае есть вероятность, что предполагаемый противник может делать ставку не только на скрытность, но и на количество аппаратов.

Ближняя морская зона (БМЗ) — часть водного пространства, которая благоприятна для боевых надводных единиц и подводных лодок. Вместо десантных кораблей, эсминцев и фрегатов могут применяться АНПА большого класса, оснащенные средствами морской артиллерии различного калибра, спускаемыми минами и тп. А вместо подводных лодок — АНПА сверхтяжелого класса, оснащенные торпедами и средствами РЭБ. Таким образом, концепция беспилотного присутствия позволяет производить главный удар с минимальным риском потери экипажа с разумным расположением сил и средств поражения и обеспечения. Учитывая особенности БМЗ, автономные аппараты могут быть способны как организовывать, так и обеспечивать морскую блокаду островов с целью полного воспреещения действий противника. Ввиду их технических

характеристик также представляется возможным определенная организация и поддержание морского района ПВО, размещение средств РЭБ на водных объектах, создание и прикрытие вспомогательных пунктов управления. Аппараты легких классов в данной зоне в основном реализуют задачи мониторинга, обеспечения контура управления, сопровождения боевых кораблей и реализации блокирующих действий.

Помимо автономных аппаратов боевого и вспомогательного назначения в дальней морской зоне могут быть применены технологии, заменяющие сторожевые корабли. Также сторожевую функцию и иные поисковые действия могут выполнять менее заметные для акустических приборов технологии — дрейфующие глайдеры, такие как «Slocum». Аппараты с продолжительным временем автономности за счет движения с изменением остаточной плавучести в глубине с горизонтальной по наклонной плоскости. Они перемещаются, создавая волнообразную траекторию. Это делает подобные аппараты практически незаметными перед гидроакустическими приборами. Так они могут собирать гидрологическую информацию в зоне предстоящих операций, потому что оборудованы бортовыми измерительно-информационными комплексами. Впоследствии все данные передаются через два основных канала: гидроакустический — на систему якорных донных станций и воздушно-космический — на искусственный спутник Земли при всплытии [9, 10]. Эти положения дают право утверждать, что в дальней морской зоне может быть организована система мониторинга с целью реализации охранительной функции водных объектов. Что касается АННА сверхбольших классов — они обладают крупными габаритами, поэтому существует возможность размещения на них авиационных патрульных комплексов. Также повышенная автономность обитаемых аппаратов больших классов позволяет содержать их в качестве резерва на удаленных или труднодоступных направлениях. АНПА и АННА, обеспеченные комбинированной системой энергопитания, способны самостоятельно вырабатывать энергию в надводном положении. Поэтому в случае необходимости операция флота, проводимая в определенной операционной зоне, будет сопровождаться одновременным и последовательным решением нескольких опера-

тивно-стратегических и оперативных задач с минимальным присутствием экипажа.

В масштабах океанской зоны и океанского театра военных действий (ТВД) выполняются стратегические и оперативно-стратегические задачи с возможностью применения всех боевых и вспомогательных единиц ВМФ стран НАТО. Важно учитывать особенности и возможности боевого применения автономных аппаратов вероятного противника. Необходимо оценивать возможности отдельно взятого государства — члена НАТО, но в большей степени — весь военно-политический блок. Степень вовлечения сил и средств ВМС НАТО периодически изучается на учениях разного уровня.

Применение безэкипажных боеготовых сил может оказывать разнохарактерное воздействие на морские (океанские) коммуникации. Также для океанской зоны характерно проведение общештотских операций. Крупногабаритные автономные аппараты в таком случае могут быть представлены как особая организация комплексов. Их боевое управление может основываться на выполнении задач «стаей» под водой [11]. Это объясняется возможностью нести на борту АНПА средних и легких классов, что показывает наличие потенциальной угрозы развертывания групп автономной безэкипажной подводной разведки в водной среде на обширных территориях.

В последнее время западные специалисты особое внимание уделяют противовоздушной обороне автономных комплексов. Ведутся исследовательские и проектные работы по вопросу оснащения аппаратов зенитно-ракетными комплексами [12]. Развивается отдельное направление исследования по созданию технологий двухсредной войны, в основе которой будут особенности боевого применения безэкипажных аппаратов. Примером оружия двухсредного боя можно считать немецко-норвежскую разработку ракеты IDAS [13]. Ее особенность заключается в возможности организации противовоздушной обороны посредством пуска из подводных лодок. При необходимости ракета может поражать различные надводные цели. Специализированное навигационное оборудование подводных лодок осуществляет наведение ракеты. Она выбрасывается из специального контейнера, заполненного водой, после чего ее двигатель приходит в действие. Стартовый этап производится

скрытно, без демаскирующего эффекта, что означает невозможность обнаружения места пуска ракеты. Ракета достигает поверхности, после чего включается силовая установка для набора высоты. Находясь уже в воздушном пространстве, она распознает цель.

Соединенные Штаты разработали собственные многоцелевые ракеты. Уже в 2005 году были проведены успешные испытания пуска американских ракет «Томагавк» с подводных установок. Новое поколение ракеты оснащено системой GPS и способно барражировать в воздухе в ожидании момента для атаки. Представленные примеры подтверждают тезис о новых методах и способах ведения войны. Подобное вооружение в совокупности с автономными необитаемыми аппаратами в теории позволяет выполнять боевые задачи без человеческого присутствия.

Необходимо отметить, что помимо разведки и боевого применения автономные аппараты могут дополнять: дежурные средства; системы связи; системы отображения обстановки; разведывательно-огневые системы; противолодочное обеспечение; противоминное обеспечение. Не каждый класс аппаратов подходит для оперативного управления. Но каждый целесообразно применять в соответствии с предназначением и поставленными задачами. Мелкогабаритные АНПА перемещаются по заданному маршруту, при этом классифицируются по дистанционному управлению. В составе комплексов они решают задачи радиотехнической разведки, в первую очередь — обнаружение радиолокационных станций. Их обнаружение и ликвидация обеспечивает работу самолетов дальнего радиолокационного обнаружения и противолодочного обнаружения.

Класс больших аппаратов обладает повышенной скоростью подводного хода в сравнении со сверхбольшим классом. При разведывательных операциях и осуществлении мониторинга они могут размещать мониторинговые средства в морском пространстве. К примеру, эффективно устанавливать плавательные буи с электронными датчиками, которые измеряют внешнюю среду и передают данные. В связке с дрейфующими глайдерами и автономными комплексами (и кораблями управления) такие технологии повышают своевременное получение информации в интересах ВМФ. Это может быть выполнение разведывательных, охранных и диверсионных

задач. В дополнение — смена пунктов подводной дислокации, обнаружение надводных, подводных и воздушных объектов на расстоянии, развертывание различных систем минирования в водной среде.

Способность среднегабаритных аппаратов нести полезную нагрузку разведки, наблюдения и систем радиоэлектронной борьбы дает основание утверждать, что они предназначены для выполнения задач обеспечения и вспомогательных функций. В условиях морского боя (сражения) они могут быть поражены как средствами РЭБ, так и прямым огнем воздействием.

Для передачи разведывательных данных подобным аппаратам необходимо либо непосредственное соединение с оператором, либо всплытие на поверхность. Это сводит преимущества композитных материалов к минимуму и делает аппараты уязвимыми перед средствами обнаружения. К аппаратам с подобными особенностями относится широко применяемый комплекс американских АНПА Remus, который на сегодняшний день претерпел большое количество модификаций и способен работать на глубине более 1000 метров.

Автономные аппараты можно различать и по иным признакам. По типу энергопитания: батарейные, солнечные, ядерные и комбинированные. По типу управления: полностью автономные, полуавтономные, дистанционно управляемые, кабельные, телеуправляемые. По типу оборудования: мониторинговые, звуковые, измерительные, манипуляционные. По типу передачи данных: проводные, беспроводные, оптические и гидроакустические.

Сформулировав одни критерии по определению особенностей рассматриваемых аппаратов, можно представить и другую классификацию — по способам борьбы с автономными аппаратами в соответствии с их характеристиками. По типу противодействия можно выделить три основных способа: физическое, электронное, кибернетическое. По типу обнаружения: радиолокационное, гидроакустическое, оптическое. По типу блокировки: блокирование сигналов, блокирование движения. По типу уничтожения: взрывное, электромагнитное. По типу защиты: реакционный выпуск боеприпасов в приближающуюся цель, создание препятствий, создание электромагнитных полей [14].

При разработке средств борьбы с АНПА, в том числе обнаружения и блокирования, необходимо иметь в виду различные уровни получения искомого результата. Главным условием достижения превосходства на стратегическом уровне является налаживание производства средств борьбы, которые по себестоимости (а также по стоимости применения) были бы дешевле, чем производство АНПА противника. Работа по поиску оптимальных механизмов борьбы с подводными аппаратами может содержать активные, мягкие и стратегические методы по мерам противодействия.

Активные методы характеризуются непосредственным контактом с подводными аппаратами. Как правило, такие способы являются наиболее затратными по финансированию, потому что подразумевают производство единицы продукции военного назначения для использования на единицу (либо группу единиц) противника. Сюда включается выпуск ударных надводных и подводных аппаратов, применение взрывных устройств для уничтожения и формирование оперативных групп реагирования в районах операций. Наиболее эффективно использование активных методов применительно к автономным аппаратам сверхбольшого класса. В таком случае целесообразно сопоставлять эффект действия от малогабаритных отечественных управляемых аппаратов, которые способны нести на себе соответствующую целевую нагрузку. Наиболее перспективными на сегодняшний день являются направления научных исследований по установке двухсреднего оружия защитного характера на тяжелые подводные аппараты.

Мягкие методы подразумевают разумный расход финансов на модернизацию, экстенсивное развитие системы противодействия АНПА. Сюда можно отнести оснащение имеющихся морских судов системами обнаружения и защиты, внедрение программ мониторинга и анализа данных, систем блокировки и создания радиопомех, снабжение устройствами для направления электромагнитных импульсов, которые могут привести электронику автономных необитаемых подводных аппаратов в нерабочее состояние.

Совокупность технологий, применяемых на глубине и на поверхности воды, может перейти в отлаженный механизм контроля боевой обста-

новки. Безэкипажные аппараты больших классов способны дислоцироваться друг от друга на расстоянии от 50–100 км, обеспечивая при этом в совокупности с меньшими классами оперативное получение информации, налаженную систему связи и боевую готовность морских и воздушных сил.

Стратегические методы направлены на достижение результата в долгосрочной перспективе. К мерам стратегического характера относится создание программ обучения экипажей по работе с противодействием АНПА, разработку проектов федерального уровня по направлению поощрения научных исследований в сегменте автономных аппаратов, создание бюджетных мест по соответствующим направлениям подготовки в высших образовательных учреждениях, составление документов стратегического планирования по разработке и закупке автономных необитаемых аппаратов и разработку систем координации, позволяющих оперативно связывать службы с группами реагирования. Противолодочная и противоминная борьба в Мировом океане требует проведения совместных учений и координации действий в случае возникновения угрозы, поэтому учет плановых мероприятий является одной из основных мер стратегического характера. Для повышения эффективности противолодочной и противоминной борьбы в Мировом океане при разработке планов развития отечественного флота необходимо учитывать географическое положение, климатические условия, положение военных баз и портов, наличие и состав современного оборудования.

Военно-морской флот Российской Федерации располагает самыми совершенными военными объектами, которые можно использовать в композиции с аппаратами средних и легких классов. К примеру, атомные подводные лодки «Борей» и «Ясень» [15], несущие ракетное оружие и торпеды. Вполне очевидно, что при необходимости они могут нести и системы обнаружения и уничтожения подводных аппаратов. Это же можно сказать и о кораблях противолодочной обороны, таких как «Адмирал Трибуц» и «Североморск». Они оснащены гидроакустическими системами, ракетным и торпедным вооружением. Также отечественные беспилотные подводные аппараты, такие как «Посейдон», могут быть образцами развития автономных комплексов.

Таким образом, у Российской Федерации имеются силы и средства, которые можно противопоставить модернизирующейся структуре флотов стран НАТО.

Литература

1. Доклад Конгрессу «О ежегодном долгосрочном плане строительства военно-морских судов» // Министерство военно-морского флота; Канцелярия министра обороны. Вашингтон, 2020 год. 23 с.
2. Стратегия национальной обороны и обзор ядерной политики // Комитет по вооруженным силам Палаты представителей, Сто Пятнадцатый Конгресс, вторая сессия, слушания состоялись 6 февраля 2018 года. Вашингтон: Изд-во правительства США, 2018. III. 79 с.
3. Илларионов Г.Ю., Сиденко К.С., Сидоренков В.В. Подводные роботы в минной войне. Калининград: Янтарный сказ, 2008. 116 с.
4. Р. О'Рурк. Крупные беспилотные надводные и подводные аппараты Военно-морского флота: предыстория и вопросы для Конгресса. Вашингтон: Исследовательская служба Конгресса, 2020. 39 с. (отчеты CRS; R45757); URL: <https://news.usni.org/2020/12/24/navy-releases-final-rfp-for-large-displacement-unmanned-underwater-vehicle-program#more-82341> (дата обращения: 01.11.2023).
5. Колесников М.П., Мартынова Л.А., Пашкевич И.В., Шелест П.С. Метод позиционирования автономного необитаемого подводного аппарата в процессе приведения к причальному устройству // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. № 11. Часть 2. С. 38–49.
6. Бочаров Л.Н. Необитаемые подводные аппараты. Состояние и общие тенденции развития // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2009. № 7 (97). С. 62–69.
7. Кирилл Рябов. Подводный аппарат Boeing / НН Orca XLUUV выходит на испытания // Военное обозрение. <https://topwar.ru/196205-podvodnyj-apparat-boeing-hii-orca-xluuv-vyehodit-na-ispytaniya.html> (дата обращения: 29.10.2023).
8. Зернюков Д.В. Роль и место сверхбольших автономных необитаемых подводных аппаратов в морской стратегии Соединенных Штатов Америки // Военная мысль. 2023. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-i-mesto-sverhbolshih-avtonomnyh-neobitaemyh-podvodnyh-apparatov-v-morskoy-strategii-soedinennyh-shtatov-ameriki/pdf> (дата обращения: 01.11.2023).
9. Белоусов И. Современные и перспективные необитаемые подводные аппараты ВМС США // Зарубежное военное обозрение. 2013. № 5. С. 79–88.
10. Robert W. Button, John Kamp, Thomas B. Curtin, James Dryden. A survey of missions for unmanned undersea vehicles // RAND National Defense Research Institute, Santa Monica, CA. 2009. 189 p.
11. Ширишнёв С.П. Перспективы применения средств оптической локации для определения местоположения автономного необитаемого подводного аппарата // Навигация и гидрография 2017. № 47. С. 23–32.
11. Романова Е.А., Чернышов Е.А., Романов А.Д. Развитие систем противовоздушной обороны подводных лодок // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 12-2. С. 227–231.
13. Naval Technology. Ракетный комплекс IDAS. Интерактивная система защиты и нападения для подводных лодок (IDAS). URL: <https://www.naval-technology.com/projects/idas-missile-system/> (дата обращения: 29.10.2023).
14. ГОСТ Р 56960–2016. Аппараты необитаемые подводные. Классификация. М. Стандартинформ. 2016. 4 с.
15. Половинкин В.Н. Современное состояние и перспективы развития мирового военного кораблестроения / Актуальные проблемы защиты и безопасности. XXIII Всероссийская научно-практическая конференция РАРАН. Пленарные доклады. АО «НПО Спецматериалов». СПб. 2020. С. 89–103.

УДК: 338.245

DOI: 10.53816/20753608_2024_1_20

**ЭКОНОМИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДИВЕРСИФИКАЦИЕЙ
ПРОДУКТОВОГО ПОРТФЕЛЯ ГОСУДАРСТВЕННЫХ КОРПОРАЦИЙ
В ПРОЦЕССАХ КОНВЕРСИИ ОПК И ТРАНСФЕРА ТЕХНОЛОГИЙ**
**MANAGEMENT OF DIVERSIFICATION OF THE PRODUCT PORTFOLIO
OF STATE CORPORATIONS IN THE PROCESSES
OF DEFENSE INDUSTRY CONVERSION AND TECHNOLOGY TRANSFER**

Академик РАРАН А.В. Гурьянов^{1,2}, А.В. Пан³, И.О. Жаринов²

¹РАРАН, ²ОКБ «Электроавтоматика», ³КРЭТ

A.V. Guryanov, A.V. Pan, I.O. Zharinov

В статье рассматривается задача экономического управления хозяйствованиями макроуровня экономики РФ в аспекте диверсификации продуктового портфеля, осуществляемой в процессах частичной конверсии оборонно-промышленного комплекса (ОПК) и трансфера сквозных цифровых технологий. Диверсификация определена актуальным направлением реформирования бизнеса, которое на современном этапе экономического цикла изменения технологического и хозяйственного укладов Индустрии 3.0 целесообразно осуществлять совместно с цифровой трансформацией ОПК, выполняемой под институциональные условия цифровой экономики и инфраструктурные условия Индустрии 4.0.

Ключевые слова: экономическое управление, диверсификация, конверсия, трансфер технологий, Индустрия 4.0, сквозные цифровые технологии, оборонно-промышленный комплекс.

The article considers the task of management of the macro-level of the economy of the Russian Federation in the aspect of diversification of the product portfolio carried out in the processes of conversion of the military-industrial complex and the transfer of end-to-end digital technologies. Diversification is determined by the current direction of business reform, which, at the present stage of the economic cycle, changes in the technological and economic structures of Industry 3.0 should be carried out jointly with the digital transformation of the defense industry, carried out under the institutional conditions of the digital economy and infrastructure conditions of Industry 4.0.

Keywords: economic management, diversification, conversion, technology transfer, Industry 4.0, end-to-end digital technologies, military-industrial complex.

Введение

Оборонно-промышленный комплекс (ОПК) — сложный многоотраслевой сегмент экономики РФ, отдельные экономические агенты которого, объединенные по Бондарю Т.В. [1] в вертикально и горизонтально интегрирован-

ные иерархические структуры¹ ГК «Росатом», ГК «Ростех», ГК «Роскосмос», осуществляют экономическую деятельность, последовательно и с определенной цикличностью поддерживают межфирменные (кооперационные) связи посредством информационных и производственных (в совокупности сквозных цифровых) технологий

с целью безусловного выполнения государственных программ и государственных заказов, а также обеспечения занятости населения и уверенного развития национальной экономики РФ в целом. Производственная часть жизненного цикла продукции ОПК в экономическом сегменте ОПК реализуется по направлениям отраслей экономики с присущими им особенностями технологического и хозяйственного укладов Индустрии 3.0 и консервативными способами ведения проектно-ориентированного бизнеса, инкорпорируемыми в родственную ОПК инфраструктуру промышленного производства востребованной на внутреннем и внешнем рынках гражданской продукции (новые источники дохода субъектов ОПК) в «мирных» экономических отраслях.

Практическое применение имеющегося внутреннего потенциала ОПК Индустрии 3.0, его материальных и нематериальных ресурсов (трансфер инновации как транзакция в экономическом институционализме) в реализацию ценностного предложения (создание продукции ОПК), соответствующего по Kotter J.P. & Heskett J.L. [14] экономическим возможностям и производственной культуре государственных корпораций, осуществляется с участием управляющих кадров менеджмента и профильных специалистов, рассматриваемых в качестве стратегического актива ОПК. Многообразие номенклатуры разрабатываемой и изготавливаемой продукции ОПК (многомерный портфель проектов), представленной высокотехнологичными объектами самолетостроения, судостроения, двигателестроения и др., формируется в кросс-отраслевых цепочках

создания стоимости, в которых присутствуют корпоративные бизнес-структуры, состоящие из субъектов и объектов экономического управления, обладающих согласованными организационными моделями экономического взаимодействия и конкурирующих друг с другом за участие в государственных оборонных заказах (ГОЗ) (рынок с монополией Заказчика), обеспечивающем существенную загрузку производственных мощностей бизнеса и целевое государственное финансирование бизнес-проектов создания продукции ОПК со структурой цены, поддерживающей прибыльность экономических агентов на заданном уровне.

Реформирование экономической системы ОПК и его экономических агентов, заявленное в национальной программе развития РФ до 2025 года, позиционируется сегодня приоритетной задачей в проблемном поле научно-технической и промышленной политик РФ и связано с общим состоянием экономики РФ и ее институциональным и инфраструктурным переводами на технологии цифровизации (на формат цифровой экономики с технологическим укладом Индустрии 4.0), а также с внешними и внутренними факторами (вызовами, угрозами и глобальными рисками для российской экономики), оказывающими согласно Шкодинскому С.В. и др. [11] давление² на РФ и сдерживающими по Ореховой Н.В. и др. [10] экономический рост отечественного валового внутреннего продукта. При этом институциональной составляющей реформ ОПК является идеологический переход «регулирование → регламентирование»

¹ Перечень исследуемых государственных корпораций макроуровня экономики РФ определен согласно рейтингу SIPRI (Stockholm International Peace Research Institute) Top-100 Arms-producing and military services companies, доступному по адресу: https://sipri.org/sites/default/files/2019-12/1912_fs_top_100_2018_0.pdf и объединяющему представленные и ранжированные в нем компании ОПК, осуществляющие экономическую деятельность в составе ГК на мезоуровне и относящиеся к базовым экономическим отраслям: корабле- и судостроение, авиастроение, энергетика, радиоэлектроника и др. В рейтинг от РФ включены, в частности, ПАО «Объединенная авиастроительная корпорация», ПАО «Объединенная судостроительная корпорация», АО «Концерн «Радиоэлектронные технологии», ПАО «Объединенная двигателестроительная корпорация», АО «НПО «Высокоточные комплексы», АО «Вертолеты России», АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей», АО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение» и др. Ранжирование выполнено по показателю валовой выручки бизнеса от реализации продукции ОПК среди крупнейших корпоративных структур, занятых в ОПК и имеющих страновую принадлежность к США, Великобритании, Японии, Швеции, Франции, Германии, Израилю и др.

² Наиболее очевидными сегодня проявлениями политического и видами экономического давления на РФ, затрагивающими национальную безопасность и экономическую деятельность субъектов ОПК, можно рассматривать санкции SSI (Sectoral Sanctions Identifications) и CAATSA (Countering America's Adversaries Through Sanctions Act) и др., введенные США и Евросоюзом в отношении РФ в целом и секторально по экономическим отраслям ОПК.

правительственных структур РФ, в первую очередь Минпромторга России, Минобороны России, Минцифры России, Минэкономразвития России и др., на реализацию функций экономического управления, создающих экономическим субъектам ОПК через национальный трансфер стека сквозных цифровых технологий, дополнительные экономические возможности по расширению продуктовой линейки и выходу на рынки гражданской продукции, т.е. совокупно стимулирующих рост материального производства ОПК и его научно-техническое развитие нематериальных активов за счет формирования условий для новых технологического и хозяйственного укладов цифровой экономики и Индустрии 4.0 с инновационными компонентами капитала.

Комплексный подход к реформированию экономического сегмента ОПК, основанный на научном анализе текущего состояния ОПК, заключается в поиске эффективных путей проведения изменений экономических отраслей и предполагает системную трансформацию существующих бизнес-моделей хозяйствования в направлениях диверсификации продуктового портфеля и конверсии экономических агентов, т.е. частичную пацификацию ОПК по Ештокину С.В. [6], в том числе в рамках реализации политики импортозамещения, осуществляемую с использованием рыночно-регулируемого инструментария трансфера сквозных цифровых технологий и применения общего обоим направлениям механизма «менеджерского» управления, обеспечивающего в цепочке преобразований «Индустрия 3.0 → Индустрия 3.0+ → Индустрия 4.0» преимущественное использование бизнесом («бесшовный» межсекторальный трансфер) технологий двойного назначения с поэтапным перераспределением баланса выпускаемой продукции ОПК в пользу гражданской продукции (стратегическое развитие корпоративного бизнеса согласно Ferns D.C. через экономическое управление портфелем проектов).

Методы и методология исследования

Методической основой научной позиции авторов в отношении участия государства в реформировании устоявшихся форм работы ОПК Индустрии 3.0 на внутрихозяйственном уровне

микроэкономики РФ, обуславливающим активный перевод бизнеса на конкурентные модели рыночных отношений (коммерческие формулы образования цены на продукцию ОПК), являются базовые положения общей экономической теории и положения частных теорий институциональной и эволюционной экономик, прикладным образом приложенные к центрально-регулирующей деятельности ведомственных структур, в первую очередь Минпромторга России, осуществляемой в экономических отраслях ОПК (по специализациям ГК «Ростех», ГК «Росатом», ГК «Роскосмос») имеющимися механизмами и инструментами, отражающими по Гаврилюк А.В. [3] роль инноваций в конкуренции субъектов ОПК и в научно-техническом прогрессе РФ, а также обеспечивающими сближение циклов создания и потребления сквозных цифровых технологий двойного назначения, исключающее возникновение ситуаций экономической сингулярности в хозяйственных отношениях бизнеса.

Перевод ОПК от модели технологически закрытых ГК «Ростех», ГК «Росатом», ГК «Роскосмос» на бизнес-модели открытых (внешних) инноваций по Chesbrough H.W. [13] и создания гражданской продукции (например, в США действует нормативный закон Stevenson-Wydler «О технологической инновации», определяющий обязательные формы экономического трансфера в цепочке: хозяйствование сегмента ОПК → субъект гражданского сегмента экономики) обоснован объективными процессами, наблюдаемыми сегодня в экономике РФ и связанными с планируемой динамикой снижения объемов ГОЗ и внедрением в производство сквозных цифровых технологий двойного назначения (высокодоходный экономический ресурс), выступающих движущей силой трансформации бизнеса под формальные институциональные условия цифровой экономики и неформальные инфраструктурные условия Индустрии 4.0, сконцентрированные в направлениях инновационного пути «Индустрия 3.0 → Индустрия 3.0+ → Индустрия 4.0» экономического развития РФ и масштабного освоения субъектами ОПК парадигм экономики замкнутого цикла и шеринг-экономики, изменяющих хозяйственный и технологический уклады экономических агентов (для целей военно-гражданского трансфера технологий в ГК «Ростех» реализована

коммуникационная платформа развития и создан по заказу Национального центра информатизации усилиями ЦНИИ «Электроника» специальный онлайн-каталог гражданской продукции, отражающий результаты деятельности радиоэлектронного кластера корпорации, специализирующегося на телекоммуникационном, медицинском и др. оборудовании и поддерживающего технологии основного производства).

Изменения предусматривают согласно Довгучиц С.И. & Журенков Д.А. [4] пересмотр сложившегося в Индустрии 3.0 экономического равновесия в пропорциях воспроизводства субъектами ОПК целевой (специальной) и гражданской продукции, спрос на которую и ценообразование в отношении которой формируются в обществе (в социально-экономической системе) по принципиально различным экономическим законам (координатором трансформации ОПК по линии ГК «Ростех» выступает учрежденный ей маркетинговый центр ООО «НПО «Конверсия», в ГК «Роскосмос» аналогичную функцию компетентного информационно-аналитического обеспечения по поручению Минпромторга России выполняет Центр диверсификации организаций ОПК, созданный на базе ЦНИИ «Центр»). Таким образом, ключевым элементом экономического управления хозяйствованием ОПК в стратегическом по Кендалл Дж.И. & Роллинз С.К. [16] аспекте экономического развития является механизм внутрифирменного регулирования неравновесных технологических и бизнес-процессов (в совокупности динамических объектов управления), подверженных прогнозируемому институциональному влиянию и непрогнозируемому (в общем случае случайному) рыночному влиянию, на фоне воздействия которых бизнес ОПК должен реализовывать совершенно новые структуры систем управления портфелем проектов с управляемыми экономическими параметрами, по-разному определяющими и контролирующими добавленную стоимость целевой и диверсифицированной гражданской продукции ОПК.

Управление корпоративными бизнес-структурами ОПК в аспектах диверсификации продуктового портфеля и конверсии

Диверсификация (управляемые изменения (рис. 1), приводящие к повышению разнообразия) — процесс расширения структурными инструментами номенклатуры производимой продукции, а также способов ведения экономической деятельности (бизнес-моделей), включающих отношения с заказчиком, потребителями продукции ОПК и контрагентами по производственной кооперации, осуществляемый менеджментом в технологических цепочках и схемах взаимодействия с целью адаптации бизнеса ОПК к внешним и внутренним вызовам, т.е. такой процесс, в результате которого нивелируется деструктивное влияние на ОПК, осуществляется прямой трансфер сквозных цифровых технологий ОПК в направлениях реализации приоритетных проектов гражданского назначения (с требованиями к процессам и запросами к изготавливаемому продукту, отличающимися от требований военного Заказчика), интегрально обеспечивающих общественное благо в социально-экономической системе РФ.

Задача диверсификации экономического сегмента ОПК сформулирована³ Президентом РФ (дополнительно обозначена на съезде машиностроителей России в 2016 г.) на уровне стратегических единиц макроэкономики РФ — ГК «Росатом», ГК «Ростех», ГК «Роскосмос» и подлежит выполнению дочерними холдинговыми структурами мезоуровня (стейкхолдеры различных уровней в корпорации), регулируемыми на принципах военно-гражданской коллаборации одновременное развитие нескольких не связанных по этапам жизненного цикла продукции производств (от разработки до послепродажного обслуживания в границах каждого из проектов), а также распределение объемов производства между экономическими агентами микроуровня

³ Корпоративные изменения технологического и хозяйственного укладов в ГК «Ростех», ГК «Роскосмос», ГК «Росатом» осуществляются в согласии с решением задачи Президента РФ от 23.09.2016. № Пр-1845В «О диверсификации производства организациями оборонно-промышленного комплекса и увеличении доли выпуска высокотехнологичной продукции гражданского и двойного назначения». Ожидаемые количественные показатели портфельного баланса продуктовой линейки экономических субъектов ОПК определены на долевых уровнях объемов производства в ОПК гражданской по отношению к военной продукции: к 2025 году — до 30 %, к 2030 году — до 50 %.



Рис. 1. Схема системы экономического управления корпоративным бизнесом ОПК с диверсифицированным продуктовым портфелем

экономики РФ, т.е. вертикальная и горизонтальная диверсификация соответственно, в периоды спада государственного спроса на целевую продукцию ОПК, стоимость которой в отличие от гражданской продукции по величине с известной долей поправки совпадает с потребительской стоимостью.

В институциональных условиях цифровой экономики и инфраструктурных условиях Индустрии 4.0 традиционный акцент процессов диверсификации, отражающий механизмы кросс-отраслевого взаимодействия, целесообразно рассматривать под углом научного мировоззрения, допускающего трансфер сквозных цифровых технологий в экономически обоснованном обратном по Войнову П.С. и др. [2] традиционному направлению — от экономических субъектов гражданских отраслей к субъектам экономики ОПК (использование в ОПК субтехнологий виртуальной и дополненной реальности, применение технологий распределенного реестра в сопровождении процессов контроля финансирования ГОЗ, внедрение в технологические процессы аддитивных способов изготовления деталей по заказам ГОЗ в рамках практик, основанных на группе новых производственных технологий, и др.).

Конверсия (управляемые изменения (рис. 2), в содержательном аспекте приводящие к заме-

нению ценностного предложения) — процесс перевода бизнеса ОПК финансовыми инструментами на бизнес-модели выпуска на гражданские рынки продукции массового потребления с новыми или имеющимися потребительскими свойствами и функциональными характеристиками, осуществляемый с идентифицированной задачей и дополнительным ресурсным обеспечением, в результате сопоставления реальных возможностей производства с запросами потребительского сообщества, анализируемыми в динамике (на интервалах времени, разделенных на контрольные периоды) менеджментом экономических агентов микро- и мезоуровня экономики РФ, входящих в состав ГК «Росатом», ГК «Ростех», ГК «Роскосмос».

В итоге, в системе экономического управления бизнесом ОПК, образованной замкнутым контуром, работающим по схеме местных и главной обратных связей, реализуемых субъектами микро- и мезоуровней национальной экономики и конфигурирующих два специализированных субконтура с функциональным разграничением создаваемых ценностей и балансированием процессов управления портфелем проектов, осуществляется согласование действий разноуровневых субъектов ОПК и одновременно поддерживаются (гармонизируются) в составе различных субконтуров «гибридные» механизмы управления,



Рис. 2. Схема системы экономического управления корпоративным бизнесом ОПК рамках реализации экономических процессов конверсии

обеспечивающие: стабилизацию финансово-экономических параметров экономической системы ОПК на достигнутом (или вновь заданном) при исполнении ГОЗ уровне; динамику экономической системы ОПК по коммерческим заказам, выполняемым по программам диверсификации продуктового портфеля или конверсии ОПК, с общей организацией процессов экономического управления по внутрифирменному освоению сквозных цифровых технологий и получению продукции ОПК с замещением административно-командного «менеджерского» управления цифровыми методами социо-киберфизического регулирования технологических и бизнес-процессов.

Разрешение сложившегося противоречия между консервативной по целевой продукции и инновационной по гражданской продукции политиками осуществления экономической

деятельности и экономического проактивного развития субъектов ОПК производится топ-менеджментом, обладающим по Шмелевой М.В. [12] информационной полнотой управленческих решений, в рамках системного подхода к объединению технологического и хозяйствующего укладов комбинацией механизмов управления с алгоритмизированными⁴ последовательностями действий менеджмента, повышающих валовую долю ОПК в ВВП РФ за счет приращения объемов суммарно изготавливаемой продукции и использования бизнесом сквозных цифровых технологий двойного назначения, распространяемых в корпоративных средах ГК «Ростех», ГК «Росатом», ГК «Роскосмос» на всех уровнях экономического управления посредством инструментария национального трансфера в макроэкономических условиях хозяйствования.

⁴ Цепочка бизнес-процессов управления портфелем проектов является объектом унификации, в отношении которого действуют отечественные ГОСТ Р 54869-2011 «Проектный менеджмент. Требования к управлению проектом» и ГОСТ Р 54870-2011 «Проектный менеджмент. Требования к управлению портфелем проектов» — стандарты практики менеджмента, реализация которых в части проектного управления приводит бизнес ОПК к максимизации качества выводимого на рынок продукции ОПК ценностного предложения, а в части портфельного управления — к достижению корпоративным бизнесом ОПК заданных показателей валовой выручки, сегментированной по видам экономической деятельности, государственным и коммерческим обязательствам, создаваемой стоимости и т.д., т.е. во взаимосвязи управления с операционными циклами и экономической стратегией развития бизнеса (диверсификация продуктовой линейки с одновременной цифровой трансформацией хозяйствования под стек сквозных цифровых технологий). Зарубежным аналогом, описывающим в формате национального основополагающего стандарта организационный подход к экономическому управлению портфелем проектов, выступает, в частности, ANSI/PMI 08-003-2017, подготовленный некоммерческой профессиональной организацией Project Management Institute, Inc., США.

Принципы экономического управления портфелем проектов ОПК с диверсифицированной продуктовой линейкой

Управление портфелем проектов по Markowitz Н.М. представляет собой совокупность структурированных процессов (рис. 3), основанных на централизованной реализации сценарного подхода к экономическому развитию бизнеса ОПК в рамках выбранной стратегии диверсификации продуктовой линейки (синергия между военным и гражданским направлениями бизнеса ОПК), выполняемой с использованием сквозных цифровых технологий двойного назначения во внутрикорпоративной мультипроектной среде. Управление направлено на достижение комплекса стратегических целей и количественных показателей хозяйствования и реализуется посредством принятия менеджментом обеспеченных ресурсами управленческих решений, их мониторинга (контроля) и оперативной коррекции в условиях внешних и внутренних вызовов экономическому объекту макроэкономики ОПК, т.е. ГК «Ростех», ГК «Росатом», ГК «Роскосмос».

Управление осуществляется внутрифирменными методами и межфирменными инструментами трансфера технологий для регулирования бизнес-процессов по текущим проектам ГОЗ и по предлагаемым (уже поддерживаемым) проектам коммерческих заказов с использованием единой системы формальных методик и процедур, основанных на практиках инновационного, технологического и проектного менеджментов, с использованием которых поддерживается схема «техническая разработка проекта → коммерческая реализация проекта» с графической формой представления в виде «дерева» управленческих решений и получаемых результатов. Целевая функция управления сводится по Ansoff Н.І. к улучшению позиций бизнеса ОПК в социально-экономической системе РФ, адекватной институциональным условиям цифровой экономики, за счет проведения внутрифирменных (внутрикорпоративных) изменений содержания портфеля проектов с существенной частью этапа НИОКР, по своей технологической сложности реализации релевантных стеку сквозных цифровых технологий Индустрии 4.0.

Портфель проектов бизнеса ОПК, таким образом, в системе управления по своей



Рис. 3. Пирамида экономического управления корпоративным портфелем проектов ОПК в цепочке «трансфер технологий → диверсификация → конверсия» с корпоративной культурой и возможностями производственной деятельности, основанными на стеке сквозных цифровых технологий (составлено автором по стандарту Project Management, Project Management Institute, Inc., США)

содержательной сущности представляется двумя сбалансированными группами (субпортфелями) выпускаемой продукции (ценностного предложения), разделенной на продукцию ОПК основного (специального) назначения и продукцию ОПК для гражданских секторов экономики и имеющей общую технологическую основу производственных циклов. Частные объекты управления объединяются в совокупный объект управления по признакам общности субъекта управления (менеджмента) и централизации пула ресурсов (трудовые, материальные, финансовые) управления — базисные предпосылки структуризации системы экономического управления портфелем проектов бизнеса ОПК, объединяющие по Westland J. в системе средовые, процессные и проектные аспекты субъектно-объектных проблем экономического управления.

По уровням технологической, производственной и рыночной готовности применяемых технологий, адекватных институциональным условиям цифровой экономики и инфраструктурным условиям Индустрии 3.0+ и Индустрии 4.0, в портфель согласно Семенову В.Ю. [18] включены: проекты ГОЗ, не нуждающиеся в проведении изменений — серийно изготавливаемая военная продукция с фиксированными Минобороны России и Минпромторгом России требованиями и потребительскими свойствами; проекты ГОЗ, подлежащие непрерывному управлению изменениями — заказы в рамках НИОКР с развивающейся во времени моделью ценностного предложения; коммерческие проекты, регулирование которых направлено на повышение продуктивности бизнеса (фондоотдачи), сопровождающееся финансово-экономическим улучшением потребительской привлекательности создаваемой ценности и внутрифирменной управляемости процессов изготовления и вывода на рынок гражданской продукции.

Структура портфеля, формирующего добавленную стоимость, по своему составу определяется набором проектов по основной экономической деятельности бизнеса ОПК, соотносимых с бизнес-миссией хозяйствующей структуры на рынке продукции ОПК, и набором проектов по гражданской продукции, соотносимых с внутренними и внешними факторами, определяющими условия (ограничения и возможности) хозяйствования и выполнения проектов с раз-

личающимися механизмами ценообразования, целевой аудиторией и динамикой экономико-управленческих циклов с цепочкой функций управления, в общем случае построенных по схеме Deming W.E. & Shewhart W.A. и ориентированных на результат.

Балансирование портфеля осуществляется по Глезману Л.В. [17] с целью достижения установленных топ-менеджментом пропорций мультипликаторов от комплексной реализации военной и гражданской продукции ОПК, определяемых по объемам затрат и выручки, сроком выполнения заказов (сроком поставки продукции) по заключенным хозяйственным договорам и государственным контрактам, а также графикам финансирования (ресурсной обеспеченности) проектов, выделяемого по ГОЗ на бюджетной основе или привлекаемого от бизнес-сообщества, оказывающих взаимовлияние проектов в портфеле через загрузку средств производства и производительной силы субъектов ОПК.

Ключевым параметром управления в составе систем экономического управления, субъектно-объектная ролевая структура которых представлена на рис. 1 и рис. 2, выступает показатель сбалансированности портфеля — методически определенный экономический мультипликатор отношений управляемых подсистем — с заранее установленными временными точками финансового контроля, вычисляемый по план-фактному отклонению (разнице, позитивному или негативному разрыву по Frame J.D. [15]) наблюдаемых от желаемых значений характеристик бюджетов проектов (их стоимостных аспектов) и имеющий экономическую интерпретацию в виде долевых распределений производственных трансформационных затрат и прибыли, полученной от коммерциализации ценностного предложения ОПК в операционных циклах осуществления различных групп (субпортфелей) бизнес-проектов создания продукции и проведения внутрифирменных изменений.

В системе управления, таким образом, реализуется основополагающий механизм, действующий в условиях рыночных рисков, связанных с выполнением гражданских проектов, учитывающий взаимовлияние проектов в портфеле, проявляющееся в естественных ресурсных ограничениях бизнеса ОПК, и сфокусированный

на применении имеющихся сквозных цифровых технологий для повышения общих производственных компетенций хозяйствований, сопряженного по Ерыгину Ю.В. [19] с реактивными (экзогенными, т.е. внешними) и креативными (эндогенными, т.е. внутренними) инновационными процессами. Информация о проектах и портфеле проектов, реализуемых ОПК, в цифровом виде данных доступна централизованному регулятору в государственной информационной системе промышленности Минпромторга России, осуществляющему мониторинг результативности процессов диверсификации ОПК и исполнение субъектами ОПК трансформационных директив Президента РФ в части организации конверсионного производства.

Решаемая в системах задача экономического управления сводится к непрерывному проведению внутрикорпоративных изменений по схеме «стратегическое управление → управление портфелем → управление проектами → управление процессами», связанных с определением наилучшего отношения по заданному критерию «расходуемые ресурсы/время» (эффективность бизнеса) для проектов создания основной и диверсифицированной гражданской продукции с установленными в ее технической документации инженерными и потребительскими качествами — многокритериальная модель управления Cooper R.G. с детерминированным множеством управляемых параметров, разделенных между стратегически согласованными главным и самоорганизующимися локальными контурами управления, экономические процессы в которых отражают специфику хозяйствования, регламентированную в стандартах и имеющую отраслевые расширения⁵ в макроэкономике ГК «Ростех», ГК «Росатом», ГК «Роскосмос».

Заключение

Отечественная практика реформирования макроэкономики в организационно-хозяйственном и технологическом аспектах диверсификации и конверсии экономического сегмента ОПК (управление по «кривой неравенства» создаваемых ценностей по закону спроса и предложения) свидетельствует по Зайнуллину С.Б. & Зайнуллиной О.А. [7] о существовании множества альтернативных вариантов путей достижения цели преобразования системно значимого для РФ бизнеса (в частности, в качестве меры выполнения государственной задачи проведения менеджментом реформы применяется отмеченное Князьнеделиным Р.А. [8] приобретение в «дочернее экономическое управление» по аналогии с военными корпорациями США субъектов гражданского бизнеса или доли в существующем бизнесе, занятом в гражданской отрасли, без изменения структуры или модернизации, перепрофилирования основных средств собственного военного производства — экстернальный по Евсеевой М.В. [5] способ диверсификации ОПК), основанных на трансфере сквозных цифровых технологий и технологий экономического управления, востребованных в бизнес-процессах хозяйствования экономических агентов в рыночных условиях и в процессах коммерческого развертывания объемов производства продукции гражданского назначения, осуществляемых без и с государственным участием.

Потенциально эффективным, очевидно, является подход к военно-гражданскому реформированию экономического сегмента ОПК, основанный на создании без ущерба национальной безопасности новых производств (экономических объектов) в рамках технологической и хозяйственной коопераций,

⁵ Примером кросс-отраслевого корпоративного взаимодействия в экономической системе ОПК является деятельность Академии ГК «Ростех», осуществляющей в рамках программы федерального кадрового резерва ОПК (создана по инициативе коллегии Военно-промышленной комиссии РФ) адресную подготовку и переподготовку руководящего звена субъектов ОПК по аспектам экономического управления портфелями проектов. В 2021 году, в частности, реализован модуль «Управление программами и портфелями проектов» с бизнес-кейсами государственного масштаба, в изучении которого приняли участие представители ГК «Ростех», ГК «Росатом», ГК «Роскосмос», АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей», ПАО «Объединенная судостроительная корпорация» и др. Аналогичную функцию повышения квалификации топ-менеджмента в ГК «Росатом» реализует созданная в 2022 г. Академия «Маяк».

инфраструктурно оснащаемых механизмами трансфера и разворачиваемых на специально выделенных государством по программам промышленной ипотеки (презентована Президентом РФ на Петербургском международном экономическом форуме 2022 года) или промышленной реновации площадях или территориях (добавочный потенциал диверсификации и конверсии ОПК), обладающих статусом «специальных экономических зон», в которых согласно Невмывако В.П. [9] могут быть реализованы формы хозяйствований, соответствующие сотрудничающим малому и среднему бизнесу, т.е. бизнес-инкубаторам, бизнес-полигонам, бизнес-кластерам Индустрии 3.0+ или фабрикам будущего Индустрии 4.0, с технологическими и бизнес-процессами, использующими сквозные цифровые технологии, адекватные основной специализации трансформируемого бизнеса ОПК (примером успешной зарубежной диверсификации ОПК является коллаборация Swedish Space Corporation и Saab, реализующая проекты гражданских космических спутников связи).

Планирование конверсии и поддержание административно-командной системы диверсификации внутри ГК «Росатом», ГК «Ростех», ГК «Роскосмос» на фоне усилившегося внимания государства к созданию в экономической системе ОПК общественных благ гражданского назначения сопровождаются повышенным уровнем конкурентного давления на экономических субъектов микроуровня экономики РФ в гражданских отраслях экономики и оказываются целесообразными в продуктовых (нишевых) границах внутреннего и внешнего рынков, где финансово-экономические и технологические позиции конкурирующего бизнеса не так значительны, а полученные достижения ОПК в областях технологий и инноваций, образующих нематериальную часть стоимости, воспринимаются потребителем как дополнительное ценностное преимущество создаваемой продукции (в этой парадигме негэнтропийная реформа бизнеса ОПК соответствует основным идеям программы «Third offset strategy» Минобороны США, предполагающей обретение бизнесом конкурентных преимуществ на рынке посредством технологического совершенствования продукции и применения в операционных

циклах производственных и управленческих инноваций — знаний и «хозяйственных комбинаций» в области проблем управления портфелем проектов).

Литература

1. Бондарь Т.В. Государственная корпорация как инструмент модернизации экономики // Известия Иркутской государственной экономической академии. 2010. № 2. С. 17–20.
2. Войнов П.С., Беленький В.Я., Белинин Д.С., Варушкин С.В. Возможности применения аддитивных технологий при конструировании и производстве вооружения, военной и специальной техники // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. 2021. Т. 23. № 2. С. 70–78.
3. Гаврилюк А.В. Активизация инновационной деятельности государственной корпорации «Ростех» и перспективы ее развития в экономическом пространстве ЕАЭС // Государственное управление. Электронный вестник. 2017. Вып. 60. С. 49–70.
4. Довгучиц С.И., Журенков Д.А. Проблемы диверсификации оборонно-промышленного комплекса и пути их решения // Научный вестник ОПК России. 2017. № 4. С. 7–17.
5. Евсеева М.В. Управление портфелем проектов и программ: современные требования // Известия Саратовского ун-та. Серия Экономика. Управление. Право. 2019. Т. 19. Вып. 2. С. 165–171.
6. Ештокин С.В. Диффузия высоких технологий оборонно-промышленного комплекса в гражданский сектор экономики: стратегические шаги к импортозамещению // Вопросы инновационной экономики. 2021. Т. 11. № 1. С. 257–278.
7. Зайнуллин С.Б., Зайнуллина О.А. Сравнительный анализ корпоративной культуры зарубежных и российских предприятий военно-промышленного комплекса // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2021. Т. 17. № 1. С. 184–204.
8. Князьнеделин Р.А. Научно-методическое сопровождение процессов конверсии, диверсификации и технологического трансфера на предприятиях оборонно-промышленного комплекса // Известия Санкт-Петербургского

государственного экономического университета. 2017. № 4 (106). С. 69–76.

9. Невмывако В.П. Промышленно-технологическая кооперация крупного бизнеса и структур малого и среднего предпринимательства: опыт РФ и зарубежных стран в сфере технологического импортозамещения // Экономика и социум: современные модели развития. 2021. Т. 11. № 2. С. 169–202.

10. Орехова Н.В., Кудрявцева Н.Н., Попов А.В., Пахомова Ю.В., Дуванова Ю.Н. Крупнейшие предприятия ВПК РФ: анализ объемов продаж, численности, территориального размещения по стране в 2020 году // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 4. С. 398–404.

11. Шкодинский С.В., Кушнир А.М., Продченко И.А. Влияние санкций на технологический суверенитет России // Проблемы рыночной экономики. 2022. № 2. С. 75–96.

12. Шмелева М.В. Инновации и цифровизация в гособоронзаказе в России и США // Вестник Пермского университета. Юридические науки. 2020. Вып. 47. С. 160–183.

13. Chesbrough H.W. Open innovation: the new imperative for creating and profiting from technology, Boston, Mass.: Harvard Business School Press, 2003. 278 p.

14. Kotter J.P., Heskett J.L. Corporate culture and performance, New York: Free Press, 1992. 214 p.

15. Frame J.D. Managing projects in organizations: how to make the best use of time, techniques and people, San Francisco: Jossey Bass, 2003. 298 p.

16. Бабенков В.И., Гурьянов А.В. Обоснование принципов адаптивного управления военно-экономической безопасностью цепей поставок, осуществляемых предприятиями оборонно-промышленного комплекса // Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России. 2021. Выпуск № 1. С. 24–28.

17. Гурьянов А.В., Бабенков В.И. Военно-экономическая безопасность цепи поставок материально-технических средств по гособоронзаказу // Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России. 2021. Выпуск № 3. С. 5–9.

18. Подольский А.Г., Гурьянов А.В., Коновалов В.Б., Бабенков А.В. Методический подход к определению продолжительности научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию научно-технического задела // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2021. № 1 (116). С. 37–43.

19. Ерыгин Ю.В. Методология и инструментарий планирования устойчивого инновационного развития предприятий ОПК: автореф. дисс. ... д-ра экон. наук по спец. 08.00.05 Красноярск: ГОУВПО «Сибирский государственный аэрокосмический университет им. акад. М.Ф. Решетнева». 2005. 34 с.

УДК: 623.09

DOI: 10.53816/20753608_2024_1_31

**НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД
К ФОРМИРОВАНИЮ СМЕШАННЫХ ГРУППИРОВОК
БОЕВЫХ ВЕРТОЛЕТОВ И БПЛА
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ АРМЕЙСКОЙ АВИАЦИИ**

**SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL APPROACH TO THE FORMATION
OF MIXED GROUPS OF COMBAT HELICOPTERS AND UAVS TO SOLVE
THE TASKS OF ARMY AVIATION**

Чл.-корр. РАРАН А.Б. Бельский^{1,2}, А.А. Ефремов¹, А.Е. Парников¹, А.В. Сизов¹, В.Г. Якимов¹

¹АО «НЦВ Миль и Камов», ²Московский авиационный институт

A.B. Belsky, A.A. Efremov, A.E. Parnenkov, A.V. Sizov, V.G. Yakimov

В статье изложены основные научно-методические основы и организационно-технические направления формирования смешанных группировок боевых, разведывательно-боевых вертолетных комплексов (ВК) и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) различного назначения для повышения эффективности решения оперативно-тактических задач армейской авиации. Рассмотрены вопросы формирования структуры системы ВК-БПЛА, определения потребного состава смешанных группировок, проведения оценки эффективности решения задач и оптимизации совместного применения ВК и БПЛА.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, вертолетный комплекс, смешанная группировка, армейская авиация, разведывательно-ударный контур (РУК), концепция объединения пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов.

The article outlines the main scientific and methodological foundations and organizational and technical directions for the formation of mixed groups of combat, reconnaissance and combat helicopter complexes (VC) and unmanned aerial vehicles (UAVs) for various purposes to improve the efficiency of solving operational and tactical tasks of army aviation. The issues of forming the structure of the VC-UAV system, determining the required composition of mixed groupings, evaluating the effectiveness of solving problems and optimizing the joint use of VC and UAVs are considered.

Keywords: unmanned aerial vehicle, helicopter complex, mixed grouping, army aviation, reconnaissance and strike contour (RUK), Manned-Unmanned Teaming (MUT).

В настоящее время в армейской авиации требуются серьезные системные организационно-технические преобразования с учетом опыта применения ВК в СВО. Включение в перспективные системы вооружения армейской авиации беспилотных летательных аппаратов (разведывательных, боевых, БПЛА-камикадзе и др.),

комплексов бортового оборудования и вооружения с искусственным интеллектом (ИИ), технологий модульной авионики и других перспективных авиационных технологий позволяет объединять пилотируемые ВК с БПЛА, формируя так называемое в западных источниках пилотируемо-беспилотное взаимодействие (МУМ-Т) [1].

На протяжении последних лет ВВС США, а также их европейские и азиатские союзники ведут разработки в области пилотируемо-беспилотных систем, направленные на решение ударных задач, противодействия авиации противника, радиоэлектронной борьбы и других целевых задач.

С учетом актуальности развития MUM-T объединений, в том числе в области вертолетной техники, компании-разработчики ВК и БПЛА, научно-исследовательские и испытательные центры, а также передовые боевые подразделения проводят системно-концептуальные исследования, научно-технические разработки и выполняют опытную эксплуатацию данных систем на различных этапах реализации.

В марте 2015 года ВВС США создали свою первую смешанную эскадрилью, объединив ударные вертолеты AH-64D с БПЛА RQ-7B «Шэдоу» в одно разведывательно-ударное подразделение. Дальнейшее развитие концепция MUM-T получила в ходе разработки вертолетов AH-64E «Апач Гардиан» в версии V6.5 [2] (рис. 1).

Военно-морские силы и Корпус морской пехоты США продемонстрировали возможность объединения пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов (ЛА) в ходе учений 10 марта 2022 года в Калифорнии для ведения боевых действий в прибрежной зоне. Ударные вертолеты UH-1Y «Venom» и AH-1Z «Viper» из первой эскадрильи оперативных испытаний и оценки морской пехоты (VMX-1) провели атаки наземных целей, а БПЛА вертолетного типа MQ-8C «Fire Scout» применялся для их обнаружения (рис. 2).



Рис. 1. Боевой вертолет AH-64E с системой MUM-T-X для взаимодействия с БПЛА MQ-1C (слева) и RQ-7B (справа)

В ходе других мероприятий были отработаны навыки планирования, связи и координации огня между пилотируемыми и беспилотными ЛА [3, 4].

Компания Korea Aerospace Industries (KAI) подписала соглашение с Корейским научно-исследовательским институтом планирования и развития оборонных технологий (KRIT), предусматривающее разработку концепции (MUM-T) для совместного использования БПЛА и боевых вертолетов (рис. 3).

Согласно заявлению компании KAI, концепция включает в себя разработку технологии взаимодействия вертолета с БПЛА воздушного базирования, известных как Air Launched Effects (ALE) и системы поддержки принятия решений. Также в концепцию входят: разработка системы обеспечения выполнения задач для боевых вертолетов и технологии информирования о ситуации на поле боя в режиме реального времени.

Китайская компания Цзюньгань (г. Чжухай), специализирующаяся на создании БПЛА вертолетного типа, за последние годы разработала несколько типов БПЛА способных к объединению в самоорганизующуюся сеть, а также участию в совместных операциях с боевыми вертолетами [5, 6].

В армейской авиации ВКС РФ на протяжении нескольких последних лет проводятся организационно-технические мероприятия по интеграции боевых ВК и различных БПЛА в рамках создания межвидовых («сетевых») автоматизированных разведывательно-ударных контуров/комплексов (РУК) [7]. Военно-технические мероприятия включают проведение согласованных (по месту,



Рис. 2. Боевой вертолет КМП AH-1Z «Viper» и БПЛА MQ-8C «Fire Scout» проводят совместную разведывательно-ударную операцию



Рис. 3. Концепт легкого боевого вертолёта (ЛАН) проекта MUM-T компании KAI в сопровождении БЛА воздушного базирования (ALE)

времени, силам и средствам) разведывательно-ударных действий групп боевых вертолетов и БПЛА в заданном районе, направленных на повышение эффективности разведки и огневого поражения наземных (морских) целей за счет сокращения времени от момента обнаружения до момента применения средств поражения посредством автоматизации процессов обнаружения объектов противника, их распознавания, передачи на боевые вертолеты и доведения до средств поражения (в том числе и высокоточных) на основе сетцентрических принципов управления войсками и оружием.

В контексте реализации такого подхода рассматриваются методические основы и организационно-технические проблемы формирования смешанных группировок ВК и БПЛА, предназначенных для решения заданного перечня

задач [8]. Эти методы позволяют исследовать авиационные системы нового типа (РУК), имеющие разную степень интеграции, и получать сравнительные оценки их эффективности. Они включают в себя следующие направления:

- создание подразделений БВ и БПЛА различного уровня интеграции, определение их задач, структур и статусов;
- разработка методик формирования группировок БПЛА различного назначения для совместного применения с ВК;
- разработка методик расчета потребной численности группировок ВК и БПЛА при проведении совместных операций;
- разработка методик оценки эффективности решения заданного перечня задач, возлагаемых на смешанную группировку, РУК;
- разработка методов планирования и управления при проведении операций с использованием группировок ВК и БПЛА.

В состав создаваемых автоматизированных разведывательно-ударных контуров (комплексов) должны быть включены как собственные средства добывания информации о противнике (БПЛА, подчиненные командиру части/подразделения армейской авиации, пилотируемые средства разведки), так и автоматизированные средства обработки информации и боевого управления на базе мобильных наземных пунктов управления (НПУ), а также наземные средства технического обеспечения (СТО) (рис. 4).

Организационное функционирование групп боевых ВК и БПЛА должно основываться на

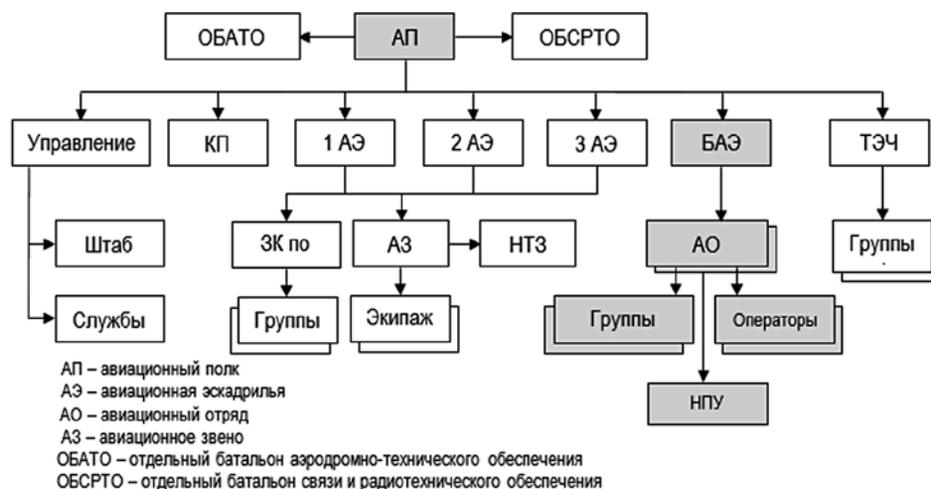


Рис. 4. Возможная структура авиационного полка в составе боевых вертолетов и БПЛА, подчиненных командиру части

автоматизированном взаимодействии с вышестоящим командованием и взаимодействующими образцами вооружения и военной техники других видов вооруженных сил с минимальными задержками прохождения информации боевого управления.

Средства доставки и обработки информации, циркулирующей в разведывательно-ударном контуре армейской авиации, должны строиться на принципах унификации информационного обмена, применения единых стандартов и правил, внедрении перспективных информационных технологии в области:

- геопространственных технологий (2D, 3D моделей местности, цветных и многоспектральных цифровых снимков, матриц высот с шагом не более единиц метров, матриц высот объектов с шагом не более метра);

- телекоммуникационных технологий (частотно-временное разделение сигналов, применение сложных сигнально-кодовых конструкций, широкополосных сигналов, аппаратных и программных средств защиты информации и др.);

- технологии ИИ (распознавание образов, электронная система поддержки принятия решений командиром группы при целераспределении между экипажами, речевая информационно — управляющая система, система принятий решений на командном пункте (КП) в сложной противоречивой обстановки при обработке информации различной достоверности и др).

Одним из важных направлений при создании смешанных группировок ВК и БПЛА является разработка методик формирования состава группировок (парка) БПЛА различного назначения для совместного применения с боевыми ВК. Методические основы и программные средства формирования вертолетного парка рассматривались ранее в целом ряде работ, относительно же БПЛА данные направления в настоящее время только находят свое развитие.

Область допустимых решений при исследовании вариантов комплектации парка БПЛА различного назначения для решения заданного перечня задач определяют:

1) $1, m$ — перечень задач, для выполнения которых предназначается парк БПЛА, например:

1 — воздушная разведка и целеуказание (ВРЦ);

2 — постановка ложных целей (ПЛЦ);

3 — радиоэлектронная борьба (РЭБ);

4 — поражение наземных/надводных целей (боевой);

5 — ретрансляция сигналов (РС);

6 — перевозка грузов (Тр) и др.

2) s — число типов БПЛА по назначению (одноцелевые, многоцелевые), входящих в состав парка;

3) X_s — множества характеристик БПЛА, влияющих на эффективность выполнения задач, возлагаемых на БПЛА;

4) N — число вариантов комплектаций парка БПЛА, состоящего из одноцелевых и многоцелевых БПЛА.

Граничными точками теоретического множества возможных вариантов комплектации парка БПЛА по назначению являются:

- парк БПЛА, состоящий из m одноцелевых комплексов, каждый из которых решает отдельную задачу из множества $1, m$

1, 2, 3, ... m ;

- парк БПЛА, состоящий из однотипных многоцелевых комплексов, каждый из которых решает весь перечень задач m

1 2 3 ... m .

Промежуточными вариантами теоретического множества комплектации парка БПЛА по назначению могут быть парки состоящие из одноцелевых и многоцелевых БПЛА в различных сочетаниях.

1	2,4	3	5,6	... m
1,2	3	4	5	6... m
1,4	2,3	5,6	... m	
1,2,3	4,5,6	... m		

и т.д.

Количество сочетаний $s = \mu_m^n$ по каждому из значений $n = 1, 2, \dots, m$ (количество типов одноцелевых и многоцелевых БПЛА по назначению) определяется из выражения для определения числа сочетаний из m по n

$$\mu_m^n = \frac{m!}{n!(m-n)!}, \quad n = 1, m.$$

Для примера, приведено полное разбиение множества из $m = 4$ (для четырех назначений БПЛА).

При $n = 1$ в состав парка будут входить 4 одноцелевых БПЛА: 1 — БПЛА ВРЦ; 2 — БПЛА ПЛЦ; 3 — ЛА РЭБ; 4 — боевой БПЛА.

$$\mu_m^n = \frac{4!}{1!(4-1)!} = \frac{24}{6} = 4;$$

1 2 3 4.

При $n = 2$ в состав парка будут входить 6 двухцелевых БПЛА: 1,2 — БПЛА ВРЦ, ПЛЦ; 1,3 — БПЛА ВРЦ, РЭБ; 1,4 — БПЛА ВРЦ, боевой; 2,3 — БПЛА ПЛЦ, РЭБ; 2,4 — БПЛА ПЛЦ, боевой; 3,4 — БПЛА РЭБ, боевой.

$$\mu_m^n = \frac{4!}{2!(4-2)!} = \frac{24}{4} = 6;$$

1,2 1,3 1,4 2,3 2,4 3,4.

При $n = 3$ в состав парка будут входить 4 трехцелевых БПЛА: 1,2,3 — БПЛА ВРЦ, ПЛЦ, РЭБ; 1,2,4 — БПЛА ВРЦ, ПЛЦ, боевой; 1,3,4 — БПЛА ВРЦ, РЭБ, боевой; 2,3,4 — БПЛА ПЛЦ, РЭБ, боевой.

1,2,3 1,2,4 1,3,4 2,3,4.

При $n = 4$ в состав парка будет входить 1 четырехцелевой БПЛА: 1,2,3,4 — БПЛА ВРЦ, ПЛЦ, РЭБ, боевой.

1,2,3,4.

Таким образом, при $m = 4$ в состав парка может быть включено $s = 4 + 6 + 4 + 1 = 15$ типов одноцелевых и многоцелевых БПЛА, формирующих четыре варианта комплектации парка.

Алгоритмически процедура сводится к комбинаторной задаче определения всех возможных разбиений множества $\{1, 2, \dots, m\}$, количество которых выражается числами Белла (B_m) для любого заданного m [9] (табл. 1).

Необходимо отметить, что число возможных разбиений (элементов парка) из множества назначений БПЛА по типам стремительно возрастает при увеличении числа задач, возлагаемых на парк БПЛА, более 6.

Из этих элементов как из деталей конструктора можно набирать самые различные сочетания многоцелевых БПЛА при соблюдении условия, что каждый вариант комплектации парка должен решать весь перечень поставленных задач.

При формировании вариантов комплектации парка БПЛА при условии не повторения одного и того же целевого назначения в нескольких аппаратах, количество вариантов комплектации определяется из выражения

$$N = \sum_{s=1}^m \left(\sum_{j=0}^{s-1} (-1)^j \right)^m \cdot C_s^j (S-j)^m / S!,$$

где m — число задач;

s — число типов ВК ЛА по целевому назначению в варианте комплектации парка;

j — переменная, принимающая значения от 0 до $s-1$ в каждом выражении для слагаемых N .

В наиболее общем случае, когда одно и то же назначение может повторяться в составе парка в нескольких БПЛА (например, одноцелевой БПЛА ВРЦ и двухцелевой БПЛА ВРЦ, боевой), число возможных вариантов комплектаций парка возрастает лавинообразно.

Примеры комплектации парка БПЛА с повторением целевого назначения в различных БПЛА (табл. 2):

1	1,4	2,3	2,5,6	... m
1,2	1,3	4	5	6 ... m
1,4	2,3	3,5,6	... m	

и т.д.

Следующей важной задачей формирования парка БПЛА для их совместного применения с ВК является определение их потребного числа, необходимого и достаточного для эффективного решения заданного объема задач.

Таблица 1

Комбинаторная задача определения всех возможных разбиений множества

Число задач, m	Числа Белла (B_m)
2	2
4	15
6	203
8	4140
10	115975
12	4213597

Таблица 2

Примеры комплектации парка БПЛА

Число задач	Число вариантов парков
2	4
4	299
6	16454
8	347216

Для оценки каждого альтернативного варианта парка необходимо знать степень «полезности» всех составляющих его элементов. Для получения таких показателей используются характеристики «стоимость — эффективность», рассчитанные для каждого элемента парка. Эти характеристики представлены в виде зависимостей $C_{\Sigma}^{ГРМЦБПЛА} = C_{\Sigma}^{ГРМЦБПЛА}(\bar{U}_i^{Зад}, N_{ЛАi})$, $i = 1, m$ (для примера для трех задач) (рис. 5).

Конкретизируя понятие «стоимость элемента парка (группы БПЛА)» необходимо отметить, что оно включает в себя стоимость самого БПЛА, их количество и затраты на выполнение боевой задачи (восстановление вероятных потерь, снабжение, обслуживание и т.д.):

$$C_{\Sigma}^{ГРМЦБПЛА} = C_{ЛАij}^1 \cdot N_{ЛАij} + \Delta C_{Допij},$$

где $N_{ЛАij}$ — количество БПЛА, решающих i -ю задачу в j -той группе;

$C_{ЛАij}^1$ — стоимость БПЛА;

$\Delta C_{Допij}$ — затраты на выполнение боевой задачи.

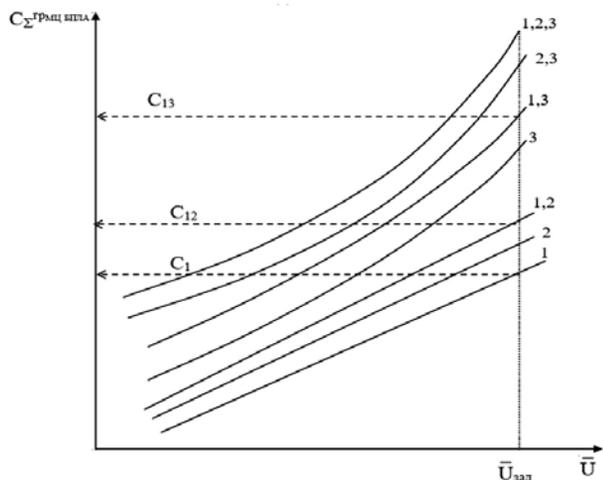


Рис. 5. Зависимость стоимости групп многоцелевых БПЛА от заданного уровня эффективности решения задач

Функционально стоимость группы $C_{\Sigma}^{ГРМЦБПЛА}$ связана с количеством БПЛА в этой группе $N_{ЛАij}$ через зависимости вида $U_{ij}^{Зад} = U_{ij}^{Зад}(N_{ЛА}^{ГР})$, которые для каждой i -й задачи определяются аналитическими выражениями, например для задачи разведки и целеуказания:

$$\bar{U}_{РЦ}^{ПОТР} = \bar{U}_{МЦ}^0 \cdot \bar{U}_{РЦ}^{\max} \cdot \frac{N_{ЛА}}{N_{ЛА}^0 \cdot A_{РЦ}} (N_{ЛА}^{ГР}),$$

где $U_{МЦ}^0$ — относительная эффективность решения задачи исследуемым многоцелевым БПЛА (насколько хуже он решает эту задачу по сравнению с оптимальным одноцелевым БПЛА);

$U_{РЦ}^{\max}$ — эффективность решения задачи оптимальным одноцелевым БПЛА;

$N_{ЛА}^0$ — количество многоцелевых БПЛА, обеспечивающих выполнение задачи с $\bar{U}_{МЦ}^0$;

$A_{РЦ}$ — количество одновременно функционирующих групп БПЛА;

$N_{ЛА}$ — количество многоцелевых БПЛА.

Для оценки альтернативных вариантов комплектации парков БПЛА, для любого заданного уровня выполнения задач $\bar{U}_i^{Зад}$, формируется база данных, представленная в виде матриц их стоимости и эффективности $N_{ЛАij}^{ГР} = N_{ЛАij}^{ГР}(U_i^{Зад})$, $C_{ij}^{ГР} = C_{ij}^{ГР}(N_{ЛА}^{ГР})$ (рис. 6).

На этапе исследования альтернативных вариантов парков разнотипных БПЛА производится их оценка с целью выбора наилучшего варианта по критерию наименьшей суммарной стоимости при заданной эффективности решения задач.

Формально процесс выбора сводится к процедуре прямого перебора всех возможных комплектаций парка, составленных из множества одноцелевых и многоцелевых БПЛА.

Необходимо отметить, что вся описанная процедура формирования парка БПЛА проводится на заданный временной срез t_3 , либо на заданный временной интервал $[t_0, \dots, t_3]$, на котором исходные тактико-технические и оперативно-тактические условия решения задачи остаются неизменными. При изменении данных условий с какого-либо момента t_n (совершенствование вооружения и военной техники, наращивание или сокращение противоборствующих сил, коррекция объемов и уровней задач и т.д.) решение формируется заново на интервале $[t_0, t_n]$.

Для поддержки процессов принятия данных решений в настоящее время разрабатываются

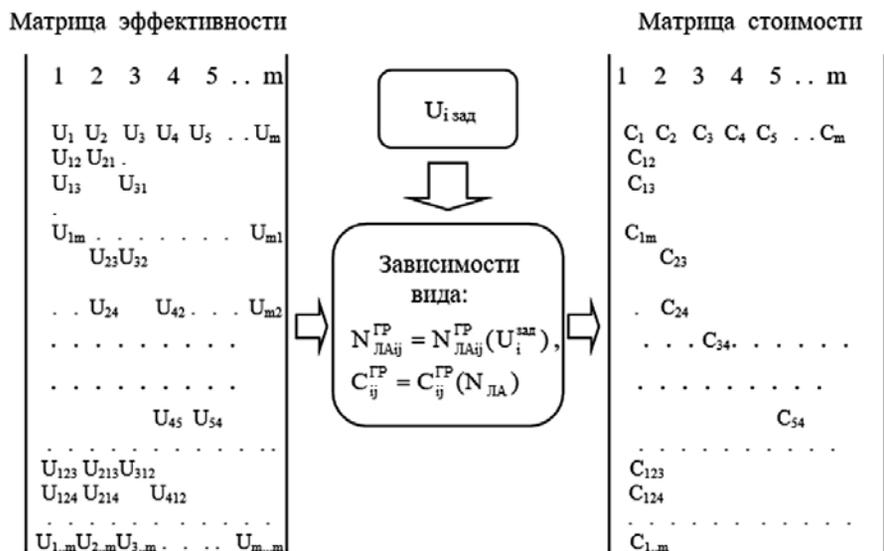


Рис. 6. Матрицы эффективности и стоимости при оценке альтернативных вариантов парков БПЛА

методы, модели и программные комплексы, позволяющие автоматизировать информационные технологии оперативного реагирования на изменяющиеся условия обстановки, в том числе на этапах разработки, комплекто-

вания и применения современных сложных пилотируемо-беспилотных интеллектуальных систем, учитывающие в том числе перспективные свойства авиационных комплексов, их обслуживания и вооружения [10, 11].

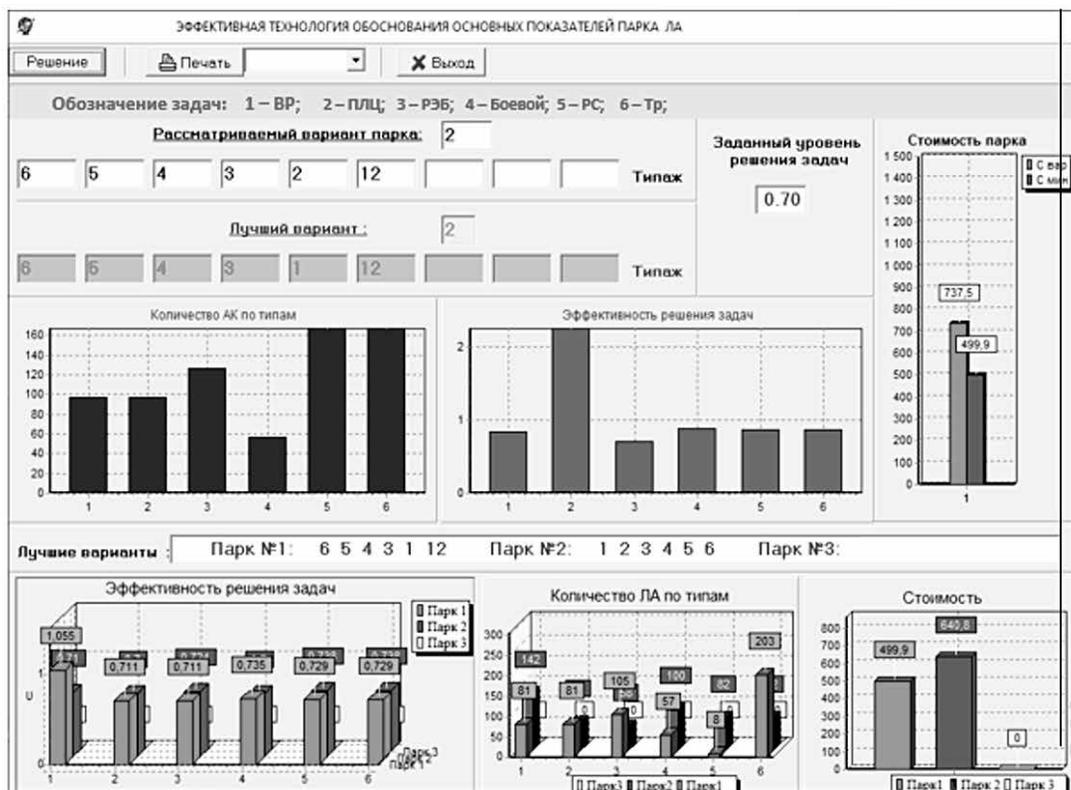


Рис. 7. Фрагмент аппаратно-программного комплекса автоматизированного формирования вариантов парков ЛА

Фрагмент аппаратно-программного комплекса автоматизированного формирования вариантов парков ЛА, предназначенных для решения заданной совокупности задач, представлен на рис. 7.

Проведенный анализ показал, что необходимы также оперативно-тактические модели (сценарии) совместного применения боевых ВК и БПЛА с описанием противодействующих как воздушных, так и наземных сил противника.

Выводы

В настоящее время боевая авиация находится на пороге серьезных организационно-технических преобразований. Включение в системы авиационного вооружения беспилотных летательных аппаратов, искусственного интеллекта, модульной авионики и других перспективных авиационных технологий позволяют объединять боевые ВК с БПЛА различного назначения, формируя пилотируемо-беспилотное взаимодействие.

Комплексное решение формирования парка БПЛА для их совместного применения с боевыми вертолетами в составе разведывательно-ударных контуров (комплексов) позволяет оперативно проводить мероприятия по созданию подразделений боевых ВК и БПЛА различного уровня интеграции, определять требуемую численность группировок ВК и БПЛА при проведении совместных операций, проводить оценку эффективности решения заданного перечня задач, возлагаемых на разведывательно-ударный контур (комплекс), планировать организационно-технические мероприятия по наземному обеспечению и управлению при проведении совместных операций боевых ВК и БПЛА.

Литература

1. Концепция взаимодействия пилотируемого и беспилотного ЛА в рамках выполнения боевой задачи // *Новости зарубежной науки и техники*. Серия: Авиационные системы. ГосНИИАС, 2022. № 9.

2. Основные направления модернизации вертолетов АН-64Е «Апач Гардиан». <https://www.thedrive.com/the-war-zone/this-is-what-the-ah-64-apes-new-extended-rotor-mast-does>, (дата обращения: 11.09.2023).

3. Reveal Technology Demonstrates Multi-Drone Mapping for US Army. <https://www.thedefensepost.com>, (дата обращения: 20.12.2022).

4. Разведывательно-ударный БПЛА «Golden Eagle». https://vpk.name/news/655133_kitaiskii_razvedyvatelyno-udarnyi_bpla_golden_eagle.html, (дата обращения: 21.04.2023).

5. Чабанов В.А. Китайские дроны вертолетного типа для роевых атак // *Новости зарубежной науки и техники*. ГосНИИАС, 2022. № 4.

6. Китай открывает новую страницу в истории беспилотников. https://vpk.name/news/621505_kitai_otkryvaet_novuyu_stranicu_v_istorii_bespilotnikov.html, (дата обращения: 22.09.2022).

7. Отчет об участии исследовательской группы и представителей промышленности в проведении апробации БПЛА вертолетного типа в составе комплекса «БАС-200» с различными целевыми нагрузками во взаимодействии вертолетными комплексами армейской авиации. АО «НЦВ Миль и Камов», 2022.

8. Кокурин Л.А., Парненков А.Е., Сизов А.В. Перспективные технологии и направления применения беспилотных авиационных систем с БПЛА различного назначения / *Материалы научно-практической конференции «Технологическое развитие авиационной техники: глобальные тенденции и национальные интересы России»*. М.: ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 2022.

9. Липский В. Комбинаторика для программистов. М.: Мир, 1988. 213 с.

10. Бельский А.Б., Шипко В.В., Самойлин Е.А. Перспективы развития и применения бортовых комплексов вертолетов армейской авиации // *Военная мысль*. 2021. № 7. С. 78–87.

11. Бельский А.Б. Системы технического зрения военных и специальных вертолетов. Задачи и направления развития // *Авиакосмическая техника и технология*. М. 2017. № 1, 2. С. 17–22.

УДК: 355/359

DOI: 10.53816/20753608_2024_1_39

**ЦЕЛЕВАЯ ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ НА БАЗОВЫХ КАФЕДРАХ
В ИНТЕРЕСАХ ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ**

**TARGETED TRAINING OF SPECIALISTS AT BASIC DEPARTMENTS
IN THE INTERESTS OF THE DEFENSE-INDUSTRIAL COMPLEX OF RUSSIA**

Чл.-корр. РАРАН А.Ю. Пронин

РАРАН

A.Yu. Pronin

Рассматриваются вопросы целевой подготовки квалифицированных гражданских специалистов на базовых кафедрах для научно-исследовательских организаций Минобороны и предприятий оборонно-промышленного комплекса России. Проанализирован опыт подготовки молодых специалистов на базовой кафедре ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России.

Ключевые слова: целевая подготовка, научные кадры, научно-исследовательская организация, базовая кафедра, подготовка молодых специалистов, базовое предприятие, интеграция образования, науки и промышленности, инженерное образование.

The issues of targeted training of qualified civilian specialists at basic departments for research organizations of the Russian Ministry of Defense and enterprises of the military-industrial complex are considered. The experience of training young specialists at the base department of the Federal State Budgetary Institution «46 Central Research Institute» of the Russian Ministry of Defense is analyzed.

Keywords: targeted training, scientific personnel, research organization, base department, training of young specialists, base enterprise, integration of education, science and industry, engineering education.

Современное образование отождествляется со «...слабой практической направленностью подготовки молодых специалистов...» [1]. Причем эта проблема далеко не сегодняшнего дня и существует еще с советских времен. Сложившаяся ситуация является, безусловно, проблемной, так как отражает противоречие, согласно которому требования экономики, производства по повышению качества практической подготовки системой образования не удовлетворяются существующей подготовкой специалистов в образовательных организациях.

Усиление практической составляющей профессионального образования сегодня, как один

из вариантов ее решения, намечено осуществить путем создания «базовых кафедр» в соответствии со статьями 27 и 72 Федерального закона от 29 декабря 2012 года № 273-ФЗ «Об образовании Российской Федерации», на базе иных организаций, осуществляющих деятельность по профилю соответствующей образовательной программы. Эти организации получили название «базовые предприятия (организации)» и позволяют обеспечить качественную практическую подготовку обучающихся при реализации образовательных программ [2, 3].

Базовые кафедры, по мнению автора, обладают следующими достоинствами:

– привлечение высококвалифицированных специалистов базового предприятия к учебному процессу, руководству практиками, курсовыми и дипломными проектами;

– базовое предприятие участвует в формировании учебных программ и планов, что позволяет готовить молодых специалистов «под себя»;

– учебный процесс «не оторван» от реального производства, так как часть практических занятий по дисциплинам проводится сотрудниками предприятия с использованием оборудования и других производственных фондов предприятия;

– сотрудники базового предприятия получают возможность развивать и совершенствовать себя при подготовке к занятиям со студентами;

– сотрудники отдела кадров предприятия получают уникальную возможность для отбора будущих сотрудников и мониторинга роста личностного, социального и производственного потенциала и знаний у студентов и абитуриентов;

– заключение целевого договора на обучение с предприятием, предусматривающего обработку обучающегося после окончания учебы на предприятии;

– предприятие получает специалиста, знакомого с оборудованием, технологиями, производственным процессом на предприятии, что исключает стажировочный, ознакомительный и адаптационный период;

– возникает возможность дополнительного стимулирования сотрудников предприятия, дети которых будут обучаться в рамках целевой подготовки, которая финансируется за счет средств федерального бюджета в рамках именных квот, проводимых через профильные министерства Российской Федерации, что также упрощает им поступление в вуз и получение высшего образования. Становится возможным формирование трудовых династий;

– высшее учебное заведение получает связь учебного процесса с производством, профессорско-преподавательский состав проникается проблематикой производства;

– в результате совместной работы в системе «вуз — предприятие» прорабатываются темы научно-исследовательских работ по направлениям деятельности предприятия.

Базовая кафедра, таким образом, становится одной из приоритетных форм развития взаимо-

действия в системе «вуз — базовое предприятие (организация)». Базовая кафедра представляет собой определенную концентрацию ресурсов, собственных и базового предприятия (организации), позволяющих повысить качество практической подготовки специалистов. Организация базовой кафедры на предприятии (организации) может рассматриваться через различные аспекты своей деятельности по повышению качества практической подготовки и в первую очередь, это приближение процесса подготовки к будущему рабочему месту, а также привлечение высококвалифицированных специалистов предприятия (организации) для практической подготовки, концентрация необходимых видов ресурсов для практической подготовки и др.

В настоящее время особо остро стоит проблема подготовки гражданских специалистов-практиков для научно-исследовательских организаций (НИО) Минобороны и организаций оборонно-промышленного комплекса (ОПК) России.

В течение ряда лет НИО Минобороны России комплектовались выпускниками военно-учебных заведений, проходивших обучение по специальным программам. Гражданские специалисты для военных НИО вообще целенаправленно не готовились, но такое положение было до 2017 года [4]. А поскольку в течение 2006–2015 гг. во многих НИО количество научно-исследовательских отделов сокращено более чем в 1,5 раза, количество научных сотрудников сократилось в 2–3 раза, при этом количество направлений исследований увеличилось на 10 %, и в последние годы, когда активизировались исследования по передовым инновационным направлениям, проблема кадров в НИО Минобороны России значительно обострилась [5].

В результате сложилась ситуация, когда по отдельным направлениям исследований НИО пытаются самостоятельно найти пути решения предстоящих проблем, особенно связанных с новыми задачами: развитие информационных технологий, внедрение систем с элементами искусственного интеллекта, цифровизация предприятий ОПК и др.

Представляется, что подготовку гражданских специалистов целесообразно организовать путем государственного заказа, согласованного с заинтересованными органами и организациями.

С этой целью ведущие высшие учебные заведения России для подготовки специалистов определенной направленности непосредственно на предприятиях ОПК и в НИО начинают создавать базовые кафедры.

Некоторые предприятия и организации уже пошли по этому пути. Например, решением ученого совета ФГБОУ ВО «Российский технологический университет – МИРЭА» в марте 2016 года создана базовая кафедра «Менеджмент в сфере систем вооружений». Инициатором создания базовой кафедры, при поддержке руководства Министерства обороны Российской Федерации, было ФГБУ «46 Центральный научно-исследовательский институт» Министерства обороны Российской Федерации (ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России) — ведущая военно-научная организация Министерства обороны Российской Федерации по проблематике обоснования военно-технической политики государства, проведения исследований по технико-экономическому обоснованию проектов государственной программы вооружения и государственного оборонного заказа [6–10].

Целью функционирования базовой кафедры ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России является реализация образовательного процесса в интересах подготовки специалистов для НИО Минобороны России и организаций ОПК, владеющих необходимыми компетенциями, для самостоятельной профессиональной деятельности. Основная особенность обучения на базовой кафедре ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России — обеспечение практической направленности подготовки за счет привлечения к образовательному процессу высококвалифицированных специалистов-практиков.

Для реализации данной цели базовой кафедрой ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России совместно с образовательной организацией ФГБОУ ВО «Российский технологический университет — МИРЭА» решаются следующие задачи:

– проведение всех видов учебных занятий по дисциплинам, закрепленным за базовой кафедрой, руководство самостоятельной работой обучающихся, проведение текущего контроля знаний, зачетов и экзаменов;

– организация и проведение всех видов практик обучающихся в организации с исполь-

зованием технологических возможностей предприятия;

– руководство курсовыми и дипломными работами обучающихся;

– руководство исследовательской работой обучающихся.

Осуществляется проведение учебно-методической работы, в том числе:

– участие в разработке учебных планов для подготовки специалистов по соответствующим направлениям;

– разработка на основе федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования и учебных планов, рабочих программ по закрепленным за базовой кафедрой дисциплинам;

– подготовка учебников, учебно-методических пособий по дисциплинам кафедры.

В настоящее время базовая кафедра ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России ведет подготовку студентов по очной форме обучения на базе среднего (полного) общего образования в соответствии с образовательной программой высшего образования — программой бакалавриата — по направлению подготовки 27.03.05 «Инноватика» и профилю «Менеджмент в сфере систем вооружений» [7].

Профессиональный отбор на данную специальность производится среди студентов первого и второго курсов в виде собеседования.

Подготовка студентов осуществляется по следующим дисциплинам [7]:

– теория военно-технических систем;

– основы каталогизации и стандартизации оборонной продукции;

– военно-техническое оснащение Вооруженных Сил Российской Федерации;

– военная экономика;

– организация управления предприятиями оборонно-промышленного комплекса;

– информационное обеспечение военно-технических систем;

– создание научно-технического задела для военно-технических систем;

– создание нетрадиционных военно-технических систем;

– управление качеством оборонной продукции;

– управление правами на результаты интеллектуальной деятельности;

– программно-целевое планирование системы вооружения;

– основы военно-технической политики Российской Федерации;

– основы теории и организации специального управления.

Кафедра является выпускающей. Образовательная программа (ОП) направления «Инноватика» (квалификация (степень) «бакалавр») имеет своей целью развитие у студентов личностных качеств, а также формирование общекультурных (универсальных), профессиональных и профильных компетенций в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) для подготовки профессиональных менеджеров в сфере систем вооружений и специалистов по управлению технологическими и продуктовыми инновациями в соответствии с потребностями рынка труда.

Студенты базовой кафедры с первого и до последнего курса получают широкий спектр знаний по различным направлениям. Для реализации учебного процесса привлекается профессорско-преподавательский состав двадцати одной кафедры РТУ МИРЭА. Организовано обучение по 30 дисциплинам (модулям) базовой части ОП (история, философия, иностранный язык, экономика, физика, химия и материаловедение, теоретическая инноватика, основы менеджмента, методы принятия управленческих решений, управление инновационной деятельностью и др.), 19 обязательным дисциплинам вариативной части ОП (исследовательская и изобретательская деятельность в инноватике, патентоведение и основы научно-исследовательской работы, автоматизация производственных процессов, финансовое обеспечение инновационной деятельности, основы робототехники и гибкие производственные системы, управление качеством и конкурентоспособностью и др.), 21 дисциплине вариативной части ОП по выбору (экономика предприятия или управление предприятием, бизнес-планирование или стратегический менеджмент, деловое общение или бизнес-риторика, алгоритмы решения нестандартных задач или методы оптимальных решений и др.).

В течение 4 лет у студентов предусмотрены 3 практики, причем, первая из них — по получению первичных профессиональных умений и

навыков — проходит в конце 1 курса на предприятиях и в организациях. Две другие — организационно-управленческая и преддипломная практика — проходят под руководством ведущих специалистов ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России и других организаций ОПК, и посвящены решению конкретных задач, стоящих перед соответствующими организациями ОПК — потенциальными работодателями.

Студенты на третьем и четвертом курсах выполняют по основным дисциплинам 4 курсовые работы. За 4 года обучения студенты сдают более 60 зачетов и экзаменов.

Государственная итоговая аттестация предусматривает выполнение и защиту выпускной квалификационной работы.

В результате освоения программы обучения на базовой кафедре у выпускника формируются общекультурные, общепрофессиональные и профессиональные компетенции, т.е. способности применять знания, умения и личные качества в соответствии с задачами профессиональной деятельности [10].

Используя полученные знания, выпускники базовой кафедры в своей дальнейшей работе смогут:

– проводить научные исследования по различным направлениям;

– проводить диссертационные исследования;

– осуществлять военно-научное сопровождение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, выполняемых организациями ОПК, Российской академии наук и высшей школы;

– формировать отчетную научно-техническую документацию;

– готовить расчетно-калькуляционные материалы;

– участвовать в изобретательской, рационализаторской и патентно-лицензионной работе;

– работать в коллективах ученых;

– координировать научно-исследовательскую деятельность в сфере взаимоотношения: органы военного управления — научно-исследовательские организации Минобороны России — предприятия ОПК.

В других вузах Российской Федерации подготовка по аналогичному профилю в настоящее время не проводится.

Планируется, что выпускники кафедры, подготовленные «целевым порядком», распределяются в НИО Минобороны России, предприятия (организации) ОПК (в научные подразделения, подразделения программно-целевого планирования, управления качеством, организационно-плановые и т.п.), в органы военного и государственного управления.

За период 2017–2023 гг. кафедрой подготовлено 30 специалистов, из них 16 трудоустроены в ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России, АО «Российские космические системы», АО «РусБиТех» и другие организации.

Равным образом вне целевого порядка — «свободный диплом», но получая необходимые первоначальные знания и опыт выпускники смогут по запросу либо самостоятельно распределиться как в органы государственного управления, так и в научно-технические, экономические подразделения предприятий (организаций), занимающихся по роду своей деятельности вопросами, связанными с разработкой оборонной продукции.

Литература

1. Базовая кафедра вуза как основа развития территориальных систем профессионально-педагогического образования: коллективная монография [под ред. Г.Н. Жукова, В.Т. Сопегиной, Е.А. Шакуто]. Уфа: АЭТЕРНА, 2018. 290 с.

2. Кудж С.А., Голованова Н.Б. О совершенствовании механизмов подготовки научно-педагогических кадров и перспективы целевого обучения в интересах вузов // Российский технологический журнал. 2020. № 8 (4). С. 112–128.

3. Коломеец Е.Н., Гриб Е.В. Взаимодействие с вузами как способ формирования квалификационного кадрового состава предприятия // *Transport business in Russia*. 2017. № 1. С. 59–61.

4. Викулов С.Ф., Буренок В.М. Проблемы кадровой политики в обеспечении научного развития военной организации России // *Военная мысль*. 2017. № 7. С. 2–9.

5. Викулов С.Ф., Косенко А.А., Хрусталев Е.Ю. Кадровое обеспечение обороноспособности страны // *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. 2017. Том 13. Вып. 1. С. 4–17.

6. <https://ens.mil.ru/science/SRI/information.htm?id=11391@morfOrgScience> (дата обращения: 21.10.23).

7. <https://www.mirea.ru/education/the-institutes-and-faculties/institut-tekhnologii-upravleniya/struktura-instituta/bazovaya-kafedra-menedzhmenta-v-sfere-sistem-vooruzheniy> (дата обращения: 21.10.23).

8. Боков С.И., Серебряков К.Г., Полярус А.Н. Целевая подготовка специалистов на базовой кафедре 46 ЦНИИ Минобороны России // *Вестник воздушно-космической обороны*. 2018. № 4 (20). С. 6–13.

9. Боков С.И., Серебряков К.Г., Полярус А.Н. Научная составляющая особенности подготовки специалистов на базовых кафедрах вузов // *Вестник военного образования*. 2018. № 1 (10). С. 26–30.

10. Боков С.И., Серебряков К.Г., Гладышевский В.Л., Стифеев А.Л., Полярус А.Н. Базовые кафедры при ВУЗах как направление развития кадрового обеспечения научно-исследовательских организаций Минобороны России // *Военная мысль*. 2018. № 7. С. 55–65.

УДК: 623.36

DOI: 10.53816/20753608_2024_1_44

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МИННЫЕ ПОЛЯ:
К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ**

INTELLIGENT MINES: TO THE QUESTION OF EFFICACY EVALUATION

Академик РАРАН Р.А. Дурнев¹, чл.-корр. РАРАН Е.В. Свиридок¹, А.В. Попов²

¹РАРАН, ²АО «НИИИ»

R.D. Durnev, E.V. Sviridok, A.V. Popov

В статье рассматриваются интеллектуальные минные поля, представляющие собой систему мин и средств автоматизации их применения, и позволяющие распознавать характеристики целей и в автоматическом режиме определять рациональный порядок их поражения. Показано, что в качестве показателя их эффективности может использоваться вероятность поражения цели на mine, зависящая в том числе от опасного интервала, в качестве которого может рассматриваться диаметр зоны сплошного поражения. Использование интеллектуальных минных полей позволит увеличить потери живой силы и техники противника, снизить ущерб для своих сил и средств, сэкономить инженерные боеприпасы на минных полях.

Ключевые слова: технологии искусственного интеллекта, минно-взрывные заграждения, интеллектуальные минные поля, танк, пехотинец, опасный интервал, зона сплошного поражения.

The article discusses the intelligent minefields are considered, which are a system of mines and means of automating their use, and allowing to recognize the characteristics of targets and automatically determine the rational order of their destruction. It is shown that the probability of hitting a target on a mine can be used as an indicator of their effectiveness, depending, among other things, on the dangerous interval, which can be considered the diameter of the zone of continuous destruction. The use of intelligent minefields will increase the loss of enemy manpower and equipment, reduce damage to friendly forces and equipment, and save engineering ammunition in minefields.

Keywords: artificial intelligence technologies, minefields, intelligent minefields, tank, infantryman, dangerous interval, zone of continuous destruction.

Под интеллектуальным минным полем (ИМП) понимается в соответствии с [1] система мин и средств автоматизации их применения, позволяющая распознавать характеристики целей (сейсмическими, акустическими, магнитными, оптическими и другими датчиками) и в автоматическом режиме определять рациональный порядок их поражения.

Упомянутые две составляющие — распознавание характеристик целей и определение по-

рядка их поражения — должны реализовываться без участия человека. Для этого предполагается применение технологий искусственного интеллекта (ТИИ), например искусственных нейронных сетей (ИНС) и экспертных систем. ИНС могут использоваться для установления:

- вида целей — техника или живая сила;
- состава целей — одиночная техника и военнослужащие, группа техники, подразделение военнослужащих;

– типа целей: для техники — бронетехника, военные грузовые автомобили, средства инженерного вооружения (в будущем — с точностью до марки образца — танк «Абрамс» М1А2, БМП М2А3 «Бредли» и т.п.), для живой силы — тип подразделения (пехотное, автомобильное, специального назначения и т.п., тип индивидуальной бронезащиты военнослужащих);

– текущие координаты и вектора скоростей движения всех целей.

Различные экспертные системы на базе, например, нечетких процессоров могут применяться для определения рационального порядка использования мин в составе всего минного поля, в том числе:

– тип применяемых мин (противопехотные фугасные, осколочные, направленного действия и т.п., противотанковые противогусеничные, противоднищевые, противобортовые и др.);

– время подрыва конкретных мин.

Такое интеллектуальное минное поле будет выполнять следующие функции:

– распознавание датчиками мин или отдельной системой датчиков типа целей, их координат и векторов скорости движения;

– определение, исходя из типов целей, геометрических параметров расположения моторных отсеков, днища, гусениц, элементов индивидуальной броневой защиты военнослужащих;

– определение состава мин, которые необходимо привести в боевое состояние;

– непрерывное определение расстояния от центра мин до центров целей;

– инициирование подрыва мин в зависимости от состояния целей и самих мин.

При этом нужно отметить то, что использование на интеллектуальном минном поле существующих традиционных («неинтеллектуальных») мин практически невозможно. Их модернизационный потенциал крайне ограничен, и доработка таких инженерных боеприпасов в направлении их «интеллектуализации» приведет, фактически, к созданию новых образцов оружия.

Конечно, на начальных этапах создания таких полей возможно усовершенствование взрывателей и других составных частей существующих мин, таким образом, чтобы на них поступала и обрабатывалась информация о характеристиках целей и времени их поражения, т.е. включения в их состав устройств для опреде-

ления момента инициирования мины с учетом соотношения координат цели и мины. Но в этом случае эффективность ИМП незначительно, как представляется, превзойдет традиционные минные поля в связи в основном с тем, что не возрастут размеры зон поражения отдельных мин. Они по-прежнему будут определяться количеством взрывчатого вещества и размерами датчика целей — например, длиной штыревой антенны для противоднищевых мин типа ТМК-2 или диаметром крышки взрывателя противогусеничных мин типа ТМ-62.

Поэтому имеет смысл говорить о новом облике будущих мин. И одной из характерных черт такого облика будет являться, на наш взгляд, их «нестационарный» характер поражения. Так, например, вместо противоднищевой мины с вертикальной кумулятивной струей можно в будущем создать инженерный боеприпас, у которого данная струя может воздействовать на преграду под различными углами. Это позволит значительно увеличить зону поражения целей.

Еще в большей степени увеличит эту зону конструкция мины, которая позволит самостоятельно приближаться к цели, например за счет выброса боевой части из места установки в направлении цели (по баллистической или реактивной траектории). При этом, в отличие от противобортовых мин типа ТМ-83, перспективные мины должны поражать не только с бокового ракурса в борт, но и с верхней полусферы, и с других ракурсов. В данном случае зона сплошного поражения будет определяться не столько координатными и параметрическими законами взрыва, сколько дальностью действия такой мобильной мины.

Существенное приращение эффективности может быть достигнуто при создании универсальных мин, которые смогут поражать и днище, и гусеницы, и борта, и крышу техники. Так, например, возможно предусмотреть конструкцию мины с фугасной и кумулятивной частями, подрыв которых будет осуществляться исходя из того, какая часть техники будет находиться над миной — гусеница, колесо или днище. Добавление в эту конструкцию возможности реактивного движения позволит обеспечить всеракурсность поражения техники и т.п. В этой связи работы по созданию интеллектуальных минных полей должны предусматривать и эти направления совершенствования инженерных боеприпасов.

Априорно можно предположить, что использование ТИИ в составе минно-взрывных заграждений (МВЗ) позволит увеличить потери живой силы и техники противника, снизить ущерб для своих сил и средств, сэкономить инженерные боеприпасы на минных полях. Для предварительной оценки достигаемого выигрыша необходимо рассмотреть вероятность поражения цели на mine P_m , которая определяется следующим образом [2]:

$$P_m = P_{\text{встр}} \cdot P_{\text{сраб}} \cdot P_{\text{пор}}, \quad (1)$$

где $P_{\text{встр}}$ — вероятность встречи цели с миной;
 $P_{\text{сраб}}$ — вероятность срабатывания взрывателя и взрыва мины;
 $P_{\text{пор}}$ — вероятность поражения цели при взрыве мины.

В формуле (1) и некоторых последующих оценка различных вероятностных показателей приведена при условии независимого друг от друга действия мин. Данное допущение представляется вполне адекватным не только для традиционных МВЗ, как в [2], но и для ИМП. Очевидно, что в алгоритме применения интеллектуальных полей необходимо, например, предусмотреть, чтобы несколько интеллектуальных мин не подрывались для поражения одной цели в случае, если для этого достаточно одной из них (для экономии боеприпасов). Да и в целом, явную зависимость действия мин друг от друга нужно учитывать только в некоторых специфичных случаях, к примеру — когда одной мины недостаточно для поражения цели и требуется применение других.

Анализируя зависимость (1), можно предположить, что вероятность срабатывания взрывателя и взрыва мины $P_{\text{сраб}}$ определяется в основном конструктивными и функциональными особенностями мины и ее взрывателя (в том числе их надежностью) и не зависит от ТИИ в том смысле, как это понимается в настоящей статье. Для увеличения данной вероятности какие-то виды ТИИ тоже могут применяться (например, для проектирования мин), но это не относится к эффективности их боевого применения.

А вот другие величины в формуле (1) — напрямую зависят от данных технологий. Так, $P_{\text{встр}}$ зависит от тактики применения мин. Например, возможно предусмотреть подрыв мины не только под гусеницей, но и под любой частью

днища, или не только при задевании проволочной растяжки, а при вхождении в зону сплошного поражения. Также и событие, связанное с поражением цели при взрыве мины, можно сделать практически достоверным, если, к примеру, определить тип цели, расположение моторного отсека и осуществить подрыв при прохождении наиболее уязвимой части техники (днище в районе моторного отсека) над миной.

Вероятность встречи цели с миной на одном ряду минного поля равна [2]:

$$P_{\text{встр}} = \frac{z \cdot Q_1}{B}, \quad (2)$$

где z — опасный интервал, м;
 Q_1 — количество мин в ряду, ед.;
 B — длина ряда минного поля, м.

Отношение количества мин в ряду к длине ряда минного поля характеризует его плотность (или среднее расстояние между минами в ряду L). Этот показатель задается на этапе устройства минного поля, не зависит от того, как подрываются мины, от тактики применения минного поля, т.е. фактически не влияет на эффективность боевого применения (именно этапа непосредственного применения) и не чувствителен к параметрам рассматриваемых ТИИ.

Опасный интервал z характеризует протяженность участка такого взаимного расположения цели и мины, когда датчик цели последним получает воздействие, достаточное для ее срабатывания [2] (например, при наезде гусеницы на контактный датчик взрывателя противогусеничной мины).

Для противотанковых противоднищевых мин опасный интервал равен [2]:

$$z = a + b_m, \quad (3)$$

где a — диаметр активной части датчика цели, м;
 b_m — ширина танка, м.

Для указанных мин величина a может определяться из рис. 1.

Для многих противоднищевых мин (например, кумулятивных ТМК-2) датчик цели мины представляет собой штыревую антенну, которая наклоняется при соприкосновении ее с днищем техники. Взрыватель обеспечивает замедление на 0,3–0,45 с, чтобы взрыв происходил под серединой машины. При этом диаметр a зависит,

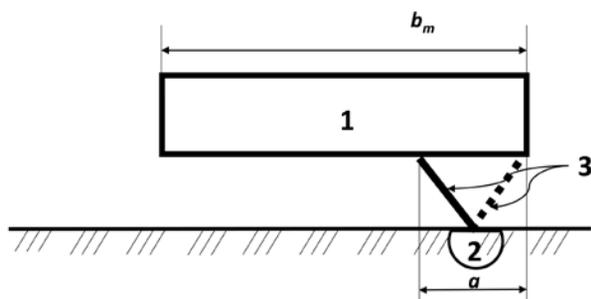


Рис. 1. Схема для определения величины диаметра активной части датчика цели (а) противотанковой мины: 1 — днище; 2 — противотанковая мина; 3 — датчик цели мины

как видно из рис. 1, от соотношения клиренса и длины этой антенны.

Отношение опасного интервала z к среднему расстоянию между минами в ряду, выражение (2) — это не что иное, как мера объективной возможности встречи с миной с точки зрения геометрического определения вероятности (рис. 2):

$$P_{\text{встр}} = \frac{z}{L}.$$

Говоря об опасном интервале для противотанковой мины на ИМП, можно предположить, что вместо a в формуле (3) нужно учитывать диаметр зоны сплошного поражения D или расстояние между минами L (минимальную из этих величин), которые могут быть в несколько раз больше диаметра активной части датчика цели.

Для оценки приращения одной из величин в выражении (1) — вероятности встречи цели с миной — примем расстояние между минами в ряду противотанкового минного поля равным от 4 до 10 м (в среднем 7 метров) [3, 4], диаметр

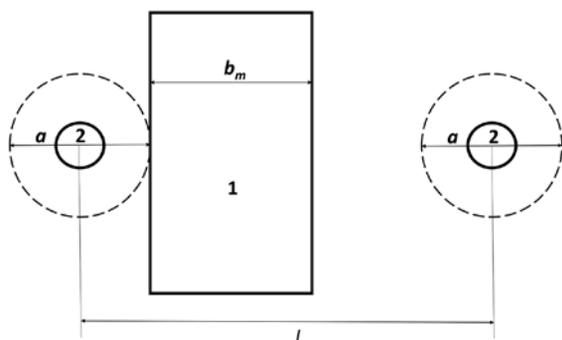


Рис. 2. Схема для определения вероятности встречи с противотанковой миной (обозначения как в рис. 1)

активной части датчика — 0,6 м, а ширину танка 3,5 метра. С учетом этого данное приращение будет:

$$P_{\text{встр}} = \frac{L - z}{L} = \frac{7 - (0,6 + 3,5)}{7} = 0,41,$$

т.е. более 40 %. По всей видимости, отсутствие такого демаскирующего признака, как штыревая антенна, еще в большей степени увеличит рассматриваемую вероятность.

При этом если применяются универсальные (всеракурсные) мины, то экономию инженерных боеприпасов можно будет определить из отношения, например, 50 м (оценка радиуса зоны поражения современной противобортовой мины) к 7 м (среднее расстояние между минами в ряду), т.е. более чем в 7 раз. Данную оценку экономии боеприпасов можно скорректировать с учетом стоимости традиционных и перспективных мин.

Аналогичные рассуждения можно привести и для противогусеничных мин. Так, опасный интервал для них определяется в [2] следующим образом (в соответствии с рис. 3):

$$z = 2(a + b),$$

где a — диаметр активной части датчика цели (крышки взрывателя), м;

b — ширина гусеницы танка, м.

Или, в соответствии с рис. 4:

$$z = 2(b + d - 2q),$$

где q — перекрытие мины гусеницей, при котором не происходит срабатывание мины, м.

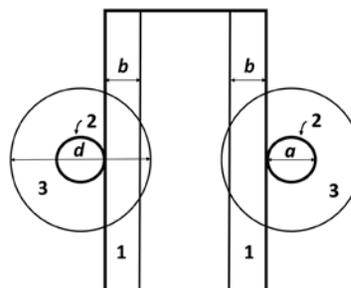


Рис. 3. Схема для определения вероятности встречи с противогусеничной миной: 1 — гусеница; 2 — крышка взрывателя; 3 — противогусеничная мина; d — диаметр мины

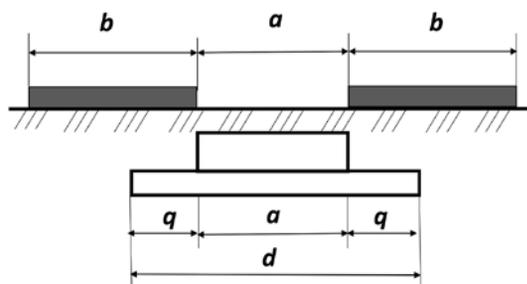


Рис. 4. Дополнительная схема для определения вероятности встречи с противогусеничной миной

Очевидно, что приращение вероятности встречи с противогусеничной миной будет обусловлено тем, что при наезде не только на крышку взрывателя, но и на любую часть мины может произойти подрыв и поражение. В этой связи если принять, что $b = 0,63$ м, $d = 0,32$ и $q = 0,12$, то

$$P_{\text{встр}} = \frac{2(b+d) - 2(b+d-2q)}{L} = \frac{2(0,63+0,32) - 2(0,63+0,32-2 \cdot 0,12)}{7} = 0,07.$$

Если учесть, что $P_{\text{встр}}$ для мины типа ТМ-62 составляет, в соответствии с [2], 0,2, то приращение в 0,07 — это более чем 30 %.

Для противопехотных мин с нажимными датчиками цели против переползающего или бегущего пехотинца опасный интервал равен [2]:

$$z = a + b_n,$$

где a — диаметр активной части датчика цели, м;
 b_n — ширина тела пехотинца, м.

Поскольку для ряда существующих противопехотных нажимных мин диаметр датчика цели равен диаметру самой мины, то прирост вероятности встречи будет обусловлен тем, что опасный интервал будет равен диаметру зоны сплошного поражения, что намного больше диаметра мины. Подрыв такой мины при вхождении живой силы в зону сплошного поражения значительно увеличит эффективность поражения и снизит расход инженерных боеприпасов на ИМП.

Для противопехотных мин с датчиками цели в виде натяжных проволок или нитей опасный интервал определяется, в соответствии с [2], как

$$z = a + \frac{b_n}{2},$$

где a — длина натяжной проволоки или нити, м.

Из рис. 5 видно, что приращение вероятности будет определяться соотношением длины проволоки растяжки и радиуса зоны сплошного поражения. Если эти величины равны, то приращение вероятности, как кажется на первый взгляд, будет равно нулю.

Но в то же время очевидно, что данное соотношение равно единице только при траектории движения военнослужащего, перпендикулярной линии растяжки (в этом случае длина растяжки равна опасному интервалу, см. рис. 6, обозначения аналогичны рис. 5).

При других углах траектории соотношение пересекаемой длины растяжки и диаметра сплошного поражения будут меньше единицы (рис. 7, а) и прирост вероятности встречи с интеллектуальной миной будет значительный. Если же интеллектуальную мину приводить в действие при любом пересечении зоны сплошного поражения (рис. 7, б), то $P_{\text{встр}} \rightarrow 1$ (особенно при отсутствии такого демаскирующего признака, как натяжная проволока).

Вероятность поражения цели при взрыве мины $P_{\text{пор}}$ (третий множитель в выражении (1)) зависит от соотношения параметров взрывных явлений (избыточного давления ударной волны, удельной плотности взрыва, скорости детонации, дальности и скорости

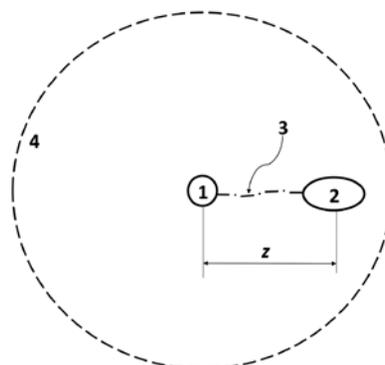


Рис. 5. Схема для определения вероятности встречи пехотинца с противопехотной миной с датчиками цели в виде растяжек: 1 — мины; 2 — пехотинец; 3 — растяжка; 4 — граница зоны сплошного поражения

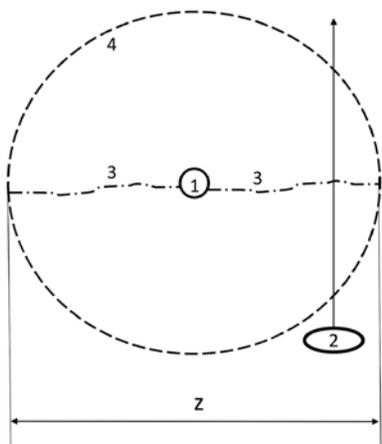


Рис. 6. Схема для определения вероятности встречи пехотинца с миной при перпендикулярной траектории движения

разлета обломков и поражающих элементов и т.п., т.е. параметрических и координатных законов поражения) и уязвимости поражаемых объектов, определяемых толщиной бронирования, сечением траков гусеницы, геометрией поверхности отражения и др. Очевидно, что на уязвимость объектов противника влияние оказано быть не может, поэтому приращение вероятности поражения цели может быть обеспечено за счет увеличения радиуса зоны сплошного поражения цели. Это, как говорилось ранее, может достигаться конструкцией будущей мины, определяющей дальность ее перемещения (выброса, полета и т.п.), направление действия по-

ражающих факторов (угол воздействия кумулятивной струи), ракурс поражения (в днище, борт, верхнюю полусферу). Но не меньшую роль будет играть и рациональный порядок подрыва мин [1]. Например, можно предусмотреть подрыв противоднищевой мины в месте расположения моторного отсека или нахождения боекомплекта. За счет этого $P_{пор}$ можно значительно приблизить к единице.

Очевидно, зная вероятность поражения цели на mine $P_{мв}$ можно установить вероятность подрыва цели на минном поле. Для этого примем допущение о том, что цель передвигается на минном поле по траектории если не перпендикулярно линии ряда мин, то хотя бы не допускающей пересечения одновременно нескольких мин в ряду (см. рис. 8).

Аналогичное рассуждение может быть сделано и для зон сплошного поражения мин — вероятность одновременного попадания движущейся цели в зону сплошного поражения двух и более мин сколь угодно близка к нулю (в большей степени это справедливо при отсутствии перекрытия зон сплошного поражения — см. рис. 9).

С учетом вышесказанного и в соответствии с [2] вероятность поражения цели на минном поле $P_{мп}$ равна:

– для одинаковых рядов мин:

$$P_{мп} = 1 - (1 - P_m)^n;$$

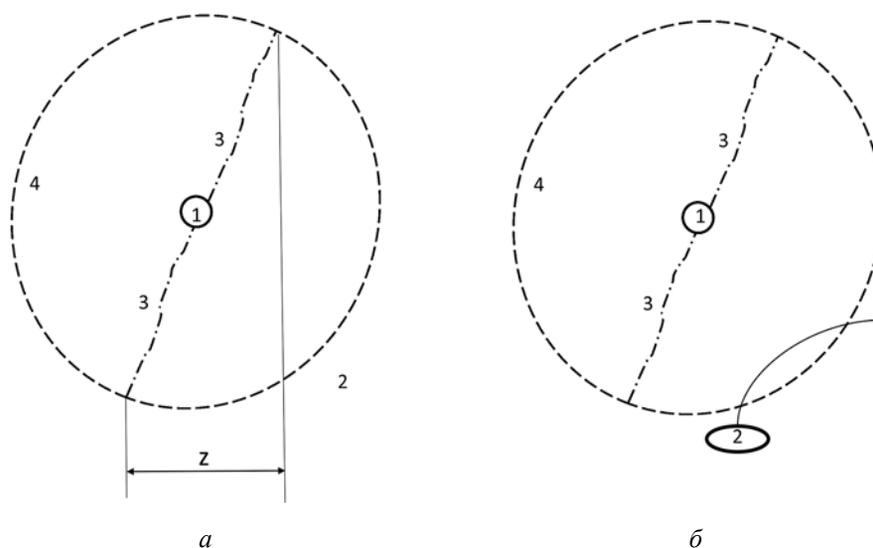


Рис. 7. Схема для определения вероятности встречи пехотинца с миной при произвольной траектории движения

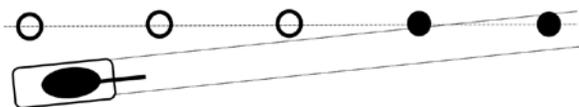


Рис. 8. Взаимное расположение траектории движения бронетехники и линии ряда мин (черным обозначены пересекаемые мины)

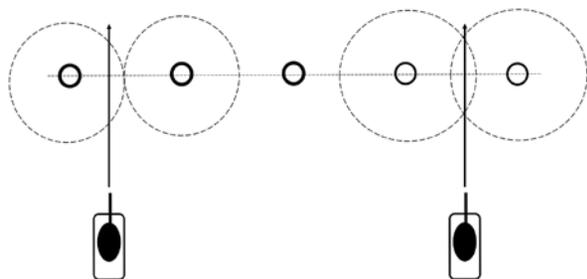


Рис. 9. Взаимное расположение траектории движения бронетехники и зон сплошного поражения мин (обозначены пунктиром)

– для разных рядов мин:

$$P_{мп} = 1 - \prod_{i=1}^I (1 - P_{mi}),$$

где P_{mi} — вероятность поражения цели на mine в i -м ряду;

$i = 1, 2, \dots, I$ — номер ряда минного поля.

Кроме вероятности поражения цели на минном поле эффективность данных МВЗ может быть оценена математическим ожиданием потерь $m_{п}$ [2]:

– для одинаковых целей

$$m_{п} = K \cdot P_{м};$$

– для разных целей

$$m_{п} = \sum_{j=1}^J K_j \cdot P_{mj},$$

где K — количество целей типа;

K_j — количество целей j -го типа;

P_{mj} — вероятность поражения целей j -го типа на минном поле;

$j = 1, 2, \dots, J$ — номер типа цели.

Также возможно определить вероятность поражения заданного количества целей на минном поле ($P_{s;K}$) [2]:

$$P_{s;K} = C_K^s \cdot P_m^s \cdot (1 - P_m)^{K-s};$$

$$C_K^s = \frac{K!}{s!(K-s)!},$$

где s — заданное количество целей, которое должно быть поражено на минном поле, и ряд других показателей (вероятность поражения не менее заданного количества целей, коэффициент снижения темпа наступления противника и т.п., [2]), которые так или иначе зависят от P_m , т.е. вероятности поражения цели на mine. Поэтому предварительная нижняя оценка прироста в 30–40 % может быть использована и при сравнении эффективности ИМП и традиционных МВЗ в целом. Очевидно, что реализация рационального порядка использования отдельных интеллектуальных мин, как показано в [1], даст еще большее приращение (своего рода синергию). Для этой оценки представляется необходимым разработка имитационной агентной модели функционирования минного поля, в которой в качестве различных агентов могут быть представлены мины и цели.

Использование такой модели позволит оценить эффективность интеллектуального минного поля в широком диапазоне условий и способов его применения. Соотнесение эффективности и стоимости традиционных и интеллектуальных минных полей позволит, в свою очередь, получить адекватную оценку военно-экономического эффекта от применения таких перспективных минно-взрывных заграждений.

Литература

1. Дурнев Р.А., Свиридок Е.В., Попов А.В. Интеллектуальные минные поля: размышления о тактической целесообразности применения // Известия РАН. 2023. № 4 (129). С. 132–139.
2. Саламахин Т.М., Мякишев Б.А., Ротт О.Е. и др. Заграждения, их устройство и преодоление в бою и операции. Часть I. Основы применения взрыва для решения военно-инженерных задач при ведении боевых действий, применение, устройство и боевая эффективность заграждений в бою и операции. Учебник. М.: Изд-во «Общевойсковая академия ВС РФ», 2013.
3. Манин А.А., Тирон Л.И. Инженерное обеспечение: учебник / под общ. ред. А.А. Манина. Новосибирск: НВВКУ, 2021.
4. Наставление по военно-инженерному делу для Советской армии. М.: Воениздат, 1982.

УДК: 355.469.34

DOI: 10.53816/20753608_2024_1_51

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГРУППОВОГО ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

PROCEDURE FOR EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF GROUP USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES

Академик РАН В.П. Кутахов, Г.Н. Настас, А.Е. Титов, А.Л. Смолин

НИЦ «Институт им. Н.Е. Жуковского»

V.P. Kutakhov, G.N. Nastas, A.E. Titov, A.L. Smolin

В статье проведен обзор существующих подходов к определению эффективности применения образцов вооружения, военной техники и воинских формирований. Выбран критерий и показатель эффективности группового применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Приведена разработанная методика оценки эффективности группового применения БПЛА при поражении групповых наземных целей противника. **Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, группа, групповое применение, эффективность.

The article provides an overview of existing approaches to determining the effectiveness of the use of weapons, military equipment and military formations. A criterion and an indicator of the effectiveness of the group use of unmanned aerial vehicles have been selected. The developed methodology for evaluating the effectiveness of group use in defeating group ground targets of the enemy is presented.

Keywords: unmanned aerial vehicle, group, group application, efficiency.

Массовое применение комплексов с беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) в современных вооруженных конфликтах доказало на практике их высокую боевую эффективность. Опыт применения беспилотной авиации убедительно показывает, что при относительно невысокой стоимости БПЛА их применение может влиять на ход и даже исход боевых действий.

Когда рассматривают групповое применение летательных аппаратов, часто смешиваются два понятия: полет строем, как в строго определенном взаимном расположении летательных аппаратов при их совместном полете, и групповое применение БПЛА, как вид боевых действий, предполагающий решение единой боевой задачи путем рациональной перегруппировки при взаимном информационном, помеховом и огневом взаимодей-

ствии в группе летательных аппаратов. При этом следует выделить основные преимущества группового (коллективного) применения БПЛА: массированное применение средств, больший пространственный охват, возможность реконфигурации группы в полете в зависимости от текущей ситуации и при потере летательных аппаратов, возросший набор выполняемых функций, более высокая вероятность выполнения задания, достигаемую за счет возможности перераспределения целей между элементами группы, быстрота реагирования при изменении обстановки, взаимное прикрытие при противодействии противника.

Группу (коллектив) БПЛА можно охарактеризовать основными свойствами, влияющими на эффективность применения: количественно-качественным составом, иерархией построения,

способами управления, уровнем интеллектуализации и автономности, способами и тактическими приемами применения.

При оценке эффективности применения необходимо выбрать критерий и показатель боевой эффективности, позволяющие учитывать основные преимущества и особенности БПЛА в составе групп при решении типовых боевых задач.

Рассматриваемая боевая задача должна включать в себя возможность применения разнородных БПЛА, а оценка эффективности должна охватывать весь цикл боевого применения: целеполагание, постановка боевой задачи, процессы поиска заданных целевых объектов, их распознавания, решение задачи рационального распределения обнаруженных и распознанных целей по средствам воздействия (ударным БПЛА), нанесение удара по целевым объектам противника и контроль результатов удара.

Наиболее остро стоит вопрос противодействия средств ПВО группам атакующих БПЛА, поэтому данное направление исследований является активно развивающимся [1–3]. В ОБПЛА-сти оценки эффективности применения групп БПЛА по наземным целям исследовательских работ значительно меньше, что требует проведения дополнительных исследований.

Обзор существующих подходов к определению эффективности применения образцов вооружения, военной техники и воинских формирований

Классическим подходом к оценке эффективности образцов вооружения и военной техники (ВВТ) и оснащенных ими воинских формирований является оценка их боевых потенциалов. Этому направлению посвящен ряд работ отечественных ученых [4, 5]. В основе этой теории использованы экспертные процедуры оценивания и эквивалентирования боевых потенциалов ВВТ и воинских формирований (ВФ) по значениям первичных тактико-технических характеристик. Под боевым потенциалом образца ВВТ понимается интегральная характеристика его предельных боевых возможностей, выраженная через основные функциональные свойства и тактико-технические характеристики (ТТХ) образцов ВВТ, и эта характеристика не учитывает эффект взаимодействия отдельных образцов.

В работе [6] боевые действия авиационных систем представляются в виде замкнутого цикла операций. В данном подходе группа БПЛА представляется в виде сетевой системы, а все ее элементы (БПЛА) считаются узлами и могут быть классифицированы. В этом подходе боевая эффективность поражения цели равна сумме боевых возможностей всех соответствующих операционных циклов.

В рамках исследования потенциальных преимуществ «мозаичного» подхода к боевым действиям американской исследовательской организацией RAND была разработана мультиагентная модель, целью которой была постановка задачи «обработки» группой летательных аппаратов (ЛА) совокупности целевых объектов [7]. Оценке эффективности выполнения коллективных миссий многоагентной гетерогенной группой, состоящей из элементов с различным функциональным назначением, посвящены также работы [8–10]. В данных подходах характеристику эффективности миссии предложено формировать как взвешенную сумму нормированных показателей параметров функций агентов с весами «значимость функции для миссии» и «ценность объекта» для группировки.

В целом, исходя из анализа представленных подходов можно заключить, что классические подходы в основном направлены на оценку эффективности одиночных БПЛА (образцов ВВТ) и не отражают особенности боевых действий БПЛА в составе авиационных групп, тогда как новые методы оценки эффективности еще не до конца отработаны и ОБПЛА-дают различными методологическими недостатками.

Методика оценки эффективности группового применения беспилотных летательных аппаратов

Выбор критерия и показателя эффективности группового применения беспилотных летательных аппаратов

Эффективность боевых действий определяется как степень соответствия их реального результата требуемому, определяемому поставленной боевой задачей. Таким образом, эффективность группового применения БПЛА определяется как мера свойства группы (коллектива) выполнять

БПЛА боевые задачи по предназначению в различных условиях боевой обстановки при рациональном распределении функций между элементами группы и глубокой информационной связи.

Учитывая особенности и многообразие влияющих факторов на групповое применение БПЛА, в методике целесообразно ввести следующие допущения.

В качестве типовой боевой задачи рассматриваются разведывательно-ударные действия группы БПЛА по наземным целевым объектам.

Действия группы БПЛА включают в себя: поиск, обнаружение и распознавание заданных целевых объектов; целераспределение и применение авиационных средств поражения (АСП) по заданным целевым объектам.

Группа БПЛА состоит только из разведывательных (оснащенных разнородными средствами разведки) и ударных (оснащенных высокоточными средствами поражения) БПЛА.

Средства противодействия противника, прикрывающие целевые объекты противника, воздействуют на БПЛА на этапах поиска целей и применения средств поражения.

В качестве целевого объекта рассматривается сложная рассредоточенная групповая цель. Под групповой целью понимается совокупность организационно или функционально связанных элементарных целей (элементов), поражение которых является боевой задачей. При этом элементы отличаются друг от друга по функциональному предназначению, уязвимости и важности с точки зрения влияния на потенциальный ущерб «нашим» войскам.

Рассматривается один боевой вылет группы БПЛА для нанесения максимального ущерба заданному целевому объекту.

В качестве критерия эффективности группового применения БПЛА в методике принимается нанесение максимального ущерба сложной рассредоточенной групповой цели. В данном случае под ущербом понимается поражение максимального числа элементарных целей в составе групповой цели (системы) с учетом важности каждой элементарной цели.

В качестве показателя эффективности группового применения БПЛА в работе принимается математическое ожидание числа пораженных объектов (элементарных целей), также с учетом коэффициента важности, то есть в показателе по-

ражаемых объектов с коэффициентом не просто объекты, а их весовые коэффициенты — их весовая важность v_j . Важность определяется как количественная характеристика функциональных свойств объекта (цели), потенциально влияющая на ход противодействия в конкретной обстановке.

В общем виде показатель эффективности группового применения БПЛА записывается следующим образом:

$$M_y = \sum_{j=1}^M v_j \times \left[1 - \prod_{i=1}^N \left(1 - P_{\text{обн}_j} \cdot P_{\text{расп}_j} \cdot P_{\text{цраспр}} \cdot P_{\text{пор}_{ij}} \gamma_{ij} \right) \right], \quad (1)$$

где M — количество элементарных целей;

N — количество БПЛА;

v_j — коэффициент важности j -го элементарного объекта в составе групповой цели. Под важностью элементарного объекта в данном случае понимается его функциональный вклад в реализацию боевых возможностей группового объекта;

$P_{\text{обн}_j}$ — вероятность обнаружения группой БПЛА j -го элементарного объекта;

$P_{\text{расп}_j}$ — вероятность распознавания группой БПЛА j -го элементарного объекта;

$P_{\text{цраспр}}$ — вероятность нахождения наилучшего целераспределения элементарных целей между БПЛА огневого поражения;

$P_{\text{пор}_{ij}}$ — вероятность поражения i -м БПЛА j -го элементарного объекта;

γ_{ij} — показатель воздействия i -го БПЛА на j -й элементарный объект из состава групповой цели.

Далее определим каждый компонент выражения (1).

Для определения максимального ущерба необходимо выполнить ранжирование элементарных объектов противника в составе групповой цели по важности, определить вероятности обнаружения и распознавания элементарных целей, а также порядок целераспределения между БПЛА и целевыми объектами.

Определение важности элементарных объектов из состава групповой цели v_j

Ранжирование объектов противника по важности будет основываться на предпочтениях лица, принимающего решение (ЛПР), и мнениях

экспертов штаба по имеющейся разведывательной информации, знаниям местности и условий боевых действий. Задача определения важности объектов группировки противника, как и оценка важности целей группового объекта, принятого к поражению группой БПЛА, являются сложными, так как объекты ОБПЛА имеют различными свойствами и характеристиками, выраженными в разных шкалах измерений. Кроме того, эти характеристики меняются во времени. Характер решаемых задач, условия боевых действий могут менять важность объектов.

Поэтому для ранжирования по важности объектов и целей группировки противника предлагается частная методика, основанная на построении обобщенной функции ценности.

Пусть имеется M объектов противника a_j , имеющих вектор свойств $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_m)$. Каждое свойство x_μ количественно характеризует одно или несколько функциональных свойств объекта и выступает частным показателем важности объекта. При этом свойства линейно независимы. Совокупность описаний всех объектов a_j составляет матрицу объектов-свойств:

$$\mathbf{X} = \mathbf{x}_i(\mathbf{a}_i)_{n \times m} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_1(\mathbf{a}_1) & \dots & \mathbf{x}_m(\mathbf{a}_1) \\ \dots & \dots & \dots \\ \mathbf{x}_1(\mathbf{a}_n) & \dots & \mathbf{x}_m(\mathbf{a}_n) \end{bmatrix}.$$

Тогда обобщенная функция важности v_j объекта a_j может быть вычислена по формуле:

$$v_j(x_1, x_2, \dots, x_m) = \sum_{\mu=1}^m \lambda_\mu v_\mu(x_\mu(a_j)),$$

где λ_μ — шкалирующий коэффициент.

Значения v_j и ее компонент v_μ находятся в интервале $[0, 1]$, при этом:

$$\sum_{\mu=1}^m \lambda_\mu = 1, \lambda_\mu > 0.$$

Заключительный этап ранжирования объектов группировки противника по важности заключается в упорядочивании элементов вектора с помощью сортировки.

Для выбора элементарных целей, принятых к поражению, по этой методике рассчитываются их важности. В этом случае значение важности

будет учитываться в определении ущерба противника.

Далее, учитывая, что группа ведет разведывательно-ударные действия, важным элементом в оценке эффективности будет оценка эффективности группового поиска.

Определение вероятности обнаружения целевых объектов $P_{\text{обн}j}$

Вероятность обнаружения и распознавания наземных объектов противника будет зависеть от количества средств поиска в группе, типа и характеристик средств обнаружения.

$$P_{\text{обн}ij} = e^{-\left(\frac{D}{D_{\text{обн}}}\right)^\beta},$$

где D — дальность поиска;

$D_{\text{обн}}$ — дальность обнаружения цели;

β — коэффициент, характеризующий средство обнаружения (1 — оптико-электронные средства (ОЭС); 2 — радиоэлектронные средства (РЭС); 3 — радиолокационная разведка (РЛР)).

Вероятность обнаружения j -го объекта при групповом применении средств воздушной разведки определяется по формуле интегральной вероятности:

$$P_{\text{обн}j} = 1 - \prod_{i=1}^L (1 - P_{\text{обн}ij}),$$

где L — количество независимых средств разведки;

$P_{\text{обн}ij}$ — вероятность обнаружения i -м средством поиска j -го объекта.

Таким образом, организованное групповое применение разведывательных БПЛА позволит нарастить поисковый потенциал при поиске объектов противника, уменьшит время поиска и позволит достичь заданных значений вероятности обнаружения целей.

Определение вероятности распознавания целевых объектов $P_{\text{расп}j}$

Для задачи распознавания объектов развернутой (дифференцированной) характеристикой качества распознавания является полная матрица вероятностей распознавания. Матрица вероятностей

распознавания дает вероятностную оценку всех возможных ответов при классификации объектов, которые составляют полную группу.

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} P_{00} & \dots & P_{0j} \\ \dots & \dots & \dots \\ P_{k0} & \dots & P_{kj} \end{bmatrix}.$$

Матрица характеризует эффективность распознавания до самой высокой степени подробности применительно к рассматриваемой классификации.

Вероятность распознавания $P_{расп}$ представляет частоту правильного распознавания объектов:

$$P_{расп} = \frac{n_1}{n_2},$$

где n_1 — число правильно распознанных объектов;

n_2 — число объектов, принятых к распознаванию.

Значение разрешения, при котором в каждом конкретном случае реализуется возможность распознавания до заданного уровня детальности, является случайной величиной. Можно полагать, что такие случайные величины подчиняются нормальному закону распределения Гаусса. В этом случае вероятность распознавания можно определить из выражения, параметры которого L_m и L_{m0} известны:

$$P(L_m \geq L_{m0}) = 1 - \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{L_{m0}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} dx,$$

где L_m — заданное разрешение средства наблюдения;

L_{m0} — полученное разрешение по результатам натурных экспериментов.

Комплексирование средств распознавания предполагает оценку мультипликативного эффекта прироста результативности распознавания:

$$P_{расп_j} = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - P_{расп_i}),$$

где N — количество средств наблюдения;

$P_{расп_i}$ — вероятность распознавания i -м средством наблюдения.

Вероятность распознавания определяет вероятность правильного оценивания важности

и ранжирования одиночной цели в формуле (1) и для решения задачи целераспределения.

Решение задачи целераспределения целевых объектов $P_{целерасп}$

Согласно постановке задачи групповой объект противника представлен M элементарными объектами со своими характеристиками, боевыми возможностями и важностью v_j . Объекты из N и M связаны между собой некоторыми системами отношений. Система геометрических и информационных соотношений определяет взаимное расположение каждого i -го БПЛА относительно целей и возможности получения информации сенсорной системой каждого БПЛА о каждом элементарном элементе групповой цели:

$$\rho(t) = \begin{bmatrix} \rho(t)_{11} & \dots & \rho(t)_{1M} \\ \dots & \dots & \dots \\ \rho(t)_{N1} & \dots & \rho(t)_{NM} \end{bmatrix};$$

$$s(t) = \begin{bmatrix} s(t)_{11} & \dots & s(t)_{1M} \\ \dots & \dots & \dots \\ s(t)_{N1} & \dots & s(t)_{NM} \end{bmatrix}.$$

Система отношений воздействия БПЛА на каждую цель и влияния среды:

$$B(t) = \begin{bmatrix} B(t)_{11} & \dots & B(t)_{1M} \\ \dots & \dots & \dots \\ B(t)_{N1} & \dots & B(t)_{NM} \end{bmatrix};$$

$$E(t) = \begin{bmatrix} E(t)_{11} & \dots & E(t)_{1M} \\ \dots & \dots & \dots \\ E(t)_{N1} & \dots & E(t)_{NM} \end{bmatrix}.$$

Каждое конкретное целераспределение определяет конкретное прогнозируемое значение эффективности нанесения удара по групповой цели, выражающегося, как мы определили выше, уровнем нанесенного ущерба. Задача целеуказания при этом сводится к максимизации значения критерия $\Xi(t)$.

$$\begin{aligned} \Xi(t) &= \\ &= \max_{\rho(t), s(t), B(t), E(t)} Y(\rho(t), s(t), B(t), E(t); t). \end{aligned}$$

Решением задачи целераспределения в группе БПЛА является матрица показателей воздействия γ_{ij} , состоящая из единиц и нулей, определяющих назначение объекта из множества M элементу из множества N , то есть определяющих каждому конкретному БПЛА действовать по конкретному элементарному объекту:

$$\Gamma = \begin{vmatrix} \gamma_{11} & \dots & \gamma_{1M} \\ \dots & \dots & \dots \\ \gamma_{N1} & \dots & \gamma_{NM} \end{vmatrix}.$$

Элементы матрицы воздействия γ_{ij} i -го БПЛА по j -му элементарному объекту принимают значения либо 0, либо 1. Соответственно, $\gamma_{ij} = 1$, когда i -й БПЛА получает задачу воздействия на j -й элементарный объект, и $\gamma_{ij} = 0$, когда i -й БПЛА не получает задачу атаки j -го объекта.

Эта задача является наименее изученной. Точные значения параметров и функциональных отношений, характеризующих достоверность правильного решения задачи целераспределения при коллективном взаимодействии БПЛА представлены быть не могут на этом этапе исследований проблемы. Исходя из этого, в данной методике применяется характеристика целераспределения — вероятность нахождения наилучшего целераспределения $P_{црасп}$, используемая в обобщенной формуле определения эффективности группового применения БПЛА.

В дальнейших исследованиях, по мере разработки аппарата целераспределения, в методику будут вводиться уточненные описания эффективности этого элемента управления групповым поведением БПЛА.

Определение вероятности поражения элементарных целей

Вероятность поражения элементарной малоразмерной цели (автотранспорт, бронетранспортер и т.д.) равна:

$$P_{пор} = P_H \cdot P_y,$$

где P_H — вероятность накрытия цели оБПЛА-стью (зоной) возможного поражения отстреливаемых АСП;

P_y — условная вероятность поражения цели при накрытии ее данной зоной.

Вероятность P_H определяется по известной методике, учитывающей параметры: радиус круга, равного по площади приведенной площади поражения одиночной цели данным АСП; радиус области (зоны) разлета АСП; среднее квадратическое отклонение технического рассеивания средства поражения; угол пикирования БПЛА при атаке цели; $D_{стр}$ — дальность применения оружия в пуске; приведенная площадь поражения цели.

Условная вероятность поражения цели при накрытии ее зоной возможного поражения (ЗВП) определяется по формуле:

$$P_y = n_{сп} \cdot \left(\frac{r_n}{r_n + r_T} \right)^2 \cdot k,$$

где $n_{сп}$ — количество АСП, израсходованных за стрельбу;

r_n — радиус круга, равного по площади приведенной площади поражения одиночной цели данным АСП;

r_T — радиус оБПЛАсти (зоны) разлета АСП; k — коэффициент, учитывающий перекрытие АСП в ЗВП.

Определение потерь БПЛА от противодействия противника ввиду ограниченности формата данной статьи не рассматриваем, они рассчитываются по известным методикам.

Вывод

Классические подходы оценки эффективности в основном направлены на оценку эффективности одиночных БПЛА и не отражают особенности боевых действий БПЛА в составе группы. Новые методы оценки эффективности еще не до конца отработаны.

Сложность функционирования группы БПЛА, как сложной многоэлементной системы с обширными управленческими и информационными взаимосвязями между элементами и подгруппами, функционирующей в среде, оБПЛА-дающей высокой степенью неопределенности, требует новых подходов к оценке ее эффективности применения.

Особенности динамичности и скоротечности современных боевых действий определяют требования к пересмотру применяемых показателей и критериев в оценке эффективности.

В статье предложена методика оценки, которая позволяет оценить эффективность группового применения БПЛА при разведывательно-ударных действиях по наземным целям.

Введение элементов интеллектуализации в состав групп БПЛА также потребует новых подходов в исследованиях эффективности применения.

Литература

1. Макаренко С.И., Тимошенко А.В. Анализ средств и способов противодействия беспилотным летательным аппаратам. Часть 2. Огневое поражение и физический перехват // Системы управления, связи и безопасности. 2020. № 1. С. 147–197.

2. Абросимов В.К. Групповое движение интеллектуальных летательных аппаратов в антагонистической среде: монография. М.: Наука, 2013. 168 с.

3. Ростопчин В.В. Ударные беспилотные летательные аппараты и противовоздушная оборона — проблемы и перспективы противостояния // Беспилотная авиация [Электронный ресурс]. 2019. — URL: https://www.researchgate.net/publication/331772628_Udarnye_bespilotnye_letatelnye_apparaty_i_protivovozdusnaa_oborona_roblemy_i_perspektivy_protivostoania (дата обращения: 29.10.2023).

4. Горчица Г.И., Степанов В.Д. Проблема инвариантности интегральных оценок эффективности авиационных комплексов и пути ее решения // Известия Российской академии ра-

кетных и артиллерийских наук. 2020. № 4 (114). С. 48–54.

5. Брезгин В.С., Буравлев А.И., Цырендоржиев С.Р. Основы методологического подхода к оценке боевых потенциалов ВВТ и воинских формирований // Вооружение и экономика. 2009. № 3 (7). С. 4–12.

6. Niping Jia, Zhiwei Yang, and Kewei Yang An operational effectiveness evaluation method of the swarming UAVs air combat system MATEC Web of Conferences 277, 02010 (2019).

7. Timothy R. Gulden, Jonathan Lamb, Jeff Hagen, Nicholas A. O'donoghue Modeling Rapidly Composable, Heterogeneous, and Fractionated Forces // [Электронный ресурс]. 2019. — URL: https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR4396.html (дата обращения: 29.10.2023).

8. Абросимов В.К., Седов А.Н. Эффективность выполнения коллективной миссии многоагентной гетерогенной группой // Известия ЮФУ. Технические науки. 2023. № 1 (231). С. 6–19.

9. Городецкий В.И., Карсаев О.В., Самойлов В.В., Серебряков С.В. Прикладные многоагентные системы группового управления // Искусственный интеллект и принятие решений. 2009. № 2. С. 3–24.

10. Коллективы интеллектуальных роботов. Сферы применения [под ред. В.И. Сырямкина]. Томск: СТУ, 2018. 140 с.

11. Кутахов В.П., Мещеряков Р.В. Управление групповым поведением беспилотных летательных аппаратов: постановка задачи применения технологий искусственного интеллекта // Проблемы управления. 2022. № 1. С. 67–74.

УДК: 520.88

DOI: 10.53816/20753608_2024_1_58

**ОБОСНОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
РАЗНОРОДНОЙ ОРБИТАЛЬНОЙ ГРУППИРОВКИ
МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ**

**SUBSTANTIATION OF THE INDICATOR OF THE EFFECTIVENESS
OF THE FUNCTIONING OF A HETEROGENEOUS ORBITAL GROUPING
OF SMALL SPACECRAFT FOR REMOTE SENSING OF THE EARTH**

По представлению академика РАН В.А. Петрова

А.Ю. Коваленко, А.В. Кульвиц, Р.А. Винокуров, И.Ю. Нечаев

ВКА им. А.Ф. Можайского

A.Y. Kovalenko, A.V. Kulvits, R.A. Vinokurov, I.Y. Nechaev

В статье рассматриваются вопросы обоснования показателя эффективности функционирования разнородной орбитальной группировки малых космических аппаратов дистанционного зондирования Земли (ОГ МКА ДЗЗ) с позиций системного подхода. Предложен подход по формированию разнородной ОГ МКА ДЗЗ, состоящей из МКА различного типа наблюдения. Представлены результаты моделирования функционирования разнородной ОГ МКА ДЗЗ, проведен анализ влияния баллистической структуры на целевой эффект.

Ключевые слова: наблюдение, разнородная орбитальная группировка, малый космический аппарат, системный подход, показатель эффективности.

The article discusses the issues of substantiation of the indicator of the effectiveness of the functioning of a heterogeneous orbital grouping of small Earth remote sensing spacecraft (OG MKA remote sensing) from the standpoint of a systematic approach. An approach is proposed for the formation of a heterogeneous OG of a remote sensing system consisting of an IC of various types of observation. The results of modeling the functioning of a heterogeneous remote sensing system are presented; the analysis of the influence of the ballistic structure on the target effect is carried out.

Keywords: observation, heterogeneous orbital grouping, small spacecraft, systematic approach, efficiency indicator.

Введение

Создание интегрированных космических информационно-телекоммуникационных систем — очередной шаг в развитии космонавтики, который невозможен без поддержания и совершенствования эффективной космической инфраструктуры. В этой связи особую актуальность

приобретает проблема создания так называемых разнородных орбитальных группировок малых космических аппаратов (ОГ МКА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), имеющих в своем составе МКА различного типа наблюдения (радиотехнического, радиолокационного и оптико-электронного) [1–4]. Формирование разнородной ОГ МКА ДЗЗ имеющих различные типы

бортовой аппаратуры позволяет с позиции комплексирования целевых возможностей во взаимодействии с существующими и перспективными космическими системами связи и ретрансляции повысить эффективность информационного обеспечения.

Основным параметром, влияющим на эффективность функционирования разнородной ОГ МКА ДЗЗ, является ее баллистическая структура [5]. Таким образом, для решения задачи по выбору и обоснованию оптимальной баллистической структуры, необходимо использовать показатель, который позволяет учитывать комплексирование целевых возможностей различных типов бортовой специальной аппаратуры, обладающих разными характеристиками наблюдения и принципами решения целевых задач.

Обоснование показателя эффективности функционирования разнородной орбитальной группировки малых космических аппаратов дистанционного зондирования Земли

Анализ этапов функционирования разнородной ОГ МКА ДЗЗ позволяет сделать вывод, что одним из ключевых этапов является получение информации об объектах на поверхности Земли. Процесс функционирования разнородной ОГ МКА ДЗЗ сопровождается элементами случайности. Исход планируемого действия, даже организованного строго определенным образом, не может быть точно предсказан, будет случайным. Поэтому в качестве показателей эффективности принимаются, как правило, неслучайные характеристики случайной величины.

Эффективностью разнородной ОГ МКА ДЗЗ является ожидаемая мера достижения поставленной перед ними в ходе применения цели. При этом показатели эффективности выступают в качестве ее численной меры, а критерии эффективности — как совокупность условий, определяющих пригодность, оптимальность или превосходство результатов, оцениваемых действий с точки зрения поставленной в них цели [6]. Исходя из анализа задач, возлагаемых на ОГ МКА ДЗЗ, целью ее функционирования является получение информационных данных с поверхности Земли и передача их потребителю. Из

множества свойств, присущих процессу наблюдения (обзора), существенными являются операционные свойства, определяемые эффектами его результатов:

- результативность наблюдения $\mathcal{E}(u)$;
- ресурсозатраты на применение МКА $R(u)$;
- оперативность наблюдения $T(u)$.

Качество решения задач наблюдения ОГ МКА ДЗЗ разведки может быть оценено только всей совокупностью перечисленных операционных свойств с помощью векторного показателя [7, 8]:

$$Y(u) = Y[\mathcal{E}(u), R(u), T(u)].$$

Типичной является ситуация, когда на характеристики, параметры, условия функционирования ОГ МКА ДЗЗ в ходе наблюдения воздействует совокупность случайных факторов. Как следствие, комплексной характеристикой качества такого целенаправленного процесса может служить только вероятность W достижения цели операции (наблюдения), в частности вероятность обнаружения объекта наблюдения в заданном районе за заданный интервал времени с учетом ограничений на ресурсозатраты (количество задействованных МКА в составе однотипной ОГ, при ограничении расхода операционного ресурса). Данный показатель является безразмерным и выражает степень соответствия реального результата операции требуемому или потенциально возможному результату для заданных стратегий и условий.

Таким образом, обобщенный показатель эффективности наблюдения районов обслуживания ОГ МКА ДЗЗ W — это вероятность получения пригодной информации об объекте в заданном районе за заданный интервал времени ограниченным составом МКА [3], определяемая по формуле полной вероятности [9]

$$W = \sum_{k=0}^{2^N-1} P(H_k) \cdot P(A/H_k), \quad (1)$$

при следующих условиях и ограничениях

$$t_{уст} \leq t^{зад}, N_{КА} = N_{КА}^{дост}, R_o \leq R_o^{дост},$$

где A — событие, состоящее в том, что по данным наблюдения достигнут целевой эффект применения ОГ МКА ДЗЗ;

H_k — событие, состоящее в том, что k -я комбинация ОГ МКА ДЗЗ наблюдения выполнила задачу наблюдения;

N — число баллистических структур (типов МКА ДЗЗ), входящих в разнородную ОГ;

$t_{уст}$ — время устаревания информации;

$t^{зад}$ — заданное время;

$N_{КА}$ — количество МКА в разнородной ОГ МКА ДЗЗ;

$N_{КА}^{дост}$ — доступное количество МКА ДЗЗ;

R_o — операционный ресурс;

$R_o^{дост}$ — доступный операционный ресурс.

Вероятность $P(H_k)$ соответствует вероятности выполнения целевой задачи опико-электронными, радиолокационными или радиотехническими ОГ МКА

$$P(H_k) = 1 - \prod_{i \in \{i_k\}} (1 - P_{обн}^{(i)}), \quad k = 0(1) \dots 2^N - 1,$$

где i — индекс соответствующей баллистической структуры (космической системы), входящей в разнородную ОГ;

k — индекс варианта комбинации баллистических структур, в составе разнородной ОГ;

$\{i_k\}$ — множество индексов баллистических структур входящих в k -й вариант комбинации;

$P_{обн}^{(i)}$ — вероятность выполнения задачи наблюдения i -й ОГ. Условная вероятность $P(A/H_k)$ из формулы (1) определяется следующим образом [9]:

– если $H_k = 0$, т.е. целевую задачу наблюдения не выполнила ни одна ОГ, то

$$P(A/H_k) = 0;$$

– если $H_k = H^{(i)}$, т.е. целевую задачу наблюдения выполнила только i -я ОГ, то

$$P(A/H_k) = v_i p_{Ti};$$

– если $H_k = H^{(ij)}$, т.е. целевую задачу наблюдения выполнила i -я и j -я ОГ, то

$$P(A/H_k) = v_i p_{Ti} + v_j p_{Tj} - v_i v_j p_{Ti} p_{Tj}.$$

Таким образом, если, например, все (три) ОГ в составе разнородной ОГ МКА ДЗЗ выполнили задачу наблюдения, то условная вероятность будет определять следующим образом [3]:

$$P(A/H_k) = \sum_{i=1}^3 v_i p_{Ti} - \sum_{i < j} v_i v_j p_{Ti} p_{Tj} + \prod_{i=1}^3 v_i p_{Ti},$$

где v_i — функциональная значимость данных наблюдения i -й ОГ;

p_{Ti} — вероятность того, что время наблюдения i -й ОГ заданного района не меньше заданного.

Модель наблюдения заданных районов обслуживания

Решение задачи оценивания эффективности наблюдения районов обслуживания предполагает необходимость математического описания границ соответствующих районов. Данная задача сводится к построению уравнения, соответствующего заданному геометрическому объекту, и базируется на использовании аппарата R -функций [10, 11].

Вероятность обнаружения объекта заключается в наступлении события попадания объекта в мгновенную зону обзора КА. Данный показатель имеет геометрический смысл, определяющий процент площади района, просмотренной КА. Расчет вероятности обнаружения объекта базируется на прогнозировании просмотра заданных районов обслуживания. Для прогнозирования просмотра необходимо решить задачу математического описания полосы (мгновенной зоны) обзора МКА (рис. 1). Наблюдаемая часть поверхности Земли за заданное время описывается соответствующим булевым выражением, где D_1 и D_2 — мгновенные зоны обзора

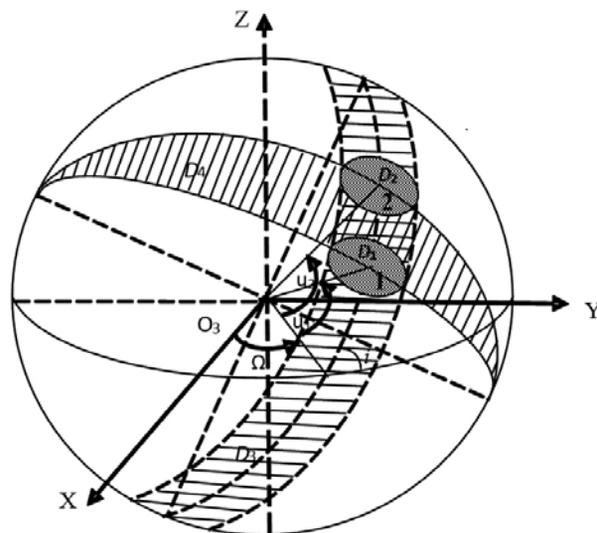


Рис. 1. Проекция зоны обзора МКА на земной шар

в соответствующие моменты времени; D_3 — пояс, соответствующий геоцентральному углу обзора, а D_4 — соответствующий сектор (рис. 1)

$$D = (D_1 \vee D_2) \vee (D_3 \wedge D_4).$$

На основании уравнений элементарных областей формируется уравнение обзореваемой области на поверхности Земли при движении МКА за заданное время, которое с учетом изменения оскулирующих элементов орбиты во времени является динамическим уравнением трассы полета вместе с полосой обзора, которое вместе с уравнением района позволяет сформировать выражение, характеризующее непросмотренную часть района

$$r = R \wedge \bar{\Phi}(t) = R - \Phi(t) - |R + \Phi(t)|,$$

где R — уравнение района;

$\Phi(t)$ — динамическое уравнение обзореваемой области.

$$P(H) = 1 - \frac{\iint_D r d\psi d\lambda}{\iint_D R d\psi d\lambda},$$

где r — радиус-вектор орбиты МКА;

ψ — геоцентрическая широта;

λ — геоцентрическая долгота.

Для всестороннего оценивания эффективности наблюдения районов обслуживания разнородной ОГ МКА ДЗЗ наряду с показателем эффективности наблюдения районов обслуживания (основным показателем эффективности) необходимо использовать некоторые параметры, характеризующие различные стороны и особенности проведения операции, так называемые частные (дополнительные) показатели эффективности. Основной и дополнительные показатели эффективности составляют систему показателей эффективности [7, 8].

Моделирование и расчет показателя эффективности функционирования ОГ МКА ДЗЗ

Рассмотрим пример расчета обобщенного показателя эффективности для различных вариантов баллистических структур разнородной ОГ МКА ДЗЗ.

Пусть имеется две ОГ МКА ДЗЗ ограниченного состава, функционирующие на разных орбитах и обладающих различными типами и характеристиками бортовой аппаратуры. Обозначим первую и вторую ОГ МКА ДЗЗ соответственно: ОГ МКА-1 и ОГ МКА-2.

К основным параметрам и характеристикам данных ОГ относят следующие:

1. Параметры, характеризующие орбиты МКА;
2. Баллистическая структура каждой ОГ МКА ДЗЗ;
3. Характеристики землеобзора и районов обслуживания (табл. 1);
4. Время разрыва в наблюдении (периодичность обзора).

Необходимо определить такое расположение ОГ МКА-1 относительно ОГ МКА-2, которое обеспечивало бы экстремум целевой функции при наблюдении заданных районов обслуживания при их совместном использовании. В качестве целевой функции используется вероятность достижения цели наблюдения W .

Решение задачи формирования вариантов баллистических структур разнородной ОГ МКА ДЗЗ решается путем перебора всех возможных вариантов орбитального построения ОГ. Для каждого орбитального построения рассчитывается значение показателя эффективности, на основании которого выбирается баллистическая структура разнородной ОГ МКА, обеспечивающая максимум данного показателя [11–13]. Для определения оптимального расположения МКА в составе ОГ МКА при решении задачи наблюдения при их

Таблица 1

Географические координаты границ районов обслуживания

Район обслуживания	Северная граница	Южная граница	Западная граница	Восточная граница
Район № 1	45°	35°	30°	45°
Район № 2	40°	35°	33°	38°
Район № 3	45°	30°	0°	30°
Район № 4	38°	30°	350°	360°

совместном функционировании необходимо перебрать все возможные варианты построения этих группировок и оценить эффективность решения целевой задачи наблюдения [11, 14]. Таким образом, формируется баллистическая структура разнородной ОГ МКА ДЗЗ путем сдвига баллистической структуры ОГ МКА-1 относительно баллистической структуры ОГ МКА-2 по прямому восхождению восходящего узла и по аргументу широты МКА. Наибольшее значение обобщенного показателя эффективности наблюдения районов наблюдения ОГ МКА ДЗЗ W для рассмотренного случая достигается при сдвигах по прямому восхождению восходящего узла $\Delta\Omega = 87^\circ$ и аргументу широты МКА $\Delta i = 17^\circ$.

В табл. 2 представлены значения частных показателей эффективности наблюдения райо-

нов обслуживания разнородной ОГ КА на интервале цикла повторяемости трассы полета.

Расчет значений обобщенного показателя эффективности наблюдения районов обслуживания ОГ КА разведки производился на интервале времени 4 и 6 часов, сравнительные результаты расчетов представлены в табл. 3 и 4 соответственно. На рис. 2 представлена динамика изменения эффективности наблюдения районов обслуживания для различных значений интервала времени устаревания информации на примере района № 1.

Анализ полученных результатов, представленных в табл. 3, 4 и рис. 2, показывает увеличение эффективности наблюдения районов обслуживания при использовании разнородной ОГ МКА ДЗЗ в среднем на 19–23 %.

Таблица 2

Результаты наблюдения районов обслуживания разнородной ОГ МКА

Район обслуживания	Максимальное время разрыва наблюдения	Кратность наблюдения в сутки	Математическое ожидание времени разрыва наблюдения	Математическое ожидание времени наблюдения, с
Район № 1	03:26:30	41	00:34:18	315,0
Район № 2	01:18:30	72	00:45:45	344,3
Район № 3	01:27:00	55	00:23:05	359,7
Район № 4	01:28:59	38	00:34:53	308,9

Таблица 3

Вероятность достижения цели наблюдения на интервале времени в 4 часа

Район обслуживания	Состав ОГ				
	ОГ МКА-1	ОГ МКА-2	ОГ МКА-1, ОГ МКА-2	ОГ МКА-1, ОГ МКА-2, (сдвиг по $\Delta\Omega$)	ОГ МКА-1, ОГ МКА-2, (сдвиг по $\Delta\Omega$ и Δi)
Район № 1	-	0,28	0,28	0,308	0,338
Район № 2	0,188	0,427	0,534	0,587	0,645
Район № 3	0,305	0,427	0,611	0,672	0,739
Район № 4	0,321	-	0,642	0,706	0,776

Таблица 4

Вероятность достижения цели наблюдения на интервале времени в 6 часов

Район обслуживания	Состав ОГ				
	ОГ МКА-1	ОГ МКА-2	ОГ МКА-1, ОГ МКА-2	ОГ МКА-1, ОГ МКА-2, (сдвиг по $\Delta\Omega$)	ОГ МКА-1, ОГ МКА-2, (сдвиг по $\Delta\Omega$ и Δi)
Район № 1	0,24	0,28	0,539	0,593	0,652
Район № 2	0,28	0,428	0,749	0,824	0,906
Район № 3	0,378	0,379	0,846	0,931	0,989
Район № 4	0,403	0,9	0,962	0,999	0,999

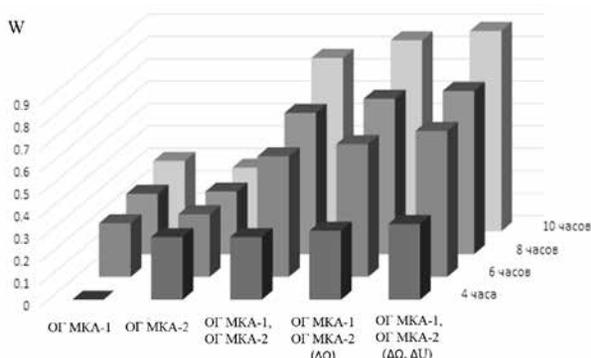


Рис. 2. Результаты наблюдения района № 2

Вывод

Таким образом, предложенный подход по использованию показателя эффективности функционирования разнородной ОГ МКА ДЗЗ позволяет обосновывать баллистическую структуру ОГ, обладающую разными характеристиками и режимами наблюдения бортовой аппаратуры и тем самым осуществлять комплексирование целевых возможностей разнотипных МКА. Полученные результаты и их анализ демонстрируют возможность решения комплексной оптимизационной задачи, направленной на проектирование эффективно функционирующей космической системы, и определяют требования к составу средств системы, их характеристикам, качеству, способам применения.

Литература

1. Романов А.А., Черкас С.В. Перспективы развития космических войск Российской Федерации в условиях современных тенденций военно-космической деятельности // Военная мысль. 2020. № 9. С. 35–45.
2. Коваленко А.Ю. Баллистическое проектирование разнородной системы КА с заданным циклом замыкания трассы // Труды СПИИРАН. 2015. № 3 (40). С. 45–54.
3. Коваленко А.Ю. Математические аспекты оценивания результативности применения космических аппаратов дистанционного зондирования Земли // Труды СПИИРАН. 2017. № 4 (53) С. 29–50.
4. Клименко Н.Н. Современные низкоорбитальные космические аппараты для геолокации и идентификации источников радиоиз-

лучения // Воздушно-космическая сфера. 2018. № 2 (95). С. 48–57.

5. Кульвиц А.В., Власов С.А., Коваленко А.Ю., Мосин Д.А. Методика обоснования структуры системы космических аппаратов комбинированного состава // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия машиностроение. 2022. № 1(140). С. 24–39.

6. Вопросы повышения эффективности целевого применения космических средств: учебное пособие; [под общ. ред. Ю.С. Мануйлова]. М.: МО РФ. 2001. 180 с.

7. Надёжность и эффективность в технике: Справочник в 10-ти т. / Ред. совет: В.С. Авдудевский (пред.) и др. Эффективность технических систем; [под общ. ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крючкова]. М.: Машиностроение, 1988, Т. 3. 328 с.

8. Куренков В.И. Методы исследования эффективности ракетно-космических систем. Методические вопросы [Электронный ресурс] // Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С.П. Королева (нац. исслед. ун-т). Самара, 2012. 201 с.

9. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: учеб. для вузов. М.: Издательский центр «Академия», 2003. 576 с.

10. Волков В.Ф., Кульвиц А.В., Коваленко А.Ю., Салухов В.И. Прикладные аспекты оптимизации орбитальных структур спутниковых систем за счет уточнения параметров орбитального движения // Труды СПИИРАН. Том 19. № 4. 2020. С. 719–745.

11. Лебедев А.А., Нестеренко О.П. Космические системы наблюдения: Синтез и моделирование. М.: Машиностроение, 1991. 224 с.

12. Лысенко Л.Н., Бетанов В.В., Звягин Ф.В. Теоретические основы баллистико-навигационного обеспечения космических полетов; [под общ. ред. Л.Н. Лысенко]. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 520 с.

13. Малышев В.В., Красильщиков М.Н., Бобронников В.Т. [и др.]. Спутниковые системы мониторинга. Анализ, синтез и управление; [под ред. В.В. Малышева]. М.: Изд-во МАИ, 2000. 568 с.

14. Хартов В.В., Ефанов В.В., Занин К.А. Основы проектирования орбитальных оптико-электронных комплексов: учебное пособие. М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2011 132 с.

УДК: 623.4.011

DOI: 10.53816/20753608_2024_1_64

**ОБОСНОВАНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ РАЦИОНАЛЬНЫХ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ГИПЕРЗВУКОВОГО СТВОЛЬНОГО СТРЕЛКОВОГО КОМПЛЕКСА**
**SUBSTANTIATION OF THE MAXIMUM RATIONAL ENERGY PARAMETERS
OF A HYPERSONIC BARREL RIFLE COMPLEX**

По представлению академика РАРАН В.А. Петрова

Ф.А. Гришин¹, Е.А. Знаменский², А.П. Ковалев³

¹ОАО «МЗ «Арсенал», ²БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, ³АО «КБ «Арсенал»

F.A. Grishin, E.A. Znamenskii, A.P. Kovalev

В статье рассматривается оптимизация энергетических параметров индивидуального гиперзвукового (5М) ствольного стрелкового комплекса (ГССК), при воздействии на биологическую ткань (в том числе защищенную средствами индивидуальной бронезащиты (СИБЗ) различных классов). Сформулированы критерии оптимизации: достаточная для поражения удельная кинетическая энергия снаряда, минимизация времени воздействия на снаряд факторов внешней баллистики, безопасная для оператора дистанция стрельбы.

Ключевые слова: удельная кинетическая энергия, снаряд, гиперзвуковой, биологическая ткань.

The optimization of the energy parameters of an individual hypersonic (5M) barrel rifle complex, when exposed to biological tissue (including those protected by means of individual armor protection of various classes) is considered. Optimization criteria are formulated: the specific kinetic energy of the projectile sufficient for destruction, minimization of the time of exposure to external ballistics factors on the projectile, safe firing distance for the operator.

Keywords: specific kinetic energy, projectile, hypersonic, biological tissue.

Практика современной войны показывает актуальность применения индивидуально-го стрелкового оружия в общевойсковом бою и для решения специальных задач [1], при этом корректный подбор характеристик стрелкового комплекса позволяет оперативно нанести объекту поражения необходимый урон, при минимизации рисков для оператора. Одним из возможных решений, позволяющих оператору работать с дистанций, затрудняющих применение противодействующей стороной средств контрбатарейной и контрснайперской борьбы, при сохранении снарядом достаточной для поражения ки-

нетической энергии перед началом терминального участка траектории, является применение ствольных стрелковых комплексов, имеющих на срезе ствола скорость снаряда в 5М и более. Следует учитывать, что задача обеспечения движения и осевой стабилизации снаряда заданной массы на гиперзвуковой скорости накладывает ограничения на аэродинамическую форму, материал, конфигурацию снаряда, а также на воздействие выстрела на оператора стрелкового комплекса.

В качестве критерия оценки поражающего воздействия снаряда примем [2] значение

удельной кинетической энергии [Дж/см²], определяемое как отношение кинетической энергии снаряда к площади мишени снаряда:

$$E_{уд} = \frac{4E_k}{\pi D^2}, \quad (1)$$

где E_k — кинетическая энергия снаряда перед началом терминального участка;

D — калибр снаряда, см.

Рассмотрим [3] влияние удельной кинетической энергии снаряда на воздействие, оказываемое им на незащищенную СИБЗ биологическую ткань (табл. 1).

Анализируя приведенное в табл. 1 описание характера поражения биологической ткани, можно сделать вывод о том, что снаряд полностью погасил свою скорость и, как следствие, передал биологической ткани всю кинетическую энергию, накопленную им перед началом терминального участка траектории. Таким образом, для поражения не защищенной СИБЗ биологической ткани, снаряд должен обладать удельной кинетической энергией не менее 100 Дж/см², что для мягких тканей соответствует глубине раневого канала порядка 6–7 см, а биологическая ткань, в свою очередь, должна обладать механическими и термодинамическими характеристиками, позволяющими снаряду передать ей на протяжении терминального участка кинетическую энергию, пропорционально приведенному выше значению.

Образование сквозного раневого канала свидетельствует о неполной передаче энергии снарядом. В этом случае [4] для оценки количества кинетической энергии, переданной объекту, следует использовать разницу величин кинетической энергии снаряда в начале и в конце терминального участка. Выражение (1) для сквозного раневого канала примет вид:

$$E_{уд\ сквозн} = \frac{4(E_{k\ кон} - E_{k\ нач})}{\pi D^2}, \quad (2)$$

где $E_{k\ нач}$ — кинетическая энергия снаряда в начале терминального участка;

$E_{k\ кон}$ — кинетическая энергия снаряда в конце терминального участка.

В случае разрушения снаряда на терминальном участке значение удельной кинетической энергии в конце терминального участка примет вид:

$$E_{k\ кон} = \sum_{k=1}^n \frac{m_k V_k^2}{2}, \quad (3)$$

где m_k — масса k -го осколка снаряда;

V_k^2 — скорость k -го осколка снаряда в конце терминального участка;

n — количество осколков, при этом должно выполняться условие:

$$\sum_{k=1}^n m_k = m_{снаряда}. \quad (4)$$

Расположение объекта поражения за преградой может привести к частичному разрушению снаряда при ее преодолении. В таком случае использование выражения (3) для оценки характера поражения биологической ткани, не защищенной СИБЗ, требует выполнения условия наличия хотя бы одного осколка, обладающего скоростью и формой, позволяющими передать объекту поражения удельную кинетическую энергию из диапазона п. 4 табл. 1:

$$E_{уд k} = \frac{m_k V_k^2}{2S_k} \geq E_{уд\ треб.}, \text{ для } k \in [1...n], \quad (5)$$

где S_k — площадь поперечного сечения k -го осколка;

$E_{уд\ треб.}$ — величина удельной кинетической энергии, требуемая для поражения биологической ткани.

Выражения (1)–(5) также применимы для рассмотрения поражения биологической ткани, защищенной СИБЗ. При этом следует рассматривать значение $E_{k\ нач}$, как сумму кинетических

Таблица 1

Оценка воздействия снаряда на биологическую ткань

№ п.п.	Удельная кинетическая энергия снаряда	Характер поражения
1	14...17	Поверхностные повреждения, гематомы
2	32...36	Непроникающее ранение, сопровождаемое разрушением костной ткани
3	54...60	Проникающее ранение
4	135...145	Проникающее ранение, с повреждением задней стенки

энергий осколков снаряда и вторичных осколков, возникающих при преодолении снарядом СИБЗ. Полная кинетическая энергия группы осколков при этом, не превышает значения $E_{уд\ скв\ СИБЗ}$ — удельной кинетической энергии снаряда после преодоления СИБЗ. Для случая разрушения снаряда при преодолении СИБЗ можно сделать промежуточный вывод об уменьшении значения удельной кинетической энергии $E_{уд\ k}$ с увеличением площади поперечного сечения k -го осколка.

В случае ГССК — оптимальной аэродинамической формой снаряда будет являться игла. Безразмерный коэффициент формы $K\Phi_{гз}$, под которым рассматривается отношение длины снаряда к диаметру по миделю, принимает значения не менее 20...30. Соотношение (1) показывает, что геометрические и скоростные параметры снаряда ГССК оптимальны для поражения биологической ткани, однако следует учесть свойства поражаемого объекта и физику передачи энергии от снаряда к биологической ткани, выражающуюся в образовании раневого канала с постоянной и временной пульсирующей полостями [4]. Исходя из этого можно сделать вывод, что высокая энергетика, в совокупности с малой площадью поперечного сечения и конической, с малым углом при вершине, формой головной части, не позволят передать количество энергии в направлении, нормальном к направлению вектора скорости снаряда, определяемое в [4] как энергия бокового удара, достаточное для образования временной пульсирующей полости. В свою очередь, низкая эффективность передачи энергии в направлении, нормальном к направлению вектора скорости снаряда, приведет к уменьшению значения $\Delta E_k = E_{k\ нач} - E_{k\ кон}$, что приведет к образованию сквозного раневого канала. Следовательно, при разработке снаряда следует использо-

вать технические решения, позволяющие на терминальном участке траектории вынести центр давлений снаряда перед центром масс, а также увеличить экспансивное действие снаряда, без дробления последнего на малые осколки, не удовлетворяющие условию (5).

Следует отметить наличие прототипов ГССК с представленными выше характеристиками. Таковыми являются винтовки ААI Corporation и Steyr-Mannlicher, разработанные в рамках программы Advanced Combat Rifle (США) [5], запущенной в январе 1985 года, завершившейся в 1992 году. В качестве поражающего элемента оба прототипа использовали подкалиберный стреловидный снаряд (флешетту). Для прототипа Steyr-ACR масса вольфрамовой флешетты составляла 9,85 gr (0,63 грамма), диаметр — 1,5 мм, длина — 41 мм. Для прохождения канала ствола флешетта помещалась в пластиковый контейнер, соответствующий диаметру пули боеприпаса 5,56×45, унифицированному для стран-участников НАТО [6]. Разделение контейнера и флешетты происходило под действием набегающего потока воздуха, на расстоянии порядка 200 м от дульного среза. На выходе из канала ствола, снаряд с контейнером имели скорость порядка 1450 м/с, однако высокий коэффициент лобового сопротивления, обусловленный специфичной формой носовой части контейнера, составляющий, согласно данным [7], порядка 1,42–1,5, в совокупности с большим диаметром контейнера, приводил к снижению скорости снаряда, которая на момент разделения флешетты и контейнера составляла порядка 945 м/с. Продольный разрез боеприпаса Steyr-ACR, приведенный в [5], показан на рис. 1.

Выполним оценку скорости и удельной кинетической энергии снаряда Steyr-ACR на

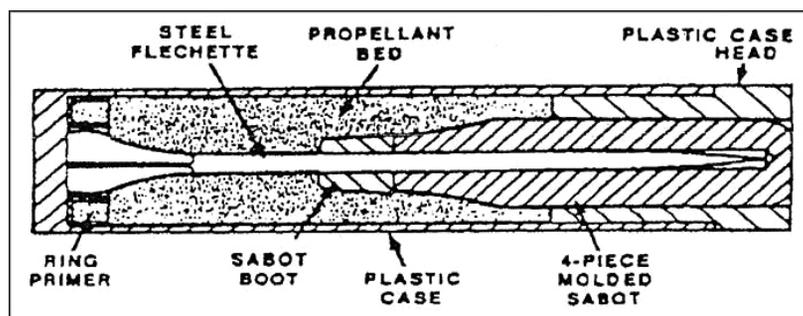


Рис. 1. Продольный разрез боеприпаса Steyr-ACR

диапазоне дистанций стрельбы 0–3000 м, для чего воспользуемся соотношением:

$$V_{D_сн} = V_0 e^{-aD}, \quad (6)$$

где

$$a = \frac{C_x \rho S_{\text{мид}}}{2m_{\text{сн}}}.$$

В качестве исходных данных примем [7]:

- коэффициент лобового сопротивления для контейнера, имеющего головную часть обратной сферической формы $C_{x_к} = 1,42$;
- коэффициент лобового сопротивления флешетты $C_{x_фл} = 0,2$;
- температура воздуха $T = 15 \text{ }^\circ\text{C}$;
- плотность воздуха при заданной температуре $\rho = 1,206 \text{ кг/м}^3$;

– начальная скорость снаряда у среза ствола $V_0 = 1500 \text{ м/с}$.

Результаты расчета динамики изменения скорости снаряда Steyr-ACR приведены на рис. 2, на дистанции 200 м показан момент разделения флешетты и контейнера. Данные моделирования совпадают с материалами, приведенными в [5].

Результаты расчета энергетической возможности поражения биологической ткани снарядом Steyr-ACR после преодоления СИБЗ существующего диапазона классов, на диапазоне дистанций стрельбы [300...3000] м, приведены на рис. 3.

При выполнении расчета учтена возможность деформации снаряда стреловидной формы при преодолении СИБЗ, выражающаяся в увеличении площади пятна контакта. Коэффициент

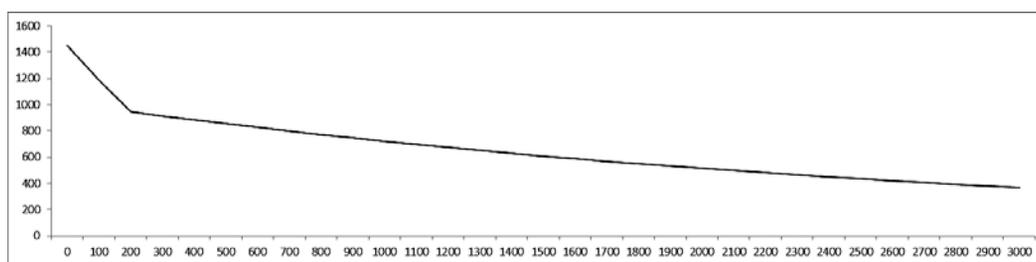


Рис. 2. Динамика изменения скорости снаряда Steyr-ACR

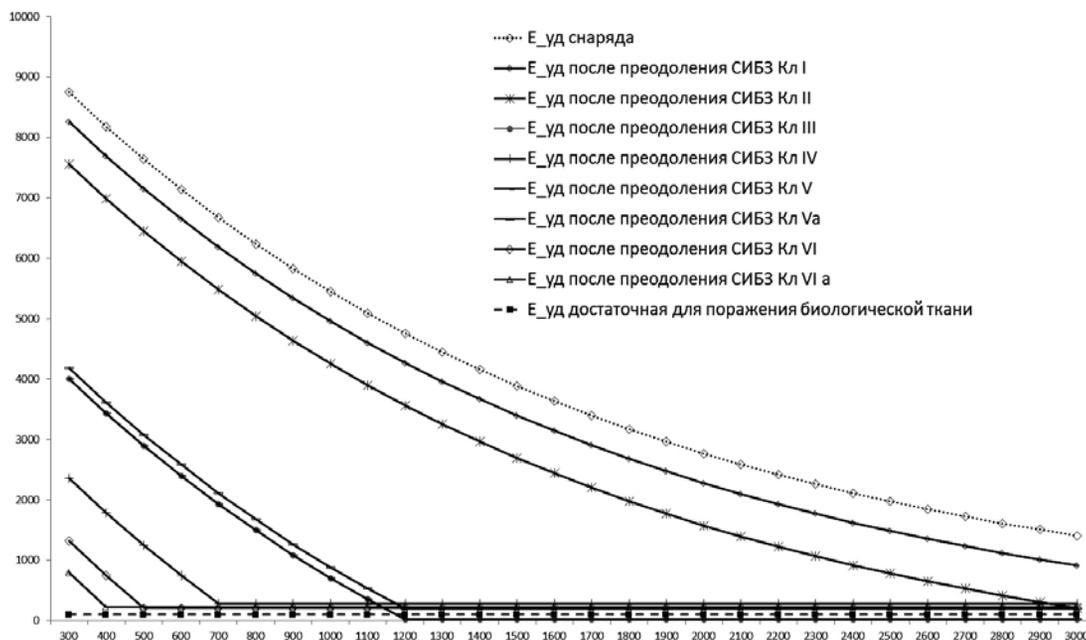


Рис. 3. Результаты расчета энергетической возможности поражения биологической ткани снарядом Steyr-ACR и осколками снаряда, образовавшимися после преодоления СИБЗ существующего диапазона классов защитной структуры

деформации принят за 1,7. Из полученных данных видно, что на дистанциях до 400 м флешетта Steug-ACR обладает кинетической энергией, достаточной для преодоления СИБЗ до класса VIa включительно. Также следует отметить существенное падение скорости снаряда при движении совместно с контейнером до момента разделения, из чего вытекает необходимость оптимизации конструкции боеприпаса, в разрезе инженерных решений по разделению флешетты и контейнера.

Выполним оценку скорости и удельной кинетической энергии группы снарядов ГССК, обладающих различными массовыми и габаритными характеристиками, на диапазоне дистанций стрельбы 500–3000 м, для чего воспользуемся соотношением (6). В качестве исходных данных примем: коэффициент лобового сопротивления снаряда с головной частью конической формы [7] $C_x = 0,2$; температура воздуха $T = 15^\circ\text{C}$; плотность воздуха при заданной температуре $\rho = 1,206 \text{ кг/м}^3$; начальная скорость снаряда у среза ствола $V_0 = 1500 \text{ м/с}$. В качестве прототипа примем снаряд, состоящий из сердечника требуемой массы, жаропрочного легкого аэродинамического корпуса и сбрасываемого контейнера — обтюлятора с деформируемыми ведущими пояс-

ками. Массу сердечника примем по аналогии с существующими боеприпасами для стрелкового оружия [8]. Справочно, для снарядов указанного калибра и массы, вычислим скорость и кинетическую энергию на четырех фиксированных дальностях. Исходные данные для проведения расчетов приведены в табл. 2.

Покажем технологическую достижимость выполнения снаряда приведенной конструкции снаряда. Для коэффициента формы $KФ_{гз} \in [20...30]$ и калибра снаряда $СAL \in [3...5]$ мм, по массовым характеристикам снарядов из табл. 2 вычислим требуемую плотность и выполним подбор материала сердечника снаряда ГССК, согласно данным [9] — табл. 3.

Анализ табл. 3 показывает технологическую достижимость изготовления снаряда, имеющих обозначенные параметры. Исключив позиции, требующие для изготовления сердечника материалов, обладающих высокой плотностью, получим набор исходных данных для проведения расчета.

На рис. 4–6 показано распределение удельной кинетической энергии по дистанции стрельбы, для снарядов, имеющих характеристики, приведенные в табл. 3.

Таблица 2

Исходные данные для проведения расчетов

№ п.п.	Масса снаряда, г	Скорость / кинетическая энергия				Боеприпас-аналог
		500 м	1000 м	2000 м	3000 м	
1	9	1100/5445	800/2880	400/720	200/180	7.62x54, 138 gran
2	16,2	1200/11664	930/7005	650/3422	400/1296	.338" LM, 250 gran
3	19,8	1140/12866	900/8019	530/2780	320/1013	.408" СТ, 305 gran

Таблица 3

Подбор материала сердечника снаряда ГССК

№ п.п.	КФ _{гз} , б/р	СAL, мм	Объем, мм ³	Длина, мм	Масса, г	Плотность, кг·м ³	Материал (ближайший) плотность	
							8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	22	3	466,5265	66	9	19 291,51	Вольфрам	19300
2	20	4	1005,31	80	9	8 952,47	Медь	8940
3	20	5	1963,495	100	9	4 583,66	Сталь	7700
7	20	4	1005,31	80	16,2	16 114,44	Вольфрам	19300
8	20	5	1963,495	100	16,2	8 250,59	Медь	8940
11	20	4	1005,31	80	19,8	19 695,42	Вольфрам	19300
12	20	5	1963,495	100	19,8	10 084,06	Свинец	11340
13	30	4	1507,964	120	19,8	13 130,28	Вольфрам	19300
14	30	5	2945,243	150	19,8	6 722,70	Сталь	7700

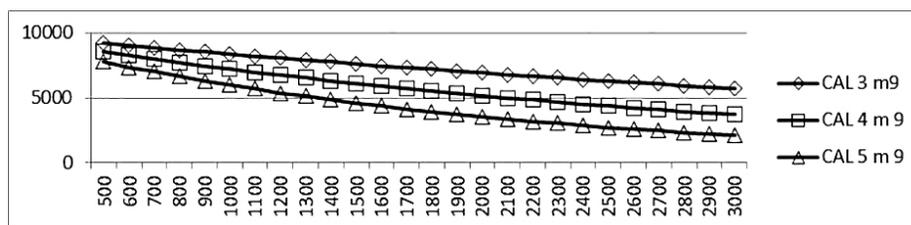


Рис. 4. Кинетическая энергия снарядов различного калибра, 9 г

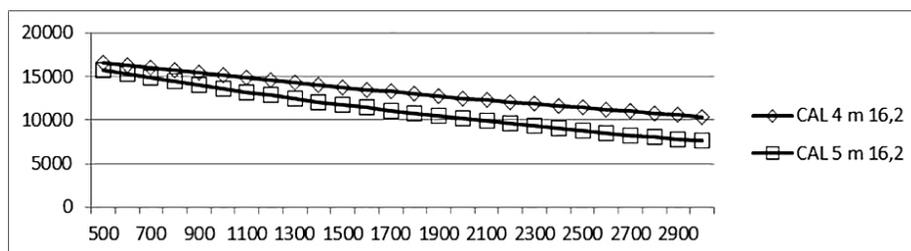


Рис. 5. Кинетическая энергия снарядов различного калибра, 16,2 г

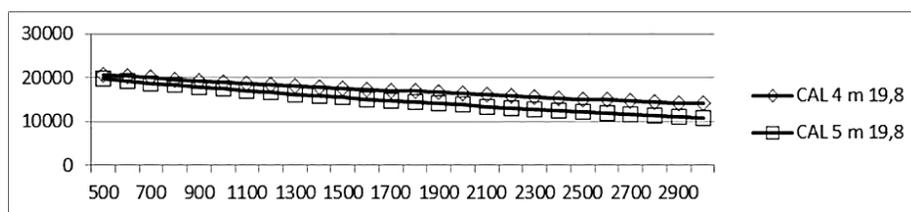


Рис. 6. Кинетическая энергия снарядов различного калибра, 19,8 г

В обозначении кривых кинетической энергии снаряда указаны: калибр снаряда, мм; масса снаряда, г. Из данных рис. 4–6 следует сделать вывод, что на исследуемом диапазоне дальностей, снаряды, обладающие характеристиками, приведенными в табл. 3, обладают энергией, достаточной для поражения биологической ткани. Оценку эффективности передачи энергии на терминальном участке следует выполнять согласно соотношению (2).

Для оценки возможности поражения биологической ткани, защищенной СИБЗ, рассмотрим классы защитных структур бронедежды по стойкости к воздействию средств поражения [10] и вычислим предельные значения удельной кинетической энергии для приведенных типов снарядов (табл. 4).

Анализ табл. 4 показывает, что, исходя из закона сохранения энергии, в зависимости от класса СИБЗ, энергия, затрачиваемая снарядом на ее

Таблица 4

Классы защитных структур бронедежды и предельная E_k

Класс	Тип сердечника	Масса, г	Скорость, м/с	Калибр, мм	E_k	$E_{уд}$
1	стальной	5,9	325	9	312	1959
2	стальной	25	335	5,45	1403	24053
2а	свинцовый	35	410	18,5	2942	4378
3	стальной нетермоупрочненный	3,4	910	5,45	1408	24138
4	стальной термоупрочненный	3,6	910	5,45	1491	25558
5	стальной нетермоупрочненный	9,6	840	7,62	3387	29707
5а	специальный	7,4	750	7,62	2081	18255
6	стальной термоупрочненный	9,6	840	7,62	3387	29707
6а	специальный	10,4	835	7,62	3626	31801

преодоление, не превышает значения, приведенного в столбце 7 табл. 4. Таким образом, группа осколков снаряда, после преодоления СИБЗ, на исследуемом диапазоне дистанций, будет иметь суммарную кинетическую энергию, равную разности значений кинетической энергии перед началом терминального участка и кинетической энергии, затраченной на преодоление СИБЗ. Рассмотрим энергетическую возможность поражения защищенного СИБЗ объекта воздействия, расположенного за преградой, преодоление которой привело к фрагментации снаряда и потере до

30 % кинетической энергии. Примем вариант дробления снаряда с заданным коэффициентом формы на фрагменты, длина которых равна диаметру. Результаты расчета энергетической возможности поражения биологической ткани приведены на рис. 7–9. В обозначении кривых удельной энергии осколка снаряда показаны: материал, калибр, масса, длина исходного снаряда. Анализ рис. 7–9 позволяет провести для снарядов (табл. 2) оценку предельной эффективной дальности, на которой возможно поражение биологической ткани, защищенной СИБЗ в объеме, приведенном в табл. 1.

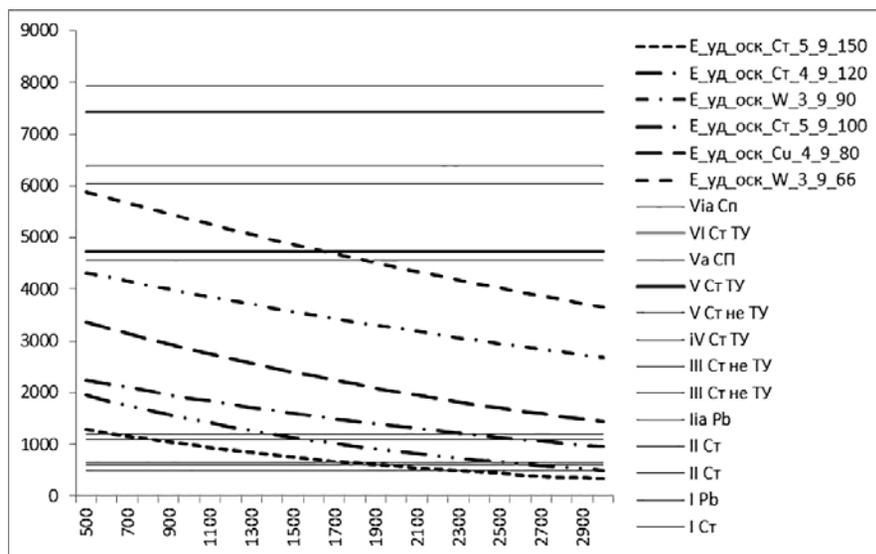


Рис. 7. Энергетическая возможность поражения защищенной СИБЗ биологической ткани осколками снарядов с различным коэффициентом формы, массой 9 г

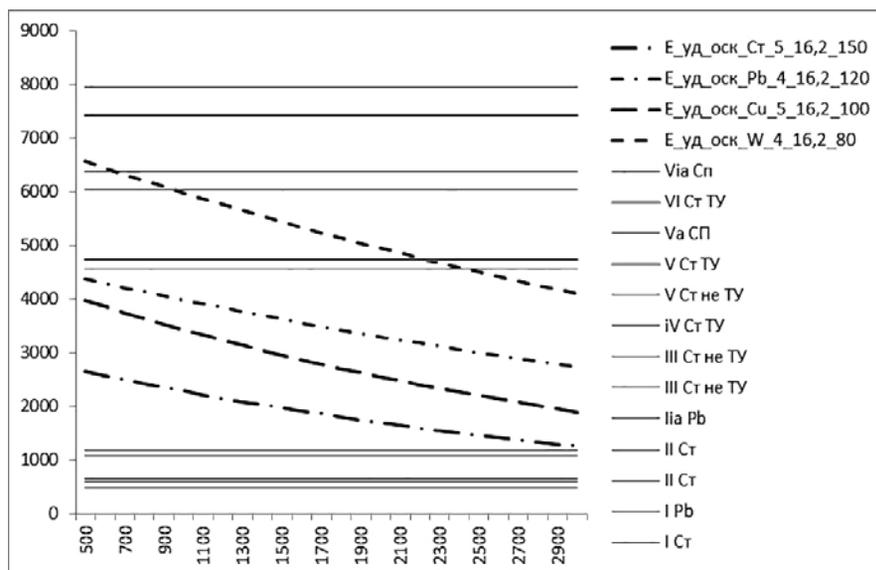


Рис. 8. Энергетическая возможность поражения защищенной СИБЗ биологической ткани осколками снарядов с различным коэффициентом формы, массой 16,2 г

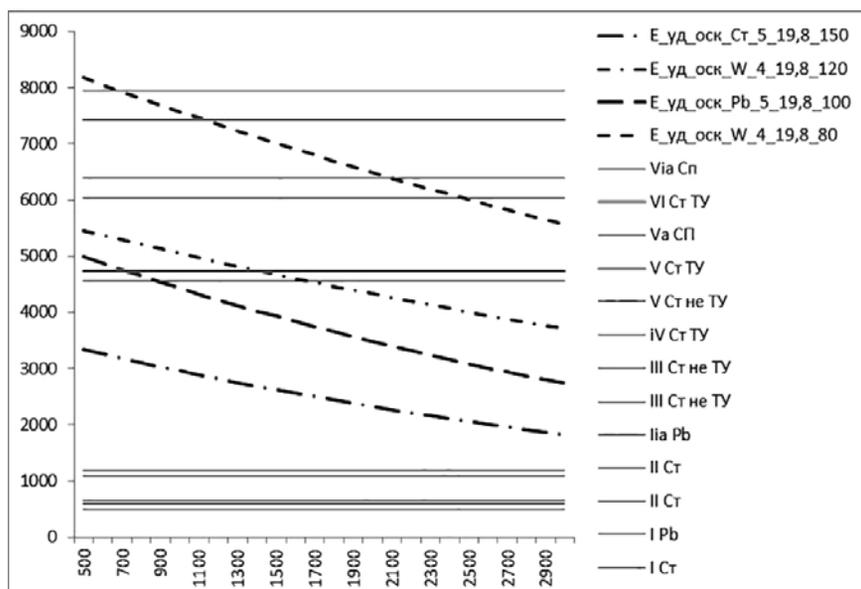


Рис. 9. Энергетическая возможность поражения защищенной СИБЗ биологической ткани осколками снарядов с различным коэффициентом формы, массой 19,8 г

Литература

1. Министерство обороны Российской Федерации. Боевой устав по подготовке и ведению общевойскового боя. Часть 3. Взвод, отделение, танк. М.: Военное издательство, 2005.
2. Саврань Л.Ф. Методика определения минимальной убийной силы стандартного и атипичного огнестрельного оружия и боеприпасов: пособие для экспертов. М., 1979.
3. Знаменский Е.А. Фугасное и осколочное действие артиллерийских боеприпасов. Санкт-Петербург: БГТУ «Военмех» им. Д.Ф. Устинова, 2016. 66 с..
4. Гуманенко Е.К. Военно-полевая хирургия: учебник. 2-е изд., изм. и доп. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008. 768 с.
5. Advanced Combat Rifle, Program Summary, Vol. 1, ARDEC, 1992. 146 p.
6. Per G. Arvidsson Chairman NATO Infantry Weapons Standardization. Weapons & Sensors Working Group Land Capability Group 1 — Dismounted Soldier NATO Army Armaments Group.
7. Лебедев А.А., Чернобровкин Л.С. Динамика полета беспилотных летательных аппаратов. Москва: ОБОРОНГИЗ, 1962. 548 с.
8. Мураховский В.И., Федосеев С.Л. Оружие пехоты: справочник. М.: Арсенал-Пресс, 1992. 390 с.
9. Денисова Э.И., Карташов В.В., Рычков В.Н. Прикладное материаловедение: металлы и сплавы: учебное пособие. Екатеринбург: изд-во Урал. ун-та, 2018. 216 с.
10. Государственный стандарт РФ ГОСТ Р 50744-95 Бронеодежда. Классификация и общие технические требования. М.: Госстандарт России, 1995. 12 с.

УДК: 004.052.44; 004.054

DOI: 10.53816/20753608_2024_1_72

**МЕТОДИКА ПОРТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
В РЕЖИМ БЕЗОПАСНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ
АППАРАТНО-ПРОГРАММНОЙ ПЛАТФОРМЫ «ЭЛЬБРУС»**

**THE METHODOLOGY FOR PORTING A SOFTWARE INTO SECURE
COMPUTING MODE OF «ELBRUS» HARDWARE AND SOFTWARE PLATFORM**

По представлению академика РАН В.С. Ивановского

А.В. Морозов, Г.Е. Панамарев

Военный инновационный технополис «ЭРА»

A.V. Morozov, G.E. Panamarev

В статье представлено научное осмысление результатов прикладных исследований по созданию системы повышения доверия к программному обеспечению на основе аппаратных средств детального контроля. Ключевым элементом данной системы является методика портирования программного обеспечения в режим безопасных вычислений аппаратно-программной платформы «Эльбрус». Представлены методические аспекты механизма портирования, описан процесс его реализации на основе проведенных практических исследований. Методика формализует процесс портирования и позволяет рассматривать его как элемент технологического цикла.

Ключевые слова: режим безопасных вычислений, аппаратно-программная платформа «Эльбрус», портирование, архитектура E2K, дескрипторы, аппаратные средства детального контроля, методика портирования.

Paper presents scientific analysis of applied research on development of a system for software trustworthiness elevation based on hardware for detailed inspection. The key element of this system is the methodology for porting a software into secure computing mode of “Elbrus” hardware and software platform. Methodological aspects of porting mechanics are presented; the process of its implementation developed from practical studies is described. Presented methodology formalizes the porting process and allows including it into technological cycle.

Keywords: secure computing mode, «Elbrus» hardware and software platform, software porting, E2K architecture, descriptors, hardware for detailed inspection, porting methodology.

Введение

Процессоры семейства «Эльбрус» — это архитектурное решение, позволяющее эффективно выполнять вычислительные задачи за счет комплекса устройств, формирующих широкую команду ELBRUS (ExpLicit Basic Resources Utilization Scheduling, явное планирование использования основных ресурсов). Каждый процессор поддерживает явную спекулятивность,

что повышает скорость выполнения команд при параллельных вычислениях. В арсенале Эльбруса имеется три аппаратных стека: пользовательский — для хранения данных пользователя; стек цепочек возврата — для хранения адресов возвратов функций; и стек регистров, содержащий параметры, через которые передаются адреса. Использование данной структуры позволяет повысить защищенность аппаратно-программной платформы по сравнению с зарубежными

аналогами за счет недопустимости модификации пользователем адресов перехода [1, 2].

Процессоры семейства «Эльбрус» функционируют как в обычном, так и в режиме безопасных вычислений. В случае режима безопасных вычислений используется расширенный набор команд процессора. Применение режима безопасных вычислений строится на основе аппаратной поддержки доступа к объектам исключительно через дескрипторы.

При этом эффективность системы достигается не только за счет архитектуры микропроцессора, но и за счет оптимизирующего компилятора. Процессор использует архитектуру «широкого командного слова», компилятор формирует группы команд, в которых отсутствуют взаимосвязи между элементами внутри группы. Высокий уровень параллелизма обеспечивается за счет параллельного исполнения групп команд [3].

Аппаратно-программная платформа (АПП) «Эльбрус» — это сложный уникальный инженерный комплекс, потенциал которого требует детальной проработки. Цель научной работы — формирование ключевых составляющих методики портирования программного обеспечения в режим безопасных вычислений и описание процесса ее реализации на основе результатов практических исследований.

Основная часть

Режим безопасных вычислений (РБВ) требует более строгого контроля типов данных. Там, где стандартом языка Си декларируется неопределенность поведения, РБВ в большинстве случаев вызовет аппаратное прерывание. Кроме того, РБВ накладывает определенные ограничения на используемый код, но в то же время увеличивает его защищенность. В качестве распространенных конструкций языка Си с неопределенным поведением, являющимися недопустимыми для РБВ, выступают [4]:

1. Отсутствие операции возврата (*return*) в функции, выдающей результат;
2. Частично-инициализированные буферы;
3. Использование неинициализированных переменных и структур;
4. Модификация указателей.

Существует ряд особенностей режима безопасных вычислений. Ключевой является исполь-

зование дескрипторов. Дескриптор — это структура, содержащая базовый адрес, смещение от базового адреса и размер выделенной области. В РБВ к данным добавляются специальные биты, определяющие тип этих данных, — теги. При этом аппаратно поддерживаются теги размерами два бита на слово и четыре бита на двойное слово, а при приведении дескриптора к целочисленному типу данных (например, *unsigned long*) происходит преобразование в указатель. Обратная операция получения дескриптора из указателя вызовет аппаратное прерывание. Для портирования программного обеспечения (ПО) в РБВ архитектуры Е2К АПП «Эльбрус» определено семь этапов [5, 6]:

1. Загрузка исходного кода программы;
2. Конфигурация исходного кода программы;
3. Проверка параметров сборки программы;
4. Сборка программы;
5. Контрольный запуск;
6. Тестирование программы;
7. Формирование протокола портирования программы.

К типовым действиям, выполняемым во время портирования ПО в РБВ архитектуры Е2К АПП «Эльбрус», отнесем следующие [7, 8]:

- загрузка исходного кода портируемого ПО и выполнение сбора исходной информации об объекте портирования: определение перечня зависимостей и используемых библиотек;
- выполнение конфигурации исходного кода программы (в программах ОС Linux автоматизация выполнения процесса конфигурации осуществляется с помощью скриптов, поставляемых с исходным кодом проекта);
- задание требуемых параметров (в т.ч.: место установки, место расположения используемых библиотек) и флагов (выбор режима исполнения, оптимизация кода, добавление отладочной информации);
- проведение сборки программы (выполняется при помощи сгенерированных на этапе конфигурации сборочных скриптов);
- проведение контрольного запуска программы (открытие исполняемого файла портируемого ПО в ранее указанную директорию, в случае возникновения ошибки необходимо заново задать требуемые параметры);
- выполнение тестирования программы (исполнение набора автоматических тестов)

прилагаемых к исходным кодам программы, если возникают сбои во время тестирования определить количество ошибок — их причину и внести корректирующие изменения в исходный код программы, тестирование должно быть выполнено как минимум для каждого метода и процедуры в коде портируемого ПО).

В результате каждое используемое программное средство и его отдельные модули должны быть испытаны. Эти испытания должны показать, что каждый модуль выполняет предназначенную ему функцию и не выполняет непредназначенных функций.

Также программные средства должны пройти испытания на отсутствие компьютерных вирусов. После чего необходимо проанализировать полученные результаты с точки зрения полноты портирования ПО в РБВ архитектуры Е2К АПП «Эльбрус» и запротоколировать информацию о используемых при портировании параметрах, флагах и внесенных изменениях в исходный программный код.

Испытания должны проводиться в нормальных климатических условиях в соответ-

ствии с ГОСТ 22261-94. В процессе их проведения присутствуют ресурсные ограничения по необходимым для сборки ПО библиотекам и ограничения по времени проведения испытаний, так как процесс сборки и отладки функционала занимает длительное время. Исходя из данных ограничений формируется алгоритм проведения испытаний.

Первый шаг, загрузка исходного кода портируемого ПО и проверка наличия вредоносного ПО с помощью антивируса. Сравниваются контрольные суммы скачанного архива с указанными в описании на официальной странице проекта. Вычисляется контрольная сумма архива по алгоритму *SHA1* при помощи утилиты *Rhash* (представлено на рис. 1). В случае отсутствия предупреждений антивирусного ПО и идентичности контрольных сумм возможно дальнейшее портирование ПО в РБВ архитектуры Е2К [9].

Второй шаг, конфигурация исходного кода портируемого ПО. Директория утилиты содержит скрипты автоматизации преобразования файлов *autogen.sh* и *configure*. Содержимое файла *configure* представлено на рис. 2.

```
user@localhost:~/serducov/RHash-1.4.2$ ./rhash --sha1 '/home/user/serducov/gnupg-1.4.23.tar.bz2'  
13747486ed5ff707f796f34f50f4c3085c3a6875 /home/user/serducov/gnupg-1.4.23.tar.bz2  
user@localhost:~/serducov/RHash-1.4.2$
```

Рис. 1. Вычисление контрольной суммы архива GnuPG

```
ac_precious_vars='build_alias  
host_alias  
target_alias  
CC  
CFLAGS]  
LDFLAGS  
LIBS  
CPPFLAGS  
CPP  
CC_FOR_BUILD  
CCAS  
CCASFLAGS'  
  
# Initialize some variables set by options.  
ac_init_help=  
ac_init_version=false  
ac_unrecognized_opts=  
ac_unrecognized_sep=  
# The variables have the same names as the options, with  
# dashes changed to underlines.  
cache_file=/dev/null  
exec_prefix=NONE  
no_create=  
no_recursion=  
prefix=NONE
```

Рис. 2. Содержимое файла *configure*

На рис. 3 отображен вызов скрипта *configure* со следующими параметрами:

prefix — указывает директорию установки утилиты;

CC=lcc — использование выбранного компилятора языка Си;

CPP=l++ — использование выбранного компилятора языка Си++;

mpt128 — использование защищенного режима исполнения архитектуры E2K;

g — создание отладочной информации;

O0 — выбор первого уровня оптимизации кода.

Третий шаг, осуществление проверки параметров сборки программы. В некоторых случаях указанные на этапе конфигурации параметры сборки программы могут быть проигнорированы скриптами автоматизации преобразования файлов. Во избежание ошибок, вызванных по данной причине, необходимо проанализировать содержимое сгенерированных *Makefile*-ов на предмет соответствия заданным на этапе конфигурации параметрам [10]. В случае нахождения несоответствия, необходимо заменить параметры на требуемые вручную. Пример некорректных параметров представлен на рис. 4.

На этапе конфигурации был указан флаг использования режима безопасных вычислений *-mpt128*, следовательно, при сборке программы должны быть использованы 128-разрядные библиотеки *lib128*. По неизвестной причине скрипт *configure* проигнорировал требуемый параметр и использовал 64-разрядную библиотеку *lib64*. Данное несоответствие исправлено вручную.

Четвертый шаг, проведение сборки программы. Сборка ПО выполняется при помощи созданных на этапе конфигурации сборочных скриптов [11]. Если скрипт для автоматизированной сборки содержится в файле формата *Makefile*, то ис-

пользуется утилита *make*. Рекомендуется использовать утилиту *make* с правами администратора, т.е. применять команду *sudo make*, поскольку в некоторых случаях при сборке программы возникает ошибка, связанная с отсутствием у пользователя прав доступа к используемым директориям. После успешного выполнения команды *make* следует использовать команду *sudo make install* для установки ПО.

Сборка проекта может прерваться при возникновении следующих ошибок:

- отсутствие необходимых библиотек в РБВ;
- ошибка в исходном коде программы.

В случае возникновения ошибки отсутствия библиотеки в РБВ автоматизированный скрипт сообщит наименование требуемой библиотеки. Для портирования библиотеки в РБВ необходимо выполнить последовательность действий, идентичную портированию утилит:

1. Загрузить исходный код библиотеки с официального сайта;
2. Выполнить конфигурацию исходного кода;
3. Проверить параметры сборки и собрать библиотеку.

Существует вероятность, что портируемая библиотека потребует для сборки другие библиотеки в РБВ. В этом случае необходимо портировать все зависимые библиотеки, пока не будут удовлетворены требования сборки корневой библиотеки.

В случае возникновения ошибки в исходном коде программы на этапе сборки компилятор сообщит о файле проекта, прервавшем сборку (рис. 5). Для устранения ошибки необходимо проанализировать код прервавшего сборку файла.

Пятый шаг, производство контрольного запуска программы. После успешного завершения этапа сборки ПО появляется

```
user@localhost:~/serducov/gpg_test/gnupg_128$ sudo ./configure --prefix="/home/user/serducov/128/" CC="lcc" CPP="l++" -E" CFLAGS="-mpt128 -g -O0" LDFLAGS="-mpt128 -g -O0" CPPLFLAGS="-mpt128 -g -O0"
Пароль:
checking build system type... e2k-unknown-linux-gnu
checking host system type... e2k-unknown-linux-gnu
```

Рис. 3. Реализация конфигурации файлов в проекте GnuPG

```
GPGRТ_CONFIG = /usr/bin/gpgгt-config --libdir=/usr/lib64
GPG_ERROR_CFLAGS =
GPG_ERROR_CONFIG = /usr/bin/gpgгt-config --libdir=/usr/lib64 gpg-error
```

Рис. 4. Некорректные параметры *Makefile*

```
gcc: "conf-yaml-loader.c", строка 26: фатальная ошибка #1696: не могу открыть
исходник файл "yaml.h"
#include <yaml.h>
^
1 катастрофическая ошибка обнаружено при компиляции "conf-yaml-loader.c".
Compilation terminated.
make[2]: *** [Makefile:1779: conf-yaml-loader.o] Ошибка 1
```

Рис. 5. Пример ошибки на этапе сборки проекта

возможность приступить к непосредственному запуску исполняемого файла проекта. Для этого необходимо запустить исполняемый файл с названием проекта, находящийся в директории по пути, установленном параметром *prefix* на этапе сборки программы. Контрольный запуск производится с минимально возможным количеством параметров и считается успешным, если не возникло каких-либо ошибок исполнения. В случае возникновения ошибки будет вызвано аппаратное прерывание и пользователь получит сообщение об ошибке. В некоторых случаях сообщение будет содержать код ошибки и место вызова прерывания, в случае отсутствия необходимой информации следует использовать стек вызовов и средства трассировки для локализации ошибок. Необходимо проанализировать код файлов, которые вызвали ошибку, и внести в них соответствующие изменения. Результат контрольного запуска утилиты *GnuPG* с параметрами *--gen-key* представлен на рис. 6.

В результате выполнения контрольного запуска возникла ошибка использование недопустимой инструкции. Поскольку вызываемая программа не предоставила сведения о возможной причине ошибки, следует произвести локализацию ошибок при помощи стандартной утилиты-отладчика *GDB*. Получить отладочную информацию позволил заданный на этапе конфигурации флаг *-g*. Для этого выполнен запуск исполняемого файла *GnuPG* с использованием утилиты *GDB* командой *gdb./gpg*. Далее, произведено исполнение файла командой *r --gen-key*. При исполнении кода с отладчиком получено сообщение *Program received signal SIGILL, Illegal instruction*. Также получена информация о строке исходного кода, при исполнении которой воз-

никла ошибка. Для локализации ошибки использован стек вызовов с использованием инструкции *bt* (рис. 7).

Согласно информации, предоставленной стеком вызова, падение программы произошло при выполнении метода *mpi_set_cond* файла *mpiutil.c*. В строке кода, на которой произошло аппаратное прерывание, используются структуры *w* и *u*. Наиболее распространенной ошибкой при портировании в РБВ архитектуры E2K являются неинициализированные переменные. Можно предположить, что причиной падения является одна из приведенных выше структур. Фрагмент кода программы, в котором возникла ошибка недопустимой инструкции, представлен на рис. 8.

Ошибка возникла на строке $x = mask \& (w->nbits \wedge u->nbits)$. Согласно коду метода *mpi_set_cond*, в нем не происходит инициализация структур *w* и *u*, метод получает структуры *w* и *u* типа *MPI* в качестве входных параметров. Для определения места инициализации рассматриваемых структур принято решение исследовать следующий элемент в стеке вызовов — метод *mpi_powm*. При анализе кода метода *mpi_powm*, фрагмент которого представлен на рис. 9, обнаружена инициализация элементов структур *w* и *u*.

В приведенном коде нулевыми значениями инициализированы следующие элементы структур *w* и *u*: *sign*, *flags*. Инициализация элементов *nbits*, используемых в методе *mpi_set_cond*, отсутствует. Фрагмент кода метода *mpi_powm* с внесенными исправлениями представлен на рис. 10.

После исправления найденной ошибки необходимо повторно осуществить процесс сборки и

```
Необходимо сгенерировать много случайных чисел. Желательно, чтобы Вы
выполняли некоторые другие действия (печать на клавиатуре, движения мыши,
обращения к дискам) в процессе генерации; это даст генератору
случайных чисел больше возможностей получить достаточное количество энтропии.
Недопустимая инструкция
user@localhost:~/serducov/128/bin$
```

Рис. 6. Пример ошибки при контрольном запуске *GnuPG*

выполнить контрольный запуск. В случае возникновения прерывания требуется вернуться к поиску и исправлению ошибки в коде проекта. Также проблему неинициализированных полей структур можно решить сразу при объявлении структуры, «обнулив» ее. Для этого используется функция `memset(*u, 0, size(u))`, где `u` — необходимая структура. В результате все поля структуры `u` станут равны значению 0.

Шестой шаг, выполнение тестирования программы. В большинстве случаев в исходных файлах проектов портируемых программ содержатся автоматические тесты. Тесты находятся в директориях под названием `check`, `tests` и вызываются при помощи утилиты `make` командой `sudo make check`. Скрипты автоматизированного тестирования предоставят информацию о пройденных тестах. В большинстве случаев

```
Program received signal SIGILL, Illegal instruction
exc Illegal operand at 0x5055f5d0 ALS0
0x000000005055f5d0 in mpi_set_cond (w=0xc25ffffdc0, u=0xc25ffffcdf0, set=0)
  at mpiutil.c:455
455      x = mask & (w->nbits ^ u->nbits);
(gdb) bt
#0 0x000000005055f5d0 in mpi_set_cond (w=0xc25ffffdc0, u=0xc25ffffcdf0,
  set=0) at mpiutil.c:455
#1 0x0000000050544360 in mpi_powm (res=0x50f72620, base=0x50f72500,
  expo=0x50f72660, mod=0x50f726a0) at mpi-pow.c:627
#2 0x00000000504c2270 in gen_prime (nbits=1024, secret=1, randomlevel=2)
  at primegen.c:368
#3 0x00000000504c1290 in generate_secret_prime (nbits=1024) at primegen.c:70
#4 0x00000000504b0a80 in generate (sk=0xc25ffffd060, nbits=2048)
  at rsa.c:122
#5 0x00000000504b0180 in rsa_generate (algo=1, nbits=2048,
  skey=0xc25ffffd200, retfactors=0xc25ffffd260) at rsa.c:405
#6 0x000000005043e080 in pubkey_generate (algo=1, nbits=2048,
  skey=0xc25ffffd200, retfactors=0xc25ffffd260) at pubkey.c:437
#7 0x0000000050431000 in gen_rsa (algo=1, nbits=2048, pub_root=0x50f71600,
  sec_root=0x50f71670, dek=0x5065f630, s2k=0x5065f590,
  ret_sk=0xc25ffffd4d0, timestamp=1650441491, expireval=0, is_subkey=0)
  at keygen.c:1272
#8 0x0000000050419000 in do_create (algo=1, nbits=2048, pub_root=0x50f71600,
  sec_root=0x50f71670, dek=0x5065f630, s2k=0x5065f590, sk=0xc25ffffd4d0,
  timestamp=1650441491, expiredate=0, is_subkey=0) at keygen.c:2046
#9 0x000000005039c000 in do_generate_keypair (para=0x50f71410,
  outctrl=0xc25ffffd670, card=0) at keygen.c:3131
#10 0x000000005039b000 in proc_parameter_file (para=0x50f71410,
  --Type <RET> for more, q to quit, c to continue without paging--
```

Рис. 7. Стек вызовов в отладчике GDB

```
void
mpi_set_cond( MPI w, MPI u, unsigned long set)
{
    mpi_size_t i;
    mpi_size_t nlimbs = u->allocated;
    mpi_limb_t mask = ((mpi_limb_t)0) - !!set;
    mpi_limb_t x;

    if (w->allocated != u->allocated)
        log_bug ("mpi_set_cond: different sizes\n");

    for (i = 0; i < nlimbs; i++)
    {
        x = mask & (w->d[i] ^ u->d[i]);
        w->d[i] = w->d[i] ^ x;
    }

    x = mask & (w->nlimbs ^ u->nlimbs);
    w->nlimbs = w->nlimbs ^ x;

    x = mask & (w->nbits ^ u->nbits);
    w->nbits = w->nbits ^ x;

    x = mask & (w->sign ^ u->sign);
    w->sign = w->sign ^ x;
}
```

Рис. 8. Фрагмент кода метода `mpi_set_cond`

```
int c0;
mpi_limb_t e0;
struct gcry_mpi w, u;
w.sign = u.sign = 0;
w.flags = u.flags = 0;
w.nbits = u.nbits = 0;
w.d = base_u;
```

Рис. 9. Исходный код инициализации структур `w` и `u`

```
int c0;
mpi_limb_t e0;
struct gcry_mpi w, u;
w.sign = u.sign = 0;
w.flags = u.flags = 0;
w.d = base_u;
```

Рис. 10. Измененный код инициализации структур `w` и `u`

```
user@localhost:~/serducov/gpg_test/128/bin$ ./gpg --gen-key
gpg (GnuPG) 1.4.23; Copyright (C) 2015 Free Software Foundation, Inc.
This is free software: you are free to change and redistribute it.
There is NO WARRANTY, to the extent permitted by law.

Выберите тип ключа:
(1) RSA и RSA (по умолчанию)
(2) DSA и Elgamal
(3) DSA (только для подписи)
(4) RSA (только для подписи)
Ваш выбор? 2
длина ключей DSA может быть от 1024 до 3072 бит.
Какой размер ключа Вам необходим? (2048) 2048
Запрошенный размер ключа - 2048 бит
Выберите срок действия ключа.
  0 = без ограничения срока действия
  <n> = срок действия - n дней
  <n>w = срок действия - n недель
  <n>m = срок действия - n месяцев
  <n>y = срок действия - n лет
Срок действия ключа? (0) <30>
недопустимое значение
Срок действия ключа? (0) <15>
недопустимое значение
Срок действия ключа? (0) <2>w
недопустимое значение
Срок действия ключа? (0)
Срок действия ключа не ограничен
Все верно? (y/N) y
```

Рис. 11. Проверка функционирования GnuPG

автотесты проверяют соответствие входных и выходных данных по алгоритмам, разработанными, авторами портируемого ПО, поэтому в случае провала теста следует искать ошибку не в коде тестов, а в исходном коде портируемой программы.

Помимо использования поставляемых с ПО автотестов следует использовать модульное тестирование программы, например с применением библиотеки языка Си *assert.h*. Тестирование должно быть выполнено как минимум для каждой процедуры и функции в коде портируемого программного обеспечения.

После программного тестирования осуществляется тестирование функционала ПО. С полным перечнем параметров и команд программы можно ознакомиться при вызове команды *--help (-h)* или в текстовом файле *Readme*, входящем в состав проекта. Пример проверки функционала утилиты *GnuPG* приведен на рис. 11.

Портирование можно проводить как для программных пакетов, так и для отдельных библиотек. Процесс сборки крупных проектов может занимать довольно длительное время. В случае пересборки процесс идет быстрее, поскольку утилита-сборщик взаимодействует только с измененными файлами и их зависимостями. Если процесс пересборки программы завершается некорректно, то следует очистить директорию командой *make clean*.

В документирование испытаний формируется протокол портирования ПО в режим безопасных вычислений архитектуры Е2К аппаратно-программной платформы «Эльбрус». В данном протоколе отображаются следующие этапы: проверка исходного кода портируемого ПО на наличие вредоносного, вирусного ПО; проверка контрольных сумм; конфигурация проекта; сборка проекта; тестирование работоспособности.

В целях оптимизации процесса переноса портированного кода на другие версии машин с архитектурой Е2К, либо исправления текущих сборок в протокол портирования заносится информация о всех флагах и параметрах, используемых на стадии конфигурации проекта, а также на стадии проверки параметров сборки.

При использовании на этапе тестирования работоспособности портированного ПО модульных тестов необходимо предоставлять их исходный код, а также документировать используемые при тестировании входные и выходные данные.

В случае возникновения ошибки при портировании ПО необходимо зафиксировать в протоколе входные данные и последовательность действий, совершенных пользователем, приведших к некорректной работе ПО. Полученная информация должна быть использована для локализации и устранения скрытых ошибок при работе с архитектурой Е2К.

Заключение

Резюмируя результаты исследования, следует отметить, что РБВ — одна из ключевых возможностей, заложенных в архитектуру E2K АПП «Эльбрус»; это особый режим работы процессора «Эльбрус», в котором аппаратура контролирует доступ в память не только к отдельным страницам, но и к отдельным объектам программы, что позволяет не допускать эксплуатацию злоумышленниками ряда уязвимостей, в том числе исключать «переполнение буфера». При этом РБВ значительно ускоряет процесс отладки разрабатываемого ПО за счет того, что аппаратура процессора сама детектирует ряд ошибок и прерывает работу программы в момент возникновения ошибки (нарушения правил доступа к объектам в памяти), а не в момент проявления последствий этой ошибки.

Предлагаемая методика позволяет формализовать процесс портирования ПО в РБВ и реализовать на основе АПП «Эльбрус» систему детального контроля над работой ПО на аппаратном уровне.

Литература

1. Морозов А.В., Панамарев Г.Е. Исследование технологий повышения доверия к специальному программному обеспечению с применением инструментальных средств, реализующих фаззинг — тестирование // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2022. № 3 (123). С. 129–136.

2. Панамарев Г.Е. Исследование новых подходов к разработке методов обнаружения уязвимостей в автоматизированных системах военного назначения // Военная мысль. 2023. № 3. С. 82–89.

3. Русяев Р.М., Нейманзаде М.И., Ермолицкий А.В., Волконский В.Ю. Программно-аппаратные средства выявления ошибок обращения к памяти для архитектуры «Эльбрус» // Вопросы радиоэлектроники. 2017. № 3. С. 33–38.

4. Григорьев П.В., Киржаев Д.А. Анализ недопустимых конструкций на языке Си при портировании программного обеспечения в защищенный режим исполнения на базе процессора «Эльбрус» / Сборник трудов II Всероссийской научно-технической конференции «Состояние

и перспективы развития современной науки по направлению ИТ-технологии». Анапа, 2023. С. 34–50.

5. Девянин П.Н., Тележников В.Ю., Хорошилов А.В. Формирование методологии разработки безопасного системного программного обеспечения на примере операционных систем // Труды ИСП РАН. 2021. № 5. С. 25–40.

6. Вареница В.В., Марков А.С., Савченко В.В., Цирлов В.Л. Практические аспекты выявления уязвимостей при проведении сертификационных испытаний программных средств защиты информации // Вопросы кибербезопасности. 2021. № 5 (45). С. 36–44.

7. Панамарев Г.Е., Малинин К.С., Сердюков П.С., Леонтьев З.Д. Перенос в защищенный режим исполнения «Эльбрус» утилиты для шифрования ссгурт / Сборник статей I научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «ИТ-технологии». Анапа, 2022. С. 109–118.

8. Струков М.С., Григорьев П.В. Портирование в ЗРИ E2K программы pdfcrack / Сборник трудов II Всероссийской научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития современной науки по направлению ИТ-технологии». Анапа, 2023. С. 18–26.

9. Кондратьев Б.В., Поддубный М.И., Леонтьев З.Д. Портирование утилиты для вычисления контрольных сумм rhash в защищенный режим исполнения архитектуры E2K / Сборник статей I научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «ИТ-технологии». Анапа, 2022. С. 6–16.

10. Буланый Р.И., Хиков С.П., Малинин К.С. Компиляция и компоновка программ и библиотек в защищенном режиме исполнения семейства «Эльбрус» / Сборник статей I научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «ИТ-технологии». Анапа, 2022. С. 91–100.

11. Кравцунов Е.М., Гисматов А.Р., Антипов А.С., Копылов Н.М. Исследование актуальных уязвимостей cve на платформе «Эльбрус» / Сборник статей конференции «Информатика и вычислительная техника». 2019. С. 176–179.

УДК: 623.46

DOI: 10.53816/20753608_2024_1_80

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ОШИБКИ УГЛА ВИЗИРОВАНИЯ
НА ВЕРОЯТНОСТЬ ПОРАЖЕНИЯ ЦЕЛИ ЗЕНИТНОЙ РАКЕТОЙ**
**ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF VIEWING ANGLE ERROR ON THE
PROBABILITY OF HITING A TARGET BY AN ANTI-AIRCRAFT MISSILE**

По представлению академика РАРАН В.М. Кашина

А.Б. Борзов, Г.Л. Павлов, Ю.В. Каракулин, М.А. Тимощенко

МГТУ им. Н.Э. Баумана

A.B. Borzov, G.L. Pavlov, Y.V. Karakulin, M.A. Timoshchenko

В статье описана математическая модель оценки вероятности поражения цели зенитной ракетой при заданном промахе и угле визирования цели. Для вычисления максимальной вероятности поражения цели проведен расчет оптимального угла визирования цели, совпадающего с вектором динамической скорости медианного осколка, в относительной и ракетной системах координат. Проанализировано влияние среднеквадратического отклонения угла визирования цели в момент подрыва боевой части на вероятность поражения цели зенитной ракетой.

Ключевые слова: угол визирования, поле разлета осколков, вероятность поражения цели осколочным полем, среднеквадратическое отклонение промаха.

The article describes a mathematical model for estimating the probability of hitting a target with an anti-aircraft missile for a given miss and target sighting angle. To calculate the maximum probability of hitting a target, the optimal target sighting angle, coinciding with the dynamic velocity vector of the median fragment, was calculated in relative and missile coordinate systems. The influence of the standard deviation of the target sighting angle at the moment of detonation of the warhead on the probability of hitting the target by an anti-aircraft missile is analyzed.

Keywords: sighting angle, fragmentation field, probability of hitting a target by a fragmentation field, standard deviation of a miss.

В области таких научных дисциплин, как теория эффективности и теория принятия решений, важнейшим аспектом является определение оптимальных условий срабатывания боевой части ракеты при условии поражения цели с наибольшей вероятностью [1]. Для достижения требуемой результативности при решении данных задач необходимо оценивать параметры, влияющие на условия встречи ракеты и цели, и, как следствие, вероятность накрытия объекта полем разлета осколков.

Для определения оптимального угла визирования цели в момент срабатывания боевой части по критерию максимума вероятности поражения цели в относительной и ракетной системах координат (ОСК и РСК соответственно) необходимо задаться следующими исходными данными [2]:

- вектор скорости ракеты v_r ;
- вектор скорости цели v_c ;
- угол γ между осью ординат в РСК и проекцией оси абсцисс в ОСК на плоскость РСК;
- вектор скорости медианного осколка v_s .

Для того чтобы медианный осколок попал в точечную цель, необходимо выполнение двух условий (рис. 1):

– пересечение траектории осколка и цели происходит в одной точке. Для этого траектории полета осколка и цели должны лежать в одной плоскости [3];

– момент вылета осколка должен соответствовать моменту пространственного положения цели на линии визирования, совпадающей с вектором динамической скорости разлета v_d [4].

Угол φ_r между осью X_r и вектором v_d называют оптимальным углом визирования цели. Его можно определить по следующей формуле:

$$\cos(\varphi_r) = \frac{v_o + v_s \cdot \cos(\alpha)}{\sqrt{v_s \cdot \sin(\alpha)^2 + (v_o + v_s \cdot \cos(\alpha))^2}}, \quad (1)$$

где v_o — вектор относительной скорости сближения ракета — цель; v_s — вектор скорости осколка; α — угол между вектором скорости осколка и осью X_r .

Исследование и анализ значений вероятности поражения производятся с учетом попадания медианного осколка в воздушную цель [5]. Рис. 2 иллюстрирует модель движения ракеты и цели в ОСК и РСК (оси X_o, Y_o, Z_o и оси X_p, Y_p, Z_p соответственно). В данном случае ось X_o направлена по вектору относительной скорости $v_o = v_r - v_c$. Ось Y_o принадлежит плоскости, в которой расположены векторы скорости ракеты v_r и цели v_c . Эта ось проходит в сторону вершины получаемого скоростного треугольника. Направление оси Z_o составляет правую систему координат [6].

Рассматривая движение ракета — цель в ОСК, можно определить траекторию цели с по-

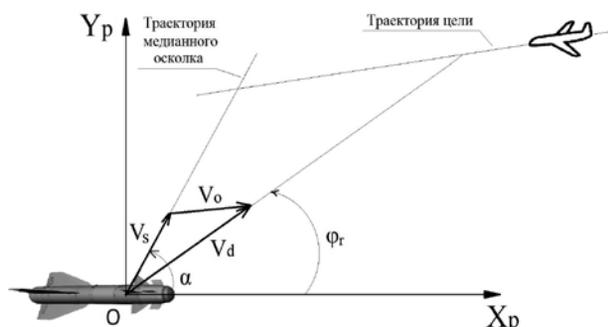


Рис. 1. Условие попадания медианного осколка в точечную цель в РСК

мощью фазы промаха ξ и промаха ρ [7]. Таким образом, поворот по часовой стрелке относительно оси Y_o является положительным значением фазы промаха (по направлению оси X_o). Если принять постоянным значение ρ , то множество значений ξ образует трубку промаха.

Радиус-вектор rc_o в ОСК задается следующим выражением:

$$rc_o = \begin{pmatrix} rc_{ox} \\ rc_{oy} \\ rc_{oz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_o t \\ \rho \cos(\xi) \\ \rho \sin(\xi) \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где t — время, проходящее с момента пролета плоскости разлета медианных осколков до текущего положения цели.

Матрица перехода из ОСК в РСК представляется как:

$$M_{or} = \begin{bmatrix} \cos(\varepsilon) & \sin(\varepsilon) & 0 \\ -\sin(\varepsilon)\cos(\gamma) & \cos(\varepsilon)\cos(\gamma) & -\sin(\gamma) \\ \sin(\varepsilon)\sin(\gamma) & \cos(\varepsilon)\sin(\gamma) & \cos(\gamma) \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где $\varepsilon = [0; \pi]$ — угол пеленга цели (угол между векторами скорости ракеты и относительной скорости); γ — угол между осью Y_p и проекцией оси X_o на плоскость РСК (рис. 3).

Радиус-вектор rc_r в РСК задается следующим выражением:

$$rc_r = \begin{pmatrix} rc_{rx} \\ rc_{ry} \\ rc_{rz} \end{pmatrix} = M_{or} \cdot \begin{pmatrix} rc_{ox} \\ rc_{oy} \\ rc_{oz} \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Подставляя формулы (2)–(4) в выражение (1), можно выразить косинус угла визирования φ_r

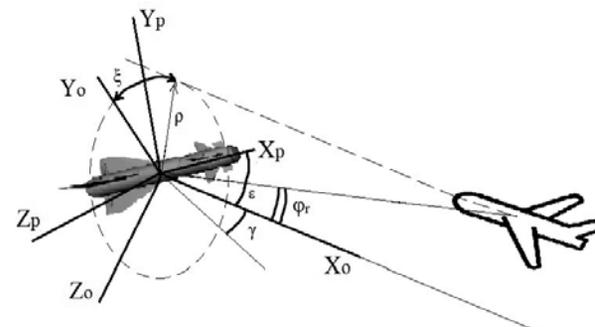


Рис. 2. Иллюстрация условия задачи

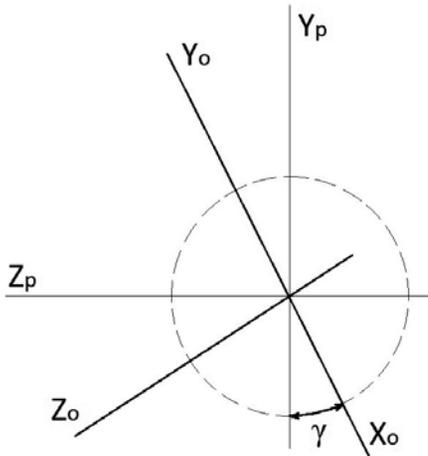


Рис. 3. Пояснение расположения угла γ

в ракетной системе координат, который соответствует оптимальному углу визирования:

$$\cos(\varphi_r) = \frac{v_o \cdot \cos(\varepsilon)}{\sqrt{v_o^2 + v_s^2 + 2 \cdot v_o \cdot v_s \cdot f(\xi, \varepsilon)}}, \quad (5)$$

где

$$f(\xi, \varepsilon) = \frac{2 \cdot \sin(\varepsilon) \cdot \left(\left(\sin\left(\frac{\xi}{2}\right) \right)^2 - 1 \right)}{\sqrt{1 - (\sin(\varepsilon))^2 \cdot (\sin(\xi))^2}}. \quad (6)$$

Аналогично φ_r , можно получить выражение для косинуса угла визирования φ_o в ОСК:

$$\cos(\varphi_o) = \frac{v_s \cdot f(\xi, \varepsilon) + v_o}{\sqrt{v_o^2 + v_s^2 + 2 \cdot v_o \cdot v_s \cdot f(\xi, \varepsilon)}}. \quad (7)$$



Рис. 4. Зависимость оптимального угла визирования от параметров встречи с целью, $\varphi(v_o, \varepsilon, \xi)$:
а — в РСК; б — в ОСК

Таким образом, для обеспечения попадания медианного осколка в точечную цель измеряется текущий угол визирования, затем при совпадении его значения с оптимальным формируется команда на подрыв [8].

Полученные графики зависимости оптимального угла визирования от переменных параметров в РСК и ОСК, построенные по формулам (5)–(7), представлены на рис. 4. Зависимость построена от переменной фазы промаха ξ при разных относительных скоростях ($v_o = 800, 1400, 2500$ м/с), фиксированном угле пеленга $\varepsilon = 60^\circ$, $v_s = 2500$ м/с, в полярной системе координат.

Расчет вероятности поражения воздушно-го объекта в зависимости от отклонения относительно оптимального угла визирования начинается с определения гауссовской функции распределения. Плотность распределения вероятностей (ПРВ) для нормального закона записывается в следующем виде [9]:

$$F(\sigma, \theta) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\theta - \varphi_r)^2}{2\sigma^2}}, \quad (8)$$

где θ — угол, под которым медианный осколок попадает в цель; σ — обеспечиваемое угловое отклонение от оптимального угла; φ_r — оптимальный угол визирования.

В данном случае φ_r выступает в роли математического ожидания, а σ — среднеквадратического отклонения (СКО).

Согласно правилу трех сигм, если случайная величина распределена по нормальному закону, то абсолютная величина ее отклонения от математического ожидания не превосходит утроенного

СКО [10]. Следовательно, необходимо задать диапазон изменения угла θ в следующем виде:

$$\theta(\sigma) = [(\varphi_r - 3\sigma) \dots (\varphi_r + 3\sigma)]. \quad (9)$$

Изменение значения промаха системы задается рэлеевским законом распределения. Данная функция определяется, как:

$$F_p(\rho, \sigma_p) = \frac{\rho}{\sigma_p^2} \cdot e^{-\frac{\rho^2}{2\sigma_p^2}}, \quad (10)$$

где ρ — значение промаха; σ_p — СКО промаха.

После задания гауссовского и рэлеевского законов распределений определяются условные вероятности поражения цели осколочным полем, руководствуясь решением геометрической задачи, а также условно заданными параметрами уязвимости цели (рис. 5). В случае отсутствия априорной информации об уязвимости цели, вероятности ее поражения при попадании осколков на различные участки объекта определяются в соответствии с экспертной оценкой.

Геометрическая задача решается следующим образом: необходимо задаться длиной цели (в качестве примера рассмотрим цель длиной $l = 7$ м), затем разбить цель на условное количество отрезков (в данном случае 7 отрезков по 1 м длиной каждый). Примем, что при вылете осколков с оптимальным углом вероятность поражения цели равняется 1. На крайних отрезках цели вероятность равна 0,1. На последующих участках вероятности поражения равны соответственно 0,3 и 0,6 по мере приближения к центру цели (рис. 5).

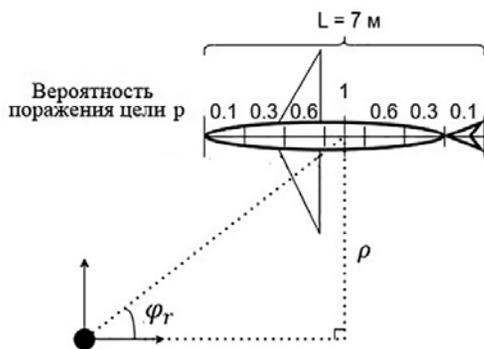


Рис. 5. Геометрическая иллюстрация для задания условных вероятностей (на рисунке условно обозначены: круг — ракета; линия, поделенная на части — цель)

В ходе решения геометрической задачи получается следующая формула для определения углового положения:

$$\psi(m) = \arctg \left(\frac{\rho}{\rho \cdot c \cdot \operatorname{tg}(\varphi_r) + m \cdot \frac{l}{n}} \right), \quad (11)$$

где $\psi(m)$ — фактический угол, под которым медианный осколок попадает в цель; ρ — промах системы; φ_r — оптимальный угол визирования; l — длина цели; n — количество участков, на которые разбивается цель; m — номер участка, для которого определена вероятность поражения цели экспертной оценкой.

Таким образом, можно задать закон изменения вероятности поражения цели в зависимости от угла попадания медианного осколка в цель:

$$p(\varphi) = \begin{cases} p_1, \psi(0,5) \leq \varphi \leq \psi(-0,5); \\ p_2, \psi(1,5) \leq \varphi < \psi(0,5) \text{ или} \\ \psi(-0,5) < \varphi \leq \psi(-1,5); \\ p_3, \psi(2,5) \leq \varphi < \psi(1,5) \text{ или} \\ \psi(-1,5) < \varphi \leq \psi(-2,5); \\ p_4, \psi(3,5) \leq \varphi < \psi(2,5) \text{ или} \\ \psi(-2,5) < \varphi \leq \psi(-3,5); \\ p_5, \psi(3,5) \leq \varphi \text{ или } \varphi \leq \psi(-3,5). \end{cases} \quad (12)$$

В формуле (12) вероятности поражения цели равны соответственно: $p_1 = 1$, $p_2 = 0,6$, $p_3 = 0,3$, $p_4 = 0,1$, $p_5 = 0$.

После задания гауссовского и рэлеевского законов распределения и условных вероятностей поражения цели осколочным полем, в соответствии с формулами (8)–(12), производится расчет вероятности поражения цели:

$$P(\sigma, \rho) = \sum P_{\text{тек}} \cdot F_{\Gamma}(\sigma, \varphi) \cdot F_p(\rho, \sigma_p) \times \Delta\sigma \cdot \Delta\rho, \quad (13)$$

где $F_{\Gamma}(\sigma, \varphi)$ — плотность распределения вероятностей (ПРВ) гауссовского распределения; $F_p(\rho, \sigma_p)$ — ПРВ рэлеевского распределения; $P_{\text{тек}}$ — вероятность поражения цели при конкретных значениях φ , σ и ρ ; $\Delta\sigma$ — шаг угловой ошибки; $\Delta\rho$ — шаг отклонения относительно точки прицеливания.

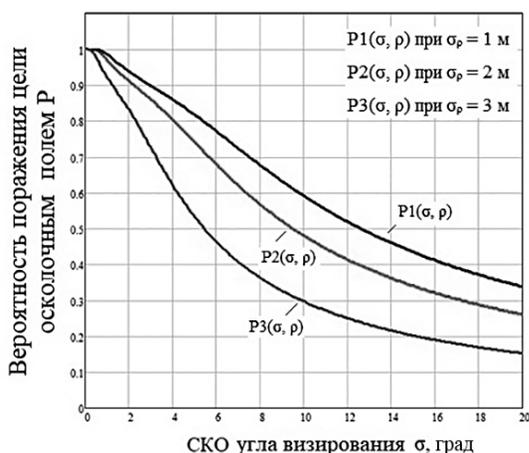


Рис. 6. Общий график зависимости вероятности накрытия цели осколочным полем P от СКО угла визирования σ

Руководствуясь формулой (13), можно рассчитать вероятность поражения цели для различных значений СКО промаха $\sigma_\rho = 1, 2, 3$ м. Полученный результат представлен в виде общего графика (рис. 6).

Анализируя полученные графические результаты, можно сделать следующие выводы:

- по полученному графику зависимости вероятности поражения цели осколками от СКО угла визирования видно, что при $P = 0,7$ СКО угла визирования составляют соответственно: при $\sigma_\rho = 1$ м значение $\sigma = 7^\circ$; при $\sigma_\rho = 2$ м значение $\sigma = 5,5^\circ$; при $\sigma_\rho = 3$ м значение $\sigma = 3,1^\circ$ (вероятность $P = 0,7$ является типовой в теории эффективности [1]);

- рассматривая совокупность графиков, можно отметить, что с ростом σ_ρ влияние σ на точность попадания медианного осколка в цель усиливается. По графику видно, что при обеспечении $\sigma = 2^\circ$, вероятности для значений $\sigma_\rho = 1, 2, 3$ м соответственно равны: $P_1(\sigma, \rho) \approx 0,95$; $P_2(\sigma, \rho) \approx 0,91$; $P_3(\sigma, \rho) \approx 0,83$. Для решаемой задачи при малых значениях СКО угла визирования ($\sigma = 0,5^\circ \dots 1^\circ$) вероятность накрытия цели осколочным полем можно принять равной 1.

Литература

1. Автономные информационные и управляющие системы: труды кафедры «Автономные информационные и управляющие системы». В 4 т. Т. 1 / [под ред. А.Б. Борзова]. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 466 с.
2. Автономные информационные и управляющие системы: труды кафедры «Автономные информационные и управляющие системы». В 4 т. Т. 2 / [под ред. А.Б. Борзова]. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 440 с.
3. Балаганский И.А., Мержневский Л.А. Действие средств поражения и боеприпасов: учебник. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. 408 с.
4. Фендриков Н.М. Яковлев В.И. Методы расчетов боевой эффективности вооружения. Москва: Воениздат, 1971. 224 с.
5. Рассоха С.С., Селиванов В.В. Осколочное действие боеприпасов: учебное пособие; [под общ. ред. В.В. Селиванова]. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. 210 с.
6. Бабкин А.В., Велданов В.А., Селиванов В.В. Боеприпасы: учебник. В 2 т. [под общей ред. В.В. Селиванова]. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. 552 с.
7. Кашин В.М., Ахапкин Н.И. Анализ эффективности ракетных и артиллерийских комплексов вооружения: учебное пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023. 324 с.
8. Астапов Ю.М., Велданов В.А., Люшин С.А. Системы наведения и управления высокоточных боеприпасов: учебное пособие. Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. 170 с.
9. Гнеденко Б.В., Хинчин А.Я. Элементарное введение в теорию вероятностей. М.: Наука, 1970. 168 с.
10. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для вузов. Москва: Высш. шк., 2003. 479 с.

УДК: 623.76

DOI: 10.53816/20753608_2024_1_85

**МНОГОФАКТОРНЫЙ РАСЧЕТНО-ИМИТАЦИОННЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ
СЛОЖНОСТИ УЧЕБНЫХ УПРАЖНЕНИЙ, ВЫПОЛНЯЕМЫХ НА ТРЕНАЖЕРЕ
ЗЕНИТНОГО РАКЕТНОГО КОМПЛЕКСА БЛИЖНЕГО ДЕЙСТВИЯ**

**MULTIFACTOR CALCULATION AND SIMULATION METHOD FOR ASSESSING
THE COMPLEXITY OF TRAINING EXERCISES PERFORMED ON THE
SIMULATOR OF A SHORT-RANGE ANTI-AIRCRAFT MISSILE SYSTEM**

По представлению чл.-корр. РАН С.М. Мужичека

Д.В. Самойлов

ГосНИИАС

D.V. Samoilov

В тренажерной подготовке для реализации дидактического принципа системности и последовательности упражнения должны быть сгруппированы по сложности и упорядочены в порядке ее возрастания. В статье предлагается метод оценки сложности упражнений, основанный на расчетном подходе с выделением факторов сложности, дополненном имитационным подходом для учета системного эффекта, обусловленного сочетанием условий стрельбы.

Ключевые слова: тренажерная подготовка, сложность учебного упражнения, компьютерное моделирование.

In simulator training, in order to implement the didactic principle of systematicity and consistency, exercises should be grouped by complexity and ordered in increasing order. The article proposes a method for assessing the complexity of exercises, based on a calculation approach with the identification of complexity factors, supplemented by a simulation approach to take into account the emergent effect caused by a combination of shooting conditions.

Keywords: simulator training, complexity of training exercise, computer modeling.

Современная российская военная дидактика определяет упражнение как многократное выполнение умственных или практических действий с целью овладения ими или повышения качества их выполнения [1]. Упражнение, выполняемое на тренажере зенитного ракетного комплекса (ЗРК) ближнего действия, должно представлять собой совокупность боевой задачи и условий ее решения. Основной боевой задачей по предназначению для стрелков-зенитчиков является разведка и уничтожение воздушного противника. Следовательно, упражнение для выполнения на тренажере

ЗРК ближнего действия должно включать воздушную цель (или группу целей) и комплекс параметров, определяющих условия стрельбы (рис. 1).

В тренажерной подготовке реализация дидактического принципа системности и последовательности [1–3] основывается на поэтапном переходе от простых упражнений к более сложным. Для этого упражнения должны быть сгруппированы по сложности и упорядочены в порядке ее возрастания.

Сложность упражнения является его объективной оценкой и характеризуется объемом

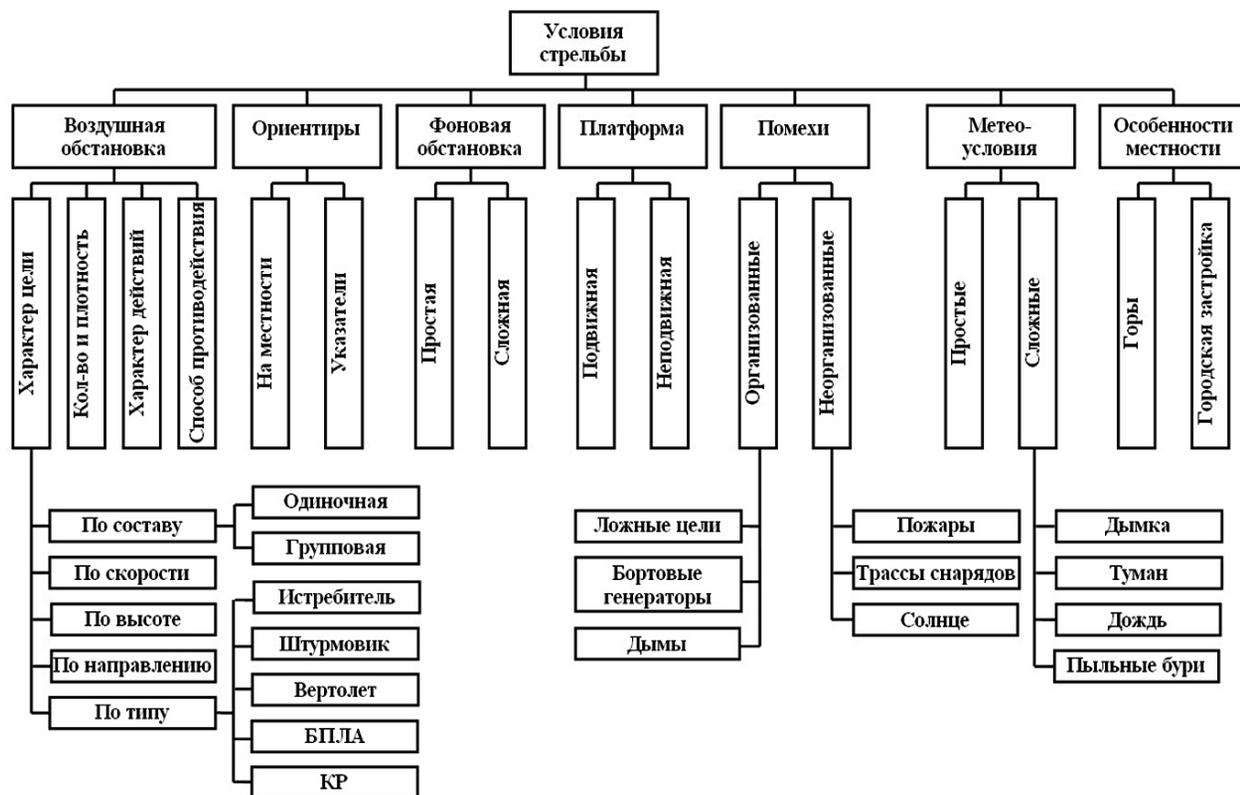


Рис. 1. Условия стрельбы

предметных знаний, навыков и умений, достаточных для его выполнения.

Обобщение результатов анализа научно-методических публикаций по данному вопросу позволило выявить следующие подходы к решению проблемы оценки сложности учебных и тестовых задач (упражнений):

- экспертный;
- статистический;
- расчетный.

Экспертный подход основан на оценке упражнения по определенной шкале сложности группой специалистов в соответствующих предметных областях. Очевидно, что полученная таким образом оценка носит субъективный характер и далеко не всегда отражает реальную сложность задачи, решаемой в упражнении. Зачастую ситуация усугубляется тем, что разработчики ограничиваются привлечением одного-двух экспертов либо просто руководствуются собственным мнением о сложности упражнений.

Статистический подход опирается на анализ результатов выполнения упражнения одной или несколькими контрольными группами обучаемых. Различные варианты этого подхода используют

либо непосредственно отношение числа обучаемых, не справившихся с упражнением, к общему числу испытуемых, либо статистические модели Раша и Бирнбаума в рамках теории моделирования и параметризации педагогических тестов Item Response Theory (IRT) [4]. Существенным недостатком статистического подхода является то, что полученная с его помощью оценка упражнения зависит не только от сложности решаемой в нем задачи, но и от уровня подготовленности обучаемых, привлеченных для тестирования.

Расчетный подход позволяет дать количественную оценку сложности упражнения, основываясь на структуре, содержании и особенностях решаемой в нем задачи.

В работах Г.А. Балла [5], А.Т. Рогова [6], А.И. Умова и ряда других исследователей сложность задачи связывается с длиной наиболее короткого, рационального алгоритма ее решения. Данный способ не подходит для анализа упражнений в тренажере ЗРК ближнего действия, поскольку структура и число этапов алгоритма действий стрелка в ходе непосредственной подготовки стрельбы [7, 8] неизменны и не зависят от сложности решаемой боевой задачи.

Для оценки сложности упражнений целесообразно взять за основу вариант расчетного подхода, предложенный в работах В.Ф. Венды [9], Л.Я. Лернера [10], Л.Г. Соколовой и ряда других и основанный на учете так называемых «факторов сложности». Согласно этому подходу необходимо:

- выявить факторы сложности (компоненты задачи, препятствующие ее успешному решению) и установить правила их количественной оценки;

- установить способ получения интегрального показателя сложности по значениям факторов.

Перед стрелком-зенитчиком в каждом упражнении ставится задача разведки и уничтожения воздушного противника. Очевидно, что затруднить решение данной задачи могут неблагоприятные условия стрельбы [7, 8]. Следовательно, данные условия и являются искомыми факторами сложности. Необходимо построить шкалу порядка и в соответствии с ней присвоить факторам сложности веса (в баллах), соответствующие степени их влияния на процесс решения задачи. Для простоты и удобства использования предлагается использовать простейшую 3-балльную шкалу: 0 — фактор не оказывает влияния; 1 — фактор осложняет решение задачи; 2 — фактор сильно осложняет решение задачи.

В качестве примера рассмотрим оценку фоновой обстановки как фактора сложности. Состояние фоновой обстановки определяется в баллах как отношение площади, закрытой облаками, ко всей площади небосвода в процентах. Каждые 10 % равны одному баллу.

Однородный фон (0 или 10 баллов облачности) создает благоприятные условия для работы оптической головки самонаведения (ОГС), а следовательно, и для пуска ракеты.

При нахождении цели на неоднородном фоне головка самонаведения ракеты может вместо цели «захватить» край облака (фоновую помеху), а при сопровождении цели потерять ее и перейти к наведению на край облака [7, 8]. В связи с этим неоднородный фон является неблагоприятным условием для обстрела цели. Наибольшее влияние на работу ОГС оказывают облака нижнего яруса (находящиеся ниже 1000 м), вертикальные размеры которых соизмеримы с горизонтальными.

При облачности от 0 до 3 и от 7 до 10 баллов вдоль курса цели, как правило, имеются участки, на которых фон однороден, что позволяет производить обстрел цели.

Стрелок-зенитчик для обстрела цели должен выбирать возможно больший по протяженности участок однородного фона вдоль ее курса. Стрельба по цели, периодически скрывающейся за облаками, ведется при ее нахождении на открытых участках небосвода с таким расчетом, чтобы за время полета ракеты цель не скрылась за облаком.

Итоговая оценка состояния фоновой обстановки в баллах сложности приведена в таблице.

Анализ научно-методических публикаций показал, что интегральный показатель сложности задачи (упражнения), как правило, вычисляется либо обычным суммированием баллов всех факторов сложности, либо суммированием с весовыми коэффициентами, отражающими значимость каждого фактора [11].

В случае упражнений для тренажера ЗРК ближнего действия подобная аддитивная оценка сложности оказывается неадекватной из-за эмерджентности совокупности условий стрельбы. Определенные сочетания данных условий могут существенно влиять на общую сложность упражнения. Так, например, даже такая элементарная задача, как обстрел зависшего вертолета, может оказаться неразрешимой, если вертолет относительно позиции стрелка-зенитчика завис на фоне солнца. И наоборот, задача по обстрелу цели в условиях городской застройки, относимая к продвинутой стадии обучения, может оказаться тривиальной, если вследствие определенной высоты полета цели ее траектория не перекрывается зданиями.

В результате проведенных исследований было установлено, что системный эффект, порождаемый комбинацией условий стрельбы, проявляется как ограничение длительности

Таблица

Оценка фоновой обстановки как фактора сложности

Фоновая обстановка, в баллах облачности	Сложность, в баллах
0 или 10	0
0–3	1
3–7	2
7–10	1

временного интервала, в ходе которого может выполняться непосредственная подготовка стрельбы по заданной цели.

Разработанный подход к оценке эмерджентного фактора сложности основан на сравнении времени, которым располагает стрелок-зенитчик для решения боевой задачи в конкретном упражнении, с минимально потребным для этого временем, посредством моделирования применения стрелком зенитного ракетного комплекса для решения боевой задачи в условиях, определенных анализируемым упражнением. Это позволяет оценить как принципиальную выполнимость рассматриваемого упражнения, так и влияние ограничения по времени на его интегральную сложность.

Разработанный методический аппарат реализован в разработанном моделирующем комплексе (рис. 2), включающем модель системы «Оператор-ЗРК», модель движения цели, модель рельефа и модель условий стрельбы.

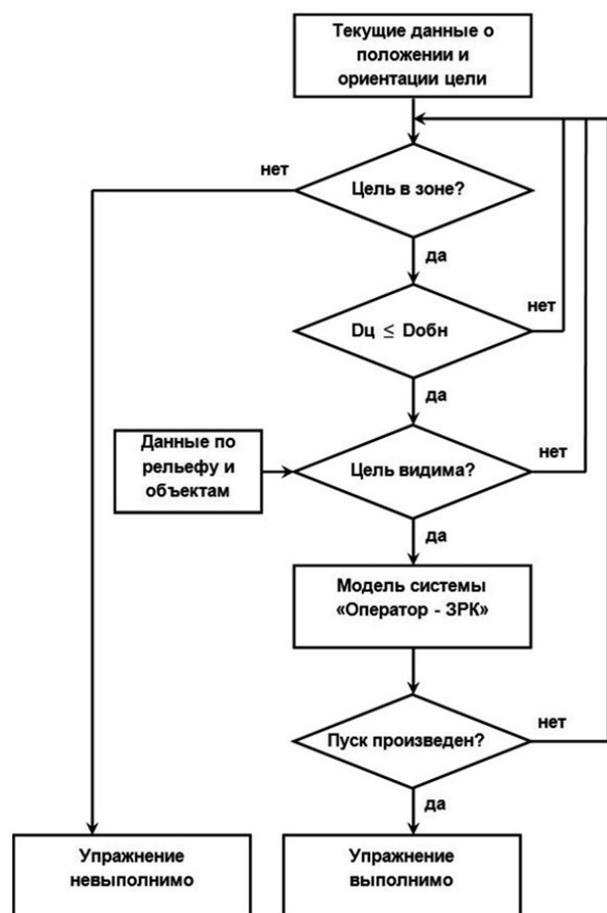
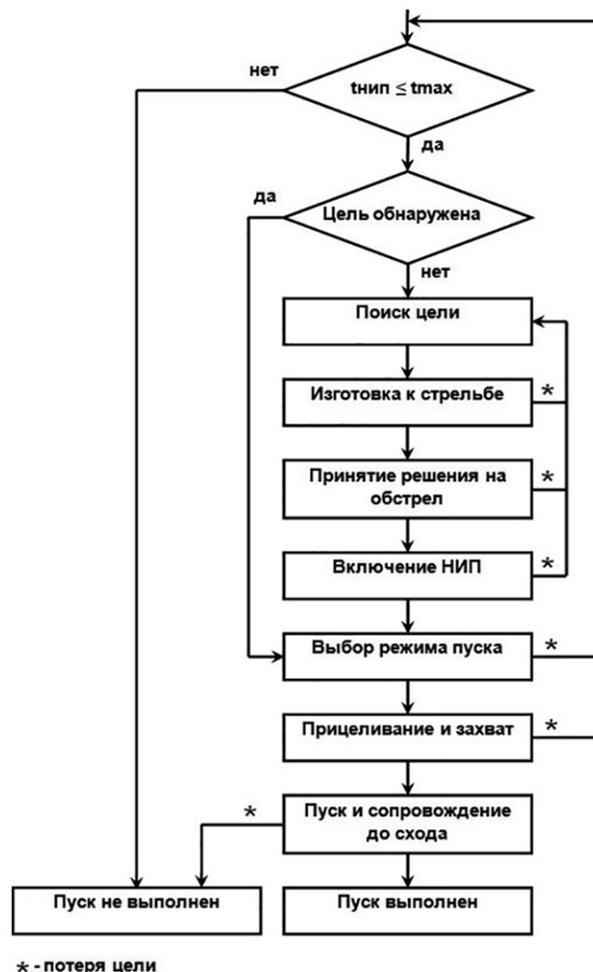


Рис. 2. Моделирующий комплекс для оценки эмерджентного фактора сложности

Модель системы «Оператор-ЗРК» (рис. 3) построена на предположении о безошибочном выполнении стрелком-зенитчиком всех необходимых действий, предусмотренных циклограммой непосредственной подготовки стрельбы. Основным оцениваемым параметром является время, в течение которого воздушная цель наблюдаема с позиции стрелка-зенитчика. Разработанный алгоритм определяет, хватит ли стрелку-зенитчику этого времени на то, чтобы произвести пуск зенитной ракеты по данной цели. Если в ходе подготовки стрельбы воздушная цель скрывается за рельефом или объектами либо входит в запретную зону в районе солнца или неоднородной облачности, модель оператора начинает процедуру подготовки к пуску заново.

Параметризация временных затрат, обусловленных деятельностью стрелка-зенитчика, осуществляется на основе утвержденных нормативов по специальной подготовке, позволяет



* - потеря цели

Рис. 3. Модель системы «Оператор-ЗРК»

оценить выполнимость упражнения стрелками-зенитчиками с разным уровнем подготовки, а также вклад эмерджентного ограничения по времени в интегральную сложность анализируемого упражнения.

Если упражнение выполнимо только для стрелков-зенитчиков, способных сдать соответствующие нормативы на оценку «отлично», то сложность фактора времени оценивается в 2 балла, если достаточно уложиться в нормативы на оценку «хорошо» — в 1 балл и т.д. Упражнение, требующее действовать быстрее, чем предусмотрено нормативами на оценку «отлично», считается чрезмерно сложным и не используется.

После отсева невыполнимых и чрезмерно сложных упражнений интегральная сложность для каждого из оставшихся вычисляется суммированием баллов всех факторов сложности, включая ограничение по времени.

Таким образом, разработанный многофакторный расчетно-имитационный метод позволяет получить априорную количественную оценку сложности упражнения с учетом эмерджентного фактора ограничения времени его выполнения. Программная реализация изложенного метода является частью дидактической подсистемы ряда тренажеров комплексов ПВО ближнего действия, в том числе унифицированного классного тренажера 9Ф874 и учебного комплекта для боевой машины 9А332 «Гибка-С».

Литература

1. Военная педагогика: учебник для вузов. [под общ. ред. И.А. Алехина]. М.: Изд-во Юрайт, 2018. 414 с.
2. Военная педагогика: учебник для вузов 2-е изд., испр. и доп. [под общ. ред. О.Ю. Ефремова]. СПб.: Питер, 2017. 640 с.
3. Ковалев И.А. Дидактические основы военного обучения: учебное пособие. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2005. 71 с.
4. Van der Linden W. J. Handbook of Item Response Theory: Three Volume Set Chapman and Hall/CRC; 1st edition, 2021. 1500 p.
5. Балл Г.А. Теория учебных задач: психолого-педагогический аспект. М.: Педагогика, 1990. 184 с.
6. Рогов А.Т. Моделирование параметров действия. Сообщение I. Форма действия и мера развернутости его // Новые исследования в психологии. 1973. № 1. С. 94–102.
7. Акулов И.Е. Техническая подготовка командира взвода ПЗРК 9К38 «Игла». Томск: Изд-во Томского политех. у-та, 2011. 192 с.
8. Кот О.М., Романенко Д.Н., Дубовик А.С. Военно-техническая, военно-специальная подготовка и тактика войсковой противовоздушной обороны подразделений, вооруженных ПЗРК 9К38 «Игла»: учеб. пособие. Гродно: ГрГУ, 2012. 459 с.
9. Венда В.Ф. Многовариантность процессов решения и концепция инженерно-психологического проектирования // Инженерная психология. Теория, методология, практическое применение. М.: Наука. 1977. 304 с.
10. Лернер И.Я. Факторы сложности познавательных задач // Новые исследования в педагогических науках. 1970. № 1. С. 86–91.
11. Стариченко Б.Е. Обработка и представление данных педагогических исследований с помощью компьютера. Екатеринбург: Урал. гос. пед. ун-т., 2004. 218 с.

**АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТАБЛИЦ ВНЕШНЕЙ БАЛЛИСТИКИ
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СОВРЕМЕННЫХ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ ОРУДИЙ
И БОЕПРИПАСОВ К НИМ**

**RELEVANCE OF THE APPLICATION OF EXTERNAL BALLISTICS TABLES
IN THE DESIGN OF MODERN ARTILLERY GUNS AND THEIR AMMUNITION**

По представлению чл.-корр. РАРАН Б.Э. Кэрта

А.С. Алешин^{1,2}, В.А. Чубасов^{2,3}

*¹АО «НПО Спецматериалов», ²БГТУ «Военмех»,
³Михайловская военная артиллерийская академия*

A.S. Aleshin, V.A. Chubasov

В статье рассматривается практическая возможность применения в современных условиях Таблиц внешней баллистики при проектировании перспективных артиллерийских систем. Приведены примеры использования Таблиц внешней баллистики при расчетах основных элементов траектории артиллерийского снаряда и начальной скорости, необходимой для получения заданной дальности полета снаряда. Подтверждена возможность проводить баллистические расчеты при проектировании современных (перспективных) систем артиллерийских орудий и боеприпасов к ним простыми и доступными способами широкому кругу конструкторов и проектировщиков современных артиллерийских систем.

Ключевые слова: расчет элементов траектории, баллистические расчеты, таблицы внешней баллистики, численное интегрирование, баллистический коэффициент.

The article deals with the practical possibility of using the External Ballistics Tables in the design of modern artillery systems. Examples of the use of External Ballistics Tables in calculating the main elements of the trajectory of an artillery projectile and the initial velocity required to obtain a given range of the projectile are given. The possibility of carrying out ballistic calculations in the design of modern artillery gun systems and ammunition is confirmed by simple and accessible methods for a wide range of designers and planners of modern artillery systems.

Keywords: calculation of trajectory elements, ballistic calculations, external ballistics tables, numerical integration, ballistic coefficient.

Введение

Изданные в 1933–1940 гг. баллистические таблицы АНИИ были первыми таблицами, позволявшими по входным величинам V_0 , θ_0 и c находить непосредственно основные элементы траектории: дальность, время полета,

угол падения снаряда, высоту и окончательную скорость. Представленные таблицы обладали рядом существенных недостатков, таких как отсутствие обоснованных интервалов входных величин в таблицы. Сами таблицы были плохо выровнены и имели излишнюю громоздкость.

В 1943 году Артиллерийской академией по заданию Артиллерийского комитета была проведена работа по выбору форм и интервалов входных величин для таблиц внешней баллистики, предназначенных взамен таблиц АНИИ.

При составлении новых Таблиц внешней баллистики на основании проведенных отечественных опытов по изучению сопротивления воздуха и на основании многочисленных стрельб, необходимо было установить новый закон сопротивления воздуха для снарядов дальнобойной формы. Поведение снаряда на начальном участке траектории отличается от его поведения на всей траектории, и, как правило, сопротивление воздуха полету снаряда на начальном участке траектории больше, чем на последующих участках траектории.

Основная часть

Таблицы внешней баллистики представляют собой сборник [1–3]:

а) основных элементов траектории — дальностей, углов падения, окончательных скоростей, времен полета, высот (первая часть книги Таблицы внешней баллистики);

б) основных и вспомогательных функций и поправочных коэффициентов на изменение полной дальности (вторая часть книги Таблицы внешней баллистики).

Входными величинами в таблицах основных элементов траектории служат углы бросания, начальные скорости и баллистические коэффициенты.

Интервалы для входных величин установлены такие, чтобы при интерполяции между ними

по прямой, дальности определялись с точностью не меньше 0,2 %. Пределы для входных величин установлены следующие:

- начальные скорости от 50 до 2000 м/с;
- баллистические коэффициенты от 0 до 6,0;
- углы бросания от 5 до 85 градусов, причем верхний предел углов бросания различный для различных скоростей.

Во второй части книги Таблицы внешней баллистики даны поправочные коэффициенты на изменение полной дальности вследствие изменения следующих величин:

- начальной скорости на 1 м/с;
- баллистического коэффициента на 1 %;
- температуры воздуха на 1 градус;
- продольного ветра на 1 м/с;
- бокового отклонения снаряда вследствие бокового ветра в 1 м/с.

Дополнение ко второй части Таблиц внешней баллистики представляет собой таблицы поправочного коэффициента Q_{θ_0} — изменение полной дальности вследствие изменения угла бросания на 1 минуту для закона сопротивления воздуха 1943 года. Настоящими таблицами поправочного коэффициента Q_{θ_0} можно пользоваться во всех случаях, когда изменение угла бросания не превышает 30 минут. При этом сохраняется практически необходимая во всех видах вычислений точность определения дальности. При расчетах, допускающих меньшую точность, этими таблицами можно пользоваться в пределах изменения угла бросания до 1 градуса.

В табл. 1 приведены интервалы и пределы входных величин, принятые для Таблиц внешней баллистики.

Таблица 1

Интервалы и пределы входных величин

наименование	Входные величины		Значение остальных входных величин
	шаг	пределы	
Угол бросания, градус	5	5–85	$V_0 = 50 - 2000$ м/с и для всех значений баллистических коэффициентов
Начальные скорости, м/с	10	50–400	Для всех значений баллистических коэффициентов и углов бросания
	20	400–600	
	50	600–2000	
Баллистические коэффициенты	0,1	0,0–0,1	Для всех значений начальных скоростей и углов бросания
	0,02	0,1–0,4	
	0,05	0,4–1,0	
	0,2	1,0–4,0	
	0,5	4,0–6,0	

Основой для Таблиц внешней баллистики послужили траектории, вычисленные численным интегрированием в Математическом институте им. В.А. Стеклова Академии наук СССР. Вычисления производились при законе сопротивления воздуха 1943 года [4, 5].

Используя численное интегрирование, были вычислены траектории для следующих значений: V_0 , θ_0 и c .

Данные, приведенные в табл. 2, были проинтерполированы для углов, кратных 5 градусам и выравнены в трех направлениях, по V_0 , θ_0 и c . При выравнивании допускались отступления от вычисленных элементов траектории на величину, не превышающую 0,1 %.

Тщательно выравненные элементы траектории были распространены по баллистическим коэффициентам и начальным скоростям, приведенным в табл. 1.

Таблицы выравнены до третьих, а иногда и высших разностей. В процессе интерполяций и выравнивания элементов траектории по трем направлениям V_0 , θ_0 и c дальности брались с точностью 1 м, а времена полета с точностью 0,01 с.

**Порядок применения
Таблиц внешней баллистики
для расчета элементов траектории**

В настоящее время наиболее точным методом расчета элементов траектории является метод численного интегрирования, но расчет траектории этим методом требует много времени. Для облегчения расчета можно воспользоваться специальными сборниками элементов траектории, которые называются «Таблицы стрельбы»

Таблица 2

Проинтерполированные данные для углов, кратных 5 градусам и выравненных в трех направлениях: V_0 , θ_0 и c

V_0 , м/с	θ_0 , градус	c
От 50 до 400 через 50	5, 10, 15, 20, 30, ..., 80, 85	0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,2; 1,6; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0
От 400 до 1000 через 100	5, 10, 15, 20, 30, ..., 70	
От 1000 до 2000 через 200	5, 10, 15, 20, 30, ..., 60	

или «Баллистические сборники». Вид баллистического сборника показан в табл. 3.

Так как элементы траектории в точке падения и в вершине определяются тремя параметрами, то таблицы имеют три входа.

Для каждого элемента траектории можно составить свою таблицу. Угол θ_0 задается через 5 градусов, V_0 через 10–50 м/с, c через 0,05–0,1.

На примере 1 покажем порядок расчета элементов траектории с использованием Таблиц внешней баллистики.

Пример 1.

Дано: начальная скорость снаряда $V_0 = 890$ м/с; угол бросания снаряда $\theta_0 = 43$ градуса; калибр артиллерийской системы $d = 0,152$ м; коэффициент формы снаряда $i = 1,03$; масса снаряда $q = 43,56$ кг.

Определить: X, Y, T, V_c, θ_c .

Рассчитываем баллистический коэффициент:

$$c = \frac{id^2}{q} \cdot 10^3 = \frac{1,03 \cdot 0,152^2}{43,56} \cdot 10^3 = 0,546.$$

Для расчета элементов траектории снаряда удобно составить таблицу, форма которой показана в табл. 4.

Из Таблицы внешней баллистики части первой «Основные элементы траектории» необходимо выписать значения элементов траектории для табличных значений V_0 , θ_0 и c , а затем, интерполируя по V_0 , c и θ_0 определить значения элементов траектории для заданных значений V_0 , θ_0 и c .

Далее необходимо определить интерполирующие множители:

$$\xi_c = \frac{0,546 - 0,550}{0,05} = -0,08;$$

Таблица 3

Вид баллистического сборника для различных углов бросания снаряда

$c \backslash V_0$	V_{01}	V_{02}	V_{0i}
c_1	X, Y, T, V_c, θ_c							
c_2								
c_3								
...								
...								

Таблица 4

Результаты расчета элементов траектории снаряда

Элемент траектории	θ_0	40°			43°	45°		
	$c \backslash V_0$	850	890	900		850	890	900
X	0,500	22877		24402		23389		24994
	0,546	21724	22821	23095	23208	22174	23325	23613
	0,550	21624		22981		22068		23493
Y	0,500	6821		7397		8116		8812
	0,546	6504	6959	7037	7728	7729	8240	8368
	0,550	6476		7006		7695		8329
T	0,500	73,09		76,33		80,25		83,88
	0,546	71,01	73,4	74,03	77,8	77,96	80,68	81,36
	0,550	70,83		73,83		77,76		81,14
V_c	0,500	335		337		339		342
	0,546	330	332	332	334	333	335	336
	0,550	330		332		333		335
θ_c	0,500	59°04'		60°25'		62°46'		64°00'
	0,546	58°49'	58°49'	60°10'	61°02'	62°39'	62°40'	63°54'
	0,550	58°48'		60°08'		62°39'		63°53'

$$\xi_{V_0} = \frac{890 - 850}{50} = 0,8;$$

$$\xi_{\theta_0} = \frac{43 - 40}{5} = 0,6.$$

Установлено, что для всех элементов траектории интерполирующие множители одинаковы. В соответствии с [1] табл. 4 можно было бы не составлять, а расчет дальности полета снаряда X произвести по следующей формуле:

$$X = X_{\theta_0, V_0, c} + \xi_{V_0} \Delta x_{V_0} + \xi_c \Delta x_c + x_{\theta_0}.$$

Величину $X_{\theta_0, V_0, c}$ определяем для следующих значений:

$$\theta_0 = 40^\circ; V_0 = 850 \text{ м/с}; c = 0,550.$$

Следовательно, определяем дальность полета снаряда

$$\begin{aligned} X &= 21624 + 0,8(24402 - 22877) - \\ &- 0,08(21624 - 22877) + 0,6(22068 - 21624) = \\ &= 21624 + 1220 + 100,24 + 266,4 = 23211 \text{ м}. \end{aligned}$$

Небольшое отличие полученного значения дальности полета снаряда X от приведенного

в табл. 4 (23211 вместо 23208) можно объяснить неточностью линейного интерполирования.

Таблицы внешней баллистики можно использовать и для проведения баллистических расчетов при проектировании современных (перспективных) артиллерийских систем. Покажем такую возможность на примере 2.

Пример 2.

Дано: дальность полета снаряда $X = 40\,000$ м; калибр артиллерийской системы $d = 0,152$ м; масса снаряда $q = 48,8$ кг; коэффициент формы снаряда $i = 1,05$.

Необходимо определить начальную скорость снаряда, необходимую для получения заданной дальности стрельбы.

Рассчитываем баллистический коэффициент:

$$c = \frac{id^2}{q} \cdot 10^3 = \frac{1,05 \cdot 0,152^2}{48,8} \cdot 10^3 = 0,497.$$

Для решения данной задачи необходимо произвести обратную интерполяцию.

Максимальная дальность стрельбы будет достигнута при угле бросания, близком к 45 градусам, поэтому расчеты проводим при $\theta_0 = 45^\circ$.

Для расчета начальной скорости снаряда удобно составить таблицу следующего вида (см. табл. 5).

Таблица 5

Результаты расчета начальной скорости снаряда

$c \backslash V_0$	1200	1238	1250
0,450	42179	–	45456
0,497	37926	40000	40688
0,500	37655	–	40384

Значение скорости выбираем с таким расчетом, чтобы после интерполирования по c справа от 40000 (см. табл. 5) получить число, большее этой величины, а слева меньшее.

Заключение

Приведенные в статье примеры расчета основных элементов траектории артиллерийского снаряда X, Y, T, V_c, θ_c и начальной скорости, необходимой для получения заданной дальности полета снаряда с использованием Таблиц внешней баллистики показали актуальность их использования и в настоящее время [6–10].

Использование Таблиц позволяет проводить баллистические расчеты при проектировании современных систем артиллерийских орудий и боеприпасов к ним простыми и доступными способами широкому кругу конструкторов и проектировщиков артиллерийских систем.

Литература

1. Кириченко В.Д. Баллистика (конспект лекций). Ленинград: ЛВАИУ, 1957. 203 с.
2. Таблицы внешней баллистики. Ч. 1. Основные элементы траектории / Главное артилле-

рийское управление Вооруженных Сил Союза ССР. М.: Военное изд-во Министерства Вооруженных Сил Союза ССР, 1949. 608 с.

3. Таблицы внешней баллистики. Ч. 2. Основные и вспомогательные функции и поправочные коэффициенты / Главное артиллерийское управление. М.: Военное изд-во Военного Министерства Союза ССР, 1950. 253 с.

4. Коновалов А.А., Николаев Ю.В. Внешняя баллистика: учебное пособие для студентов вузов. М., ЦНИИ информации, 1979. 228 с.

5. Лысенко Л.Н. Внешняя баллистика: учебное пособие. 2-е изд. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020. 328 с.

6. Алешин А.С., Чубасов В.А. О возможности использования решения обратной задачи внутренней баллистики для проектирования современных артиллерийских систем // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2023. № 3 (127). С. 76–81.

7. Алексеев В.М., Зайцев А.С. Баллистическое проектирование и разработка конструкции ствола артиллерийского орудия: метод. указания к курсовой работе. СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2007. 42 с.

8. Дмитриевский А.А., Лысенко Л.Н., Богодистов С.С. Внешняя баллистика. 3-е изд., перераб. и доп. Учебник для студентов вузов. М.: Машиностроение, 1991. 640 с.

9. Зайцев А.С. Разработка конструкции ствола артиллерийского орудия: пособие по курсовому проектированию / А.С.Зайцев; Балт. гос. техн. ун-т. — СПб., 2019. 36 с.

10. Дмитриевский А.А., Лысенко Л.Н. Внешняя баллистика: учеб. для вузов. 4-е изд. М.: Машиностроение, 2005. 608 с.

УДК: 623.4.01

DOI: 10.53816/20753608_2024_1_95

**АДАПТАЦИЯ УПРАВЛЯЕМЫХ РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ
НАЗЕМНОГО БАЗИРОВАНИЯ К ПРИМЕНЕНИЮ С КОРАБЛЕЙ**

ADAPTATION OF LAND-BASED GUIDED MISSILES TO USE FROM SHIPS.

*Академик РАРАН С.А. Бобков¹, академик РАРАН И.Н. Торгун¹, академик РАРАН А.И. Устинкин²,
И.В. Иванов³*

¹ЦНИИХМ, ²АО «Курган прибор», ³АО «НПО «Сплав» им. А.Н. Ганичева»

S.A. Bobkov, I.N. Torgun, A.I. Ustinkin, I.V. Ivanov

В статье рассматривается возможность размещения разработанных для Сухопутных войск управляемых реактивных снарядов (УРС) на надводных кораблях. Высокая степень межвидовой унификации позволит в этом случае значительно сократить временные и материальные затраты на работы по такой адаптации.

Размещение УРС в транспортно-пусковых контейнерах обеспечивает их совместимость с штатными пусковыми установками, а дооснащение серийно выпускаемых УРС стартовой ступенью, при минимальных изменениях конструкции снаряда, значительно снижает температурное и силовое воздействие на носитель.

Показано, что применение единых конструктивных решений позволяет реализовать как вертикальный пуск, так и пуск при малых углах возвышения, обеспечивая на момент запуска маршевого двигателя пространственное положение снаряда, необходимое для дальнейшей работы по штатной циклограмме.

Ключевые слова: реактивные снаряды, РСЗО, корабельное вооружение, вертикальные пусковые установки.

The article considers the possibility of expanding the combat capabilities of the Navy to defeat coastal targets through the use of guided missiles developed for the ground forces. A high degree of interspecific unification will significantly reduce the time and material costs of work on such adaptation.

Placement of guided missiles in transport and launch containers ensures their compatibility with standard launchers, and retrofitting mass-produced guided missiles with a launch stage, with minimal changes in the design of the projectile, significantly reduces the temperature and force impact on the carrier.

It is shown that the use of unified design solutions makes it possible to implement both vertical launch and launch at low elevation angles, providing at the time of launching the main engine the spatial position of the projectile necessary for further work according to the standard order of work.

Keywords: rockets, MLRS, ship armament, vertical launchers.

Как показали последние события, в задачи ВМФ России входит не только защита собственной территории от кораблей других флотов, но и нанесение ударов по наземным целям средней значимости типа полевой артиллерии или пусковых установок. Но при взаимодей-

ствии технически развитых противников флот находится в заведомо более уязвимом положении по сравнению с береговыми силами в силу меньшей скрытности. При этом в связи с увеличением дальности стрельбы противокорабельных средств, соответственно увеличением

безопасного для корабля удаления от берега и связанного с этим увеличением рассеивания до неприемлемых величин, в настоящее время востребованность применения неуправляемого оружия, как артиллерии, так и реактивных снарядов, для поражения береговых целей резко снизилась, а дальнобойные ударные средства морского базирования представлены, пожалуй, только ракетами комплекса «Калибр».

Строительство отечественных авианосцев в ближайшие годы маловероятно, а судя по исторической ретроспективе применения крупнокалиберных орудий и последним разработкам, основными направлениями развития ствольной артиллерии являются повышение точности и дальности в рамках сравнительно небольших калибров. На современных кораблях стран НАТО корабельная артиллерия представлена в основном образцами калибра 127-мм и 76-мм, что обусловлено решаемыми ей задачами. Задача поражения береговых целей при этом является второстепенной, так как даже у 406-мм орудий американских линкоров ВВ-61 при весе снаряда 1900 фунтов (760 кг), масса взрывчатого вещества составляла всего 153,6 фунта (61,4 кг) при дальности всего 45 км. Наиболее дальнобойный из современных артиллерийских снарядов 152-мм RDM 2005 V-LAP достигает дальности 76,3 км при массе снаряжения 4,5 кг. При этом дальность достигается за счет их оснащения реактивными двигателями на твердом топливе (РДТТ) [1], срабатывающими на траектории, и по сути такие снаряды представляют собой ракету со ствольным стартом, сочетая худшие черты обеих систем: дорогая пусковая система и рассеивание за счет эксцентриситета тяги. Дальнейшее увеличение дальности стрельбы артиллерийскими системами требует оснащения дальнобойных артиллерийских снарядов системами управления [2]. Таким образом, применение артиллерийских систем как средств поражения береговых целей в настоящее время ограничено как достигнутой дальностью, так и массой доставляемого взрывчатого вещества.

Исходя из сравнения основных функционально аналогичных средств нанесения ударов по берегу (артиллерия, авиация, реактивные средства) представляется, что наибольшее количество задач будет решаться реактивными средствами, так как во многих случаях боевое могу-

щество существующих артиллерийских систем недостаточно, а применение авиации ограничено расположением мест базирования. При этом боевое могущество крупнокалиберных ракетных систем зачастую избыточно. Рациональным решением этой проблемы может быть оснащение кораблей малого и среднего водоизмещения управляемыми реактивными снарядами (УРС), что позволит вести огонь по береговой линии с удаления более ста километров (то есть за пределами действия береговых батарей) и (в зависимости от типа боевой части и наличия системы управления) одинаково успешно применять их как против точечных, так и против групповых целей.

Из соображений уменьшения стоимости и, главное, сроков разработки таких комплексов морского базирования, в основу их создания целесообразно положить существующие сухопутные УРС соответствующего калибра и функционала. При этом интеграция пусковых установок в конструкцию кораблей, имеющих малое водоизмещение (которые активно строятся в последнее время), не должна требовать их глубокой модернизации. Следует отметить, что к подобным выводам пришли и за рубежом. В США и Израиле даже были сделаны попытки непосредственного размещения сухопутных боевых машин HIMARS (рис. 1) и LORA на палубах кораблей.

Наиболее дальнобойные из современных реактивных систем с УРС — это реактивные системы залпового огня (РСЗО) HIMARS (США), «Полонез» (Белоруссия), WS-2(D) и AR1A (Китай). Сопоставляя технические характеристики всех этих РСЗО, можно констатировать, что они имеют



Рис. 1. РСЗО HIMARS на десантном транспорт-доке «Сан-Антонио»

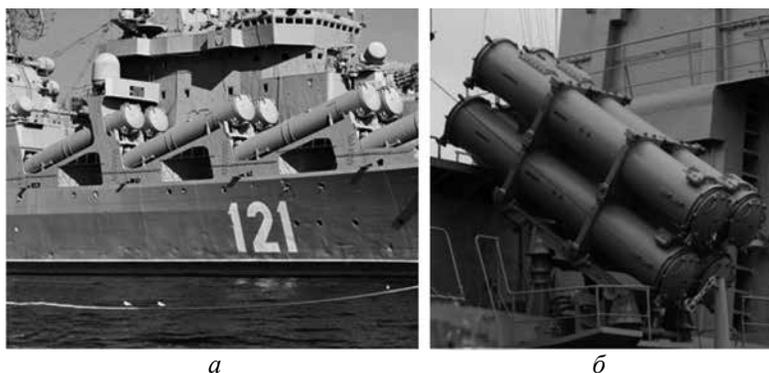


Рис. 2. Общий вид наклонных пусковых установок: а — «Вулкан»; б — «Уран»

примерно одинаковый уровень технического совершенства и основные отличия заключаются в выборе сочетания массогабаритных характеристик снаряда в целом и доставляемой им боевой части, что соответственно определяет дальность стрельбы. Наиболее привлекательно с точки зрения минимизации временных, материальных затрат и технических рисков их размещение в штатном виде с минимальными доработками программного обеспечения. Однако в случае прямого использования наземного способа стрельбы, с регулировкой дальности стрельбы за счет угла возвышения, надо учитывать наличие качки, а, следовательно, пусковая установка должна иметь мощные крупногабаритные следящие привода.

В случае размещения направляющих под фиксированными углами пуска, как, например, пусковых установок ракет «Вулкан» и «Уран» [3, 4] (рис. 2), можно применять ранее изготовленные штатные реактивные снаряды, только с заменой программно-математического обеспечения систем управления, однако такая схема имеет большое количество ограничений. В связи с тем, что полет этих УРС идет по баллистической траектории, обеспечить стрельбу на максимальную и минимальную дальность только за счет работы системы управления невозможно без изменения угла возвышения, поэтому точность стрельбы зависит от точности выхода носителя в район, дальность стрельбы фиксированная, носитель должен двигаться по траверзу к цели с минимальным углом между направлением на цель и продольной осью снаряда; имеются ограничения по качке носителя.

Кроме того, из-за мощного газопламенного потока продуктов сгорания РДТТ не допускается стрельба через надстройки носителя или направ-

ление заднего среза снаряда на палубу или элементы конструкции без их защиты.

Следует упомянуть проработанный ВАЕ Systems [5] вариант напалубной установки с отведением газовой струи ракеты вверх (рис. 3). Однако в этом случае применяется зенитная ракета, изначально разработанная для стрельбы с корабля и способная к активному маневрированию.

В [6, 7] был предложен вариант адаптации УРС наземного базирования к стрельбе с корабля применительно к вертикальным пусковым установкам (ВПУ). В предлагаемых решениях на сопловом блоке реактивного снаряда закрепляется стартовая ступень, содержащая газодинамическое исполнительное устройство с перпендикулярными продольной оси снаряда соплами и твердотопливный ракетный двигатель с направленным вдоль продольной оси снаряда соплом. Выброс из транспортно-пускового контейнера (ТПК) и склонение на траекторию при этом обеспечивается совместной работой входящих в ее состав двигателя и газодинамического



Рис. 3. Общий вид системы запуска нового поколения Sea Sparrow (NGELS)

устройства. Отделение стартовой ступени происходит за счет разрушения узла крепления под воздействием на передний торец стартовой ступени давления продуктов сгорания маршевого двигателя после его запуска.

Низкотяговый двигатель на баллиститном топливе в составе стартовой ступени позволил значительно сократить термическое и силовое воздействие на носитель, исключить нерациональный расход топлива маршевого двигателя в процессе вывода реактивного снаряда на траекторию. Газодинамическое исполнительное устройство обеспечивает требуемое направление вектора скорости и компенсирует стартовые возмущения движения снаряда на начальном участке траектории в момент движения реактивного снаряда с малой скоростью, когда набегающего потока не хватает для функционирования аэродинамических рулей.

Для решения задач, связанных с математическим моделированием траектории вертикального старта реактивного снаряда (РС) корабельного базирования с учетом отделения стартовой ступени и коррекции полета на начальном участке, а также определения параметров стартовой ступени и характеристик газодинамических органов управления РС при пуске с надводного корабля был разработан программный комплекс [8]. С использованием этого комплекса было рассмотрено применение разработанных решений к

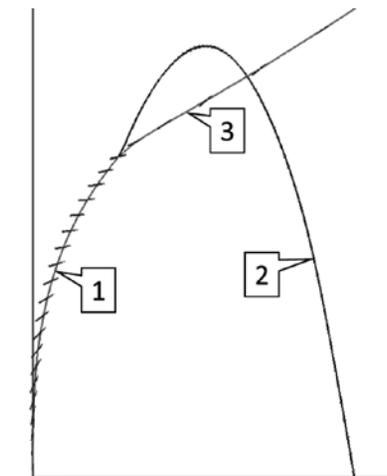


Рис. 4. Принципиальный вид траектории УРС при вертикальном пуске с корабля с помощью стартовой ступени: 1 — участок работы стартовой ступени; 2 — траектория корпуса отработавшей стартовой ступени; 3 — маршевая траектория УРС

вертикальному старту УРС [9] (рис. 4). Проведенные расчеты показали возможность вывода снаряда во всем диапазоне требуемых параметров внешних воздействий на траекторию, обеспечивающую достижение цели на дистанции и с точностью аналогично наземному пуску УРС.

Для пуска УРС со стартовой ступенью из ТПК могут быть использованы, например, вертикальные пусковые установки сотового типа комплекса «Калибр-НК» [10] (рис. 5, а) или

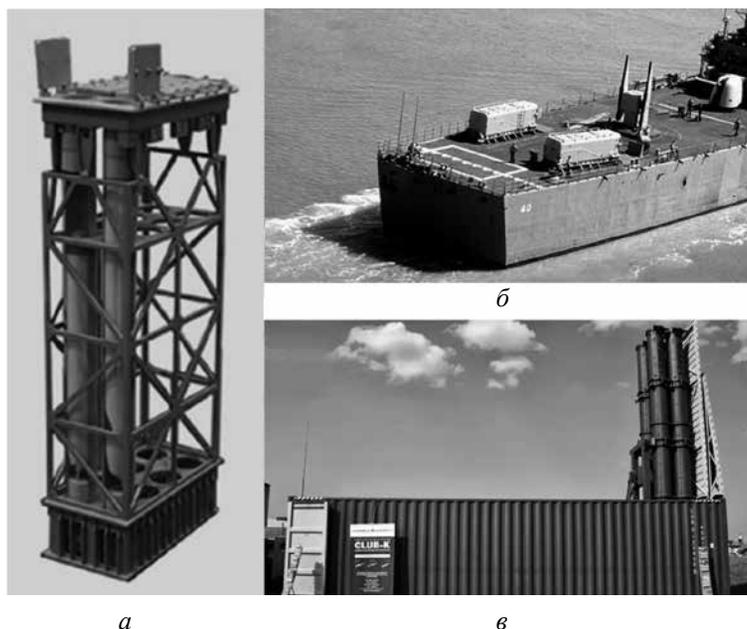


Рис. 5. Общий вид установок: а — вертикального пуска комплекса «Калибр»; б — ABL; в — Club-K

пусковые установки с подъемными направляющими, типа Armoured Box Launcher (ABL) для запуска крылатых ракет «Томагавк» (рис. 5, б). ABL представляли собой компактную пусковую установку коробчатого типа и устанавливались в 80-е годы на эсминцах типа «Спрюэнс», линкорах, а также на вертолетных площадках крейсеров типа «Вирджиния» и «Лонг Бич». В России разработкой подобных установок занимался «Концерн Моринформсистема-Агат» [11] (рис. 5, в).

Сопоставление предложенных в [6, 7] решений с конструкциями временно размещаемых пусковых установок позволило предположить, что операция подъема пакета ТПК является излишней. Помимо времени, необходимого на приведение в боевую готовность, для малых кораблей это может привести к ухудшению остойчивости, а значит, появятся ограничения по применению в штормовую погоду.

Поэтому был рассмотрен вариант применения оснащенных стартовой ступенью УРС при стрельбе с углами малого возвышения. Для этого была проведена серия расчетов для конструкций с теми же массогабаритными, инерциальными и энергетическими характеристиками, что и в случае вертикального старта. Результаты расчета показали принципиальную возможность такой стрельбы УРС.

Основными ограничениями при этом являются качка носителя и высота борта носителя. По результатам расчета установлено, что минимальная высота переднего среза ТПК должна быть от поверхности воды на высоте не менее половины

длины снаряда, при меньшей высоте возможно касание хвостовой части снаряда поверхности моря. Минимальный угол пуска должен быть около 7° , соответственно, для выполнения требований всепогодности применения, угол возвышения пусковой установки должен быть равен сумме этого угла и угла качки, при которой допускается применение оружия.

Для исключения тактических требований по движению корабля перпендикулярно направлению стрельбы были рассмотрены варианты его произвольного курса по отношению к цели (рис. 6, 7). На рис. 7 показан предельный случай, когда направление пуска противоположно направлению на цель. Как видно, возможен подбор циклограммы работы стартовой ступени, обеспечивающий полет снаряда вплоть до направления, противоположного направлению пуска.

Таким образом, адаптация управляемых реактивных снарядов, разработанных в интересах Сухопутных войск, для применения с кораблей может стать быстрым решением задачи по созданию средств поражения береговых целей средней значимости, превосходящих по дальности стрельбы ствольную артиллерию и значительно меньшей стоимости по сравнению, например, с крылатыми ракетами. Предложенные в [6, 7] решения дают возможность применения разработанных для Сухопутных войск управляемых реактивных снарядов с кораблей без доработки носителей и с минимальными доработками серийно выпускаемых УРС. Размещение УРС в транспортно-пусковых контейнерах обеспечивает их механическую совместимость с штатными

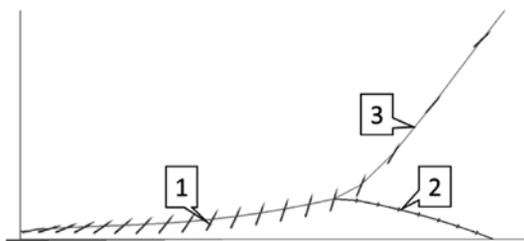


Рис. 6. Принципиальный вид траектории УРС при пуске с корабля с помощью стартовой ступени под малыми углами возвышения: 1 — участок работы стартовой ступени; 2 — траектория корпуса отработавшей стартовой ступени; 3 — маршевая траектория УРС

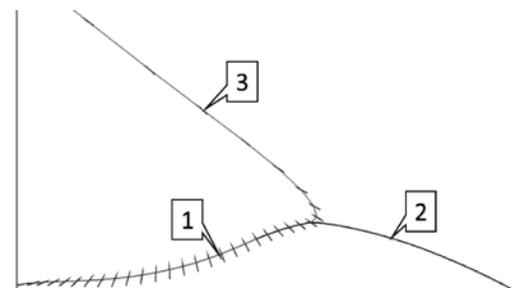


Рис. 7. Принципиальный вид траектории УРС, стартующего с корабля с помощью стартовой ступени под малыми углами возвышения при направлении на цель, противоположном направлению пуска: 1 — участок работы стартовой ступени; 2 — траектория корпуса отработавшей стартовой ступени; 3 — маршевая траектория УРС

пусковыми установками. Дооснащение серийно выпускаемых УРС стартовой ступенью, при минимальных изменениях конструкции, значительно снижает температурное и силовое воздействие на носитель, допуская как вертикальный пуск, так и пуск при малых углах возвышения, обеспечивая на момент запуска маршевого двигателя пространственное положение снаряда, необходимое для дальнейшей работы по штатной циклограмме.

Литература

1. Зубов В. 155-мм артиллерийский управляемый американо-шведский снаряд Excalibur (пус.) // Оружие: журнал. 2015. № 06. С. 42–50. <https://topwar.ru/164952-v-juar-ustanovili-rekord-dalnosti-strelby-stvolnoj-artillerii.html> (дата обращения: 21.11.23).
2. <https://topwar.ru/148820-artillerijskie-boeprigrasy-povyshaja-tochnost-i-dalnost.html> (дата обращения: 21.11.23).
3. http://virtual-sevastopol.ru/album/fleet/121_grk_moskva.html (дата обращения: 21.11.23).
4. https://forums.airbase.ru/2013/03/t82671_51--detali-vooruzheniya-i-oborudovaniya-3.html (дата обращения: 21.11.23).
5. <https://building-tech.org/%D0%92%D0%BE%D0%BE%D1%80%D1%83%D0%B6%D0%B>

5%D0%BD%D0%B8%D0%B5/bae-systems-razrabotaet-raketnyu-systemu-novogo-pokoleniya-dlya-ustanovky-na-palubakh-voennikh-korabley (дата обращения: 21.11.23).

6. Стартовый блок ракеты: пат. RU 2752300 С1 Рос. Федерация. № 2020139317; заявл. 30.11.2020; опубл. 26.07.2021.

7. Сверхзвуковой управляемый реактивный снаряд: пат. RU 2790656 С1 Рос. Федерация. № 2022112542; заявл. 05.05.2022; опубл. 28.02.2023.

8. Система координированной работы АРПМ и ПК СМ ЗУ (АРПМ-СМЗУ): Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU № 2022611235 Рос. Федерация. Заявл. 11.01.2022; опубл. 21.01.2022, Бюл. 2.

9. Иванов И.В., Дунаев В.А., Скорлупкин Д.Б., Сладков В.Ю. Моделирование безопасного аварийного сброса реактивных снарядов, размещаемых на морских носителях // Системы ВТО. Тула: КБП им. А.Г. Шипунова. 2022. № 2(34). С. 27–35.

10. https://ja.wikipedia.org/wiki/3S14_UKSK#/media/%E3%83%95%E3%82%A1%E3%82%A4%E3%83%AB:3S-14_launcher_maquette.jpg (дата обращения: 21.11.23).

11. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Club-K_MAKS-2011_01.jpg (дата обращения: 21.11.23).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СНАРЯДОВ С ПРЯМОТОЧНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ СТРЕЛБЫ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ СИСТЕМ ЗА РУБЕЖОМ

USE OF RAMJET-ASSISTED PROJECTILES FOR INCREASING THE FIRING RANGE OF FOREIGN ARTILLERY SYSTEMS

По представлению академика РАН В.М. Кашина

В.Д. Баскаков, В.Т. Калугин, Л.А. Розанов, Н.И. Сидняев

МГТУ им. Н.Э. Баумана

V.D. Baskakov, V.T. Kalugin, L.A. Rozanov, N.I. Sidnyaev

В статье представлены результаты анализа публикаций в открытых иностранных источниках с 1998 г., посвященных созданию дальнобойных снарядов с твердотопливным прямоточным воздушно-реактивным двигателем (ПВРД) для артиллерийских систем зарубежных стран. Оценены основные характеристики четырех различных снарядов калибра 155 мм разработки ЮАР, Южной Кореи, Индии и США, в том числе предполагаемая дальность и масса разрывного заряда. Отмечен ряд проблем, которые ожидаются при адаптации этих технических решений к современным артиллерийским комплексам. Показано, что имеющиеся в открытом доступе схемы снарядов могут достигать заявленных значений дальности полета в первую очередь за счет высокой начальной скорости и работы ПВРД. Приведены предположения о конструкции и характеристиках будущего зарубежного снаряда с ПВРД, который может быть использован в артсистемах стран НАТО.

Ключевые слова: увеличение дальности, прямоточный воздушно-реактивный двигатель на твердом топливе, артиллерия, зарубежные вооруженные силы.

Presented are results of analysis of unclassified contributions in foreign information sources published since the year 1998 and concerning long-range artillery projectiles with solid-fuel ramjet (SFRJ) engines for use in foreign artillery systems. Basic characteristics including supposed range and explosive charge weight are estimated for four different 155 mm projectiles developed in South Africa, South Korea, India, and USA. A number of problems expected during the fitting of these designs into existing artillery complexes are highlighted. It is shown that unclassified foreign SFRJ projectile designs are capable of achieving their listed maximum range primarily by means of high initial velocity and SFRJ performance. Informed speculations on the design and characteristics of a future SFRJ-assisted projectile for NATO artillery systems are drawn.

Keywords: range extension, solid-fuel ramjet engine, artillery, foreign military.

Введение

Вслед за растущими дальностями боевого взаимодействия сухопутных войск в современных вооруженных конфликтах, зарубежные ученые и инженеры активно прорабатывают различ-

ные варианты повышения дальности стрельбы ствольной артиллерии. Одним из направлений, активизация интереса к которому отмечается в последнее время, являются изыскания в области активно-реактивных снарядов (АРС), оснащенных прямоточным воздушно-реактивным

двигателем (ПВРД) на твердом топливе (ТТ). При этом работы ведутся как в развитых странах, так и в государствах, традиционно относимых к развивающимся.

При этом активное распространение зарубежными странами различных систем тяжелого вооружения, в том числе артиллерии, несет высокий риск попадания таких систем в руки вооруженных формирований, склонных к совершению террористических актов. В условиях такого использования артиллерии одним из основных средств противодействия становится контрбатарейная борьба, которая должна вестись артсистемами, имеющими преимущество в дальности стрельбы.

Для создания ориентиров при формировании отечественного научно-технического задела в области дальнобойного оружия необходимо иметь представление о результатах, достигнутых или ожидаемых зарубежными разработчиками. Целью настоящей работы является в сокращенном виде представить имеющиеся в открытом доступе материалы по АРС с ПВРД, создаваемым в обеспечение увеличения дальности стрельбы ствольной артиллерии. При этом проводится анализ для выявления возможных проблем на пути адаптации таких АРС к использованию в артиллерии НАТО и формируются предположения о характеристиках и конструкции снаряда, который может появиться на вооружении иностранных государств в ближайшее время.

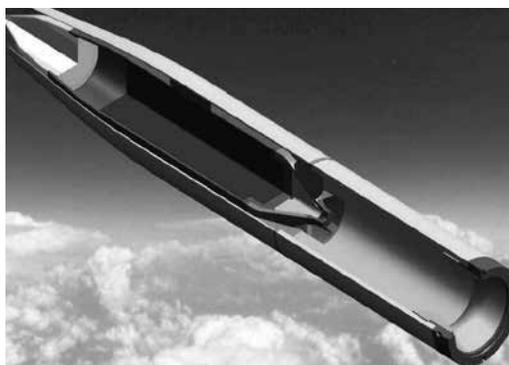
Основная часть

Одним из наиболее успешных в плане экспериментально-теоретической отработки об-

разцов является южноафриканский 155-мм снаряд Pro-RAM. Работы над ним ведутся с рубежа 1990-х и 2000-х годов [1, 2], в том числе при участии США [3].

В открытом доступе не обнаружено иллюстраций Pro-RAM в виде разрезного макета, демонстрирующих его внутреннее устройство. По имеющимся изображениям образца «в металле» можно лишь сделать вывод о том, что его длина соответствует длине штатного снаряда для артсистемы G-6, и он оснащен осесимметричным головным воздухозаборным устройством (ВЗУ). Какие-либо выводы о конструктивной схеме Pro-RAM основываются на иллюстрациях компьютерных моделей, представленных разработчиками [3, 4]. Заявлены как минимум два разных варианта с одной общей конструктивной схемой. Первый (рис. 1, а) предусматривает размещение разрывного заряда (РЗ) в массивном центральном теле (ЦТ), также содержащем небольшой заряд ТТ в газогенераторе — вероятно, как сопроводитель горения и/или для обеспечения эжекционного эффекта. Основной заряд ТТ расположен в камере сгорания ПВРД по «открытой» схеме, т.е. непосредственно обдувается поступающим в камеру рабочим телом. Второй вариант (рис. 1, б) обладает ЦТ, содержащим только профилированный конус ВЗУ, а РЗ размещен в виде трубки вокруг тракта двигателя.

Расчетно-графическая оценка объема боевой части демонстрируемых вариантов Pro-RAM показала, что при плотности наполнителя 1700 кг/м^3 первый вариант имеет массу РЗ порядка 5,13 кг, а второй вариант — порядка 5,6 кг. Эти значения на 12...30 % превышают массу РЗ дальнобойного АРС типа M2005 HE-VLAP, который не оснащен ПВРД.



а



б

Рис. 1. Конструктивные схемы снаряда Pro-RAM, представленные в [3, 4]

Тем не менее такая конструктивная схема снаряда, как на Pro-RAM, имеет ряд проблемных нюансов, от преодоления которых зависит эффективность АРС в целом. Во-первых, наличие осесимметричного головного ВЗУ делает невозможным применение головных взрывателей, к которым относится как большинство штатных взрывателей, так и перспективные устройства с неконтактным подрывом. Внешние обводы взрывателя не позволяют обеспечить подачу воздуха в тракт ПВРД с настолько высокими значениями полного давления, как при использовании специально спрофилированного ступенчатого конуса, который изображен на Pro-RAM. С другой стороны, размещение над взрывателем дополнительного обтекателя, обеспечивающего наиболее выгодную работу ПВРД, затрудняет ввод установок взрывателя и неконтактный подрыв снаряда.

Во-вторых, интеграция тракта ПВРД в снаряде так, как показано на рис. 1, приводит к менее рациональным конструктивным решениям по боевой части, чем на АРС, у которых она расположена тандемно относительно двигателя. В случае схемы на рис. 1, а заряду требуется раздробить не только собственную оболочку, но и обечайку ПВРД, которая из условий прочности должна быть достаточно толстой, особенно в сечениях ниже пилонов, на которых закреплено ЦТ. Такие условия функционирования вызывают потери энергии ударной волны и снижение скорости разлета осколков. В случае схемы на рис. 1, б необходима достаточно сложная система инициирования кольцевого РЗ. Кроме того, при этом часть энергии взрыва будет затрачена на «схлопывание» оболочки боевой части в свободное пространство, образованное трактом ПВРД, а не на разброс осколков.

В 2017 году разработчиками этого снаряда были представлены результаты стрельбовых испытаний в виде графиков скорости АРС, измеренных радиолокационной станцией [4]. Стрельбы проводились из 155-мм самоходной установки G-6 и подтвердили работоспособность схемы — ПВРД позволил снаряду набрать скорость с 900...930 м/с до 920...960 м/с в течение 8 секунд работы. Время работы двигателя по данным стрельбовых испытаний составило ~50 % от теоретического, представленного на графике скорости в [4]. Дальность по-

лета при условии следования теоретическому профилю скорости, согласно расчетам авторов статьи, составляет 70 км, что хорошо согласуется с характеристиками, заявленными разработчиком ранее [3]. Тем не менее данные стрельбовых испытаний показывают, что достижение этого рубежа трудновыполнимо на уровне функционирования снаряда, представленном в [4]. Это связано с временем работы ПВРД существенно меньше расчетного. При этом большую часть траектории занимает пассивный участок, на котором снаряд должен терять скорость существенно быстрее, чем штатный образец, за счет гидравлического сопротивления тракта работающего ПВРД.

Необходимо отметить, что стрельбовым испытаниям Pro-RAM предшествовала обширная стендовая и расчетно-теоретическая отработка: испытания ВЗУ в аэродинамической трубе, стрельбовые испытания макетов в целях проверки прочности конструкции и топливного заряда, математическое моделирование рабочих процессов в ПВРД и напряженно-деформированного состояния конструкции АРС при выстреле [1, 2, 4]. Несмотря, по-видимому, на большой объем теоретических данных, разработчики Pro-RAM строго придерживаются схемы с головным ВЗУ и трактом ПВРД, проходящим насквозь через весь снаряд.

Детальной информации о Pro-RAM с 2017 года по настоящее время в открытых источниках не обнаружено, однако весьма вероятно, что, с учетом кооперации фирмы-разработчика с США, научно-технический задел по этому снаряду был использован при создании американского АРС с ПВРД XM1155, работы по которому стартовали, предположительно, в середине-конце 2010-х годов.

Вероятно, на «волне успеха» Pro-RAM начались работы по аналогичному снаряду фирмой Poongsan в Южной Корее. Известная фотография разрезного макета, представленного на выставке в 2016 году [5], дает представление о конструкции этого АРС (рис. 2).

Обращает на себя внимание использование южнокорейскими конструкторами схемы, представляющей собой адаптацию «классического» ПВРД с открытым расположением топливного заряда применительно к АРС. В этой схеме боевая часть размещена в ЦТ, тракт двигателя



Рис. 2. Снаряд фирмы Poongsan [5]

проходит через снаряд насквозь, и используется осесимметричное головное ВЗУ.

Недостатки у этого снаряда те же, что и у Pro-RAM: затруднено использование штатных головных взрывателей; повышено аэродинамическое сопротивление на пассивном участке траектории; понижен поражающий эффект боевой части за счет необходимости разрушения толстой обечайки ПВРД. Расчетно-графический анализ снаряда, представленного на рис. 2, показал, что при плотности наполнителя 1700 кг/м^3 масса его РЗ составляет порядка 2,3 кг.

Имеющиеся научные публикации корейских авторов по снаряду со схемой, близкой к изображенной на рис. 2, показывают, что предварительно проводилась достаточно серьезная расчетно-теоретическая проработка в обоснование параметров будущего АРС, однако без варьирования схемы адаптации ПВРД к снаряду [6, 7]. Вероятно, экспериментальная отработка этого АРС является успешной, поскольку в зарубежных источниках по состоянию на 2023 год имеются заявления о скором начале серийного производства таких снарядов. Заявлено, что при стрельбе из 155-мм системы К-9 дальность полета составляет 60 км [8]. Учитывая, что К-9 соответствует требованиям совместного меморандума о взаимопонимании в области баллистики (JВМoU) стран НАТО, начальная скорость этого АРС при массе, близкой к штатному снаряду, составит порядка 945 м/с.

В Индии была проведена достаточно детальная научно-конструкторская проработка АРС с ПВРД [9–11]. Следует отметить, что и в этом случае рассматривается только схема с боевой частью в ЦТ и осесимметричным головным ВЗУ. Особенностью этих изысканий является ориентация на реализацию т.н. «псевдовакуумной» траектории, при которой тяга ПВРД всегда рав-

няется силе лобового сопротивления. Эта идея применительно к АРС ранее рассматривалась советскими и американскими учеными, в ходе чего была показана возможность не только увеличения дальности стрельбы, но и повышения кучности за счет парирования воздействия ветра. Кроме того, такая траектория является наиболее предсказуемой и легче всего рассчитывается при баллистических вычислениях при подготовке к стрельбе.

Равенство тяги ПВРД силе лобового сопротивления достигается за счет регулирования притока воздуха к открыто расположенному в камере сгорания заряду топлива [11]. Вероятно, что использование осесимметричного головного ВЗУ вызвано необходимостью применить специфическую систему регулирования, способную выдержать осевые перегрузки при выстреле.

В материалах конструкторской проработки индийского АРС с ПВРД калибром 155 мм указывается масса полезной нагрузки в 7 кг. Не сообщается, какая доля полезной нагрузки приходится на РЗ. При этом длина АРС даже без учета длины заряда топлива составляет 1,13 м, что уже превышает типичное для 155-мм систем ограничение на максимальную длину снаряда в 1,0 м [9](рис. 3). Такое решение усложняет как процесс заряжания снаряда, так и размещение дальнобойного метательного заряда в камере орудия совместно с длинной запоясковой частью снаряда.

Масса ЦТ составляет порядка 40 % от массы всего снаряда [10], что неизбежно приведет к необходимости усиления пилонов ЦТ и обечайки ПВРД с увеличением их собственной массы. В противном случае существенно ограничивается допустимое давление на дно снаряда и как следствие — начальная скорость АРС.

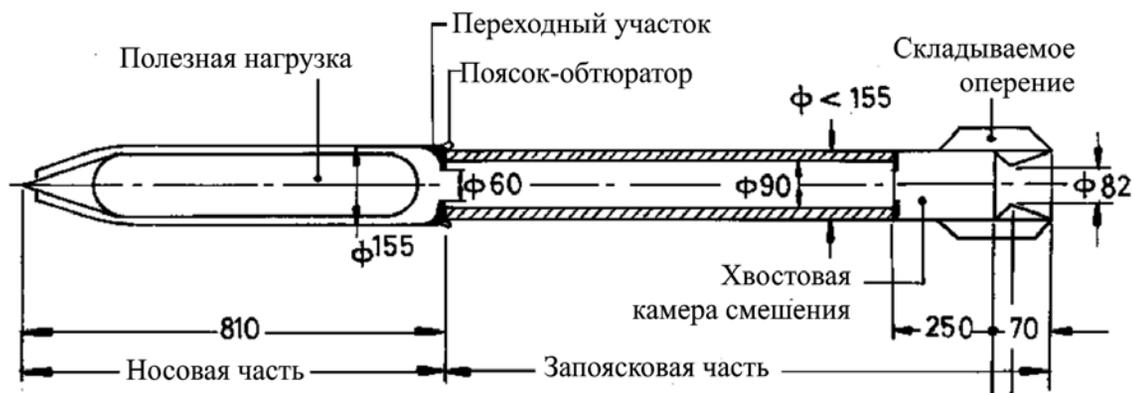


Рис. 3. Схема индийского 155-мм АРС с ПВРД, реализующего «псевдовакуумную» траекторию [9–11]. Перевод подписей выполнен авторами статьи. Размеры в миллиметрах

Индийскими специалистами приводится оценка дальности 155-мм АРС с ПВРД, реализующего «псевдовакуумную» траекторию — порядка 45 км при начальной скорости до 897 м/с [9]. Задел, представленный в работах [9–11], создан в начале 2000-х годов. Вероятно, он мог быть в дальнейшем использован инженерами других стран, в частности США. Однако вместе с широким распространением коммерческих пакетов для численного моделирования, например фирмы ANSYS Inc., интерес к таким АРС в Индии возвращается [12].

Начиная с 2020 года в средствах массовой информации периодически появляются сведения о новом сверхдальнобойном снаряде совместной разработки США и Норвегии под индексом XM1155. Указывается на обширную стендовую отработку, в т.ч. испытания твердотопливного ПВРД на присоединенном воздухопроводе [13]. В 2023 году объявлено об успешных стрельбовых испытаниях этого АРС, однако достигнутая дальность полета не разглашается [14]. Согласно ряду публикаций, расчетная максимальная дальность полета XM1155 должна составлять от 100 км [15] до 150 км [16]. Также не обнаружено и иллюстраций, показывающих схематическое внутреннее устройство снаряда. Публике были представлены только макетные образцы, имеющие вид, как на рис. 4.

Из имеющихся материалов по XM1155 можно сделать вывод, что он также обладает «концентрической» схемой взаимного расположения полезной нагрузки и ПВРД, при которой тракт двигателя проходит насквозь через весь АРС. Соответственно, ему присущи те же недостатки,

что были отмечены выше для других иностранных снарядов. Этот образец интересен в первую очередь чрезвычайно высокими значениями дальности полета для 155-мм образца.

Ближайшие к заявленным для XM1155 показатели дальности стрельбы в этом калибре были получены на американском снаряде LRLAP, обладавшем массивным ракетным двигателем на твердом топливе и имевшем удлинение примерно в 2 раза больше, чем XM1155. Наибольшую часть пути на максимальную дальность порядка 120 км LRLAP преодолевал на пассивном участке траектории в режиме планирования, чему способствовали развитые аэродинамические поверхности. С другой стороны, судя по рис. 4, XM1155 не обладает столь же высоким аэродинамическим качеством, что и LRLAP. Поэтому можно предположить, что максимальная дальность его полета обеспечивается практически исключительно за счет двигателя, а рулевые поверхности служат для коррекции траектории в обеспечение повышения кучности и точности стрельбы.

На основании анализа других зарубежных АРС с ПВРД можно сделать вывод, что такой двигатель может работать либо как на снаряде Pro-RAM (разгон на восходящей ветви баллистической траектории), либо как на «индийском» снаряде (работа на протяжении всего времени полета в обеспечение «псевдовакуумной» траектории). Второй вариант, очевидно, предпочтительнее, т.к. в нем отсутствует пассивный участок, на котором будет действовать повышенное гидравлическое сопротивление тракта ПВРД. Это сопротивление можно



Рис. 4. Снаряд с ПВРД совместной разработки компаний Boeing (США) и Nammo (Норвегия)

нивелировать лишь достаточно экзотическими мерами, например при помощи смещения ЦТ вперед с перекрытием тракта после окончания работы ПВРД, как показано во французском патенте [17].

Проведенные авторами статьи расчеты «псевдовакуумной» траектории показали, что для достижения по ней дальности в 100...150 км потребуется начальная скорость АРС 990...1215 м/с соответственно. Такие значения представляются достижимыми, с учетом того, что ХМ1155 разрабатывается для применения из новой американской артсистемы М1299 ERCA с длиной ствола 58 калибров и камерой увеличенного объема.

Результаты анализа сведены в таблицу. При оценке возможностей зарубежных АРС с ПВРД необходимо учитывать и артиллерийский комплекс, из которого они применяются, и возможности по адаптации этих АРС к другим комплексам — в частности, соответствующим требованиям JBMoU.

Из представленного следует, что широкого распространения в странах НАТО следует ожидать от снарядов типа Pro-RAM и корейского АРС фирмы Poongsan. Вариант, представленный индийскими специалистами, обладает слишком длинной запоясковой частью, делающей невозможной его применение из орудий с метательными зарядами, соответствующими JBMoU. Снаряд ХМ1155 также требует специальных дальнобойных метательных зарядов, разработанных именно для артсистемы М1299, улучшенные баллистические характеристики которой и обеспечивают максимальную дальность стрельбы этим снарядом.

Снаряд Pro-RAM и снаряд Poongsan не обладают устройствами для коррекции траектории, а применение взрывателей типа М1156 РГК сопряжено с нарушением геометрии ВЗУ и расчетной работы ПВРД. Применение штатных головных взрывателей само по себе затруднено на зарубежных снарядах с ПВРД в силу выбранной конструктивной схемы АРС, при которой тракт двигателя проходит насквозь через весь снаряд, полезная нагрузка размещается в ЦТ или вокруг тракта, а двигатель оснащается осесимметричным головным ВЗУ. При этом РЗ либо должен обладать сложной системой инициирования (при размещении вокруг тракта ПВРД), либо при подрыве должен раздробить не только стенку боевой части, но и стенку ПВРД, толщина которой обусловлена требованиями прочности при выстреле. Сама масса РЗ находится на уровне, примерно соответствующем дальнобойным АРС без ПВРД (Pro-RAM) или существенно ниже его (снаряд Poongsan).

Все перечисленные факторы вкупе с ожидаемо большим рассеиванием на максимальной дальности стрельбы снижают эффективность боевого действия таких снарядов. Так, при величине $B_d = 1/200$ на дальности 70 км длина полуоси эллипса рассеивания по дальности составит 1,4 км. Поэтому нельзя исключать адаптацию управляемого снаряда ХМ1155 под стрельбу на дальности 60...70 км из орудий, соответствующих JBMoU. Это позволит компенсировать малую массу РЗ и неоптимальные условия его подрыва путем радикального снижения кругового вероятного отклонения точек попадания за счет воздействия на снаряд аэродинамических рулей.

Основные характеристики современных дальнобойных АРС с ПВРД зарубежных стран

Условное обозначение	Pro-RAM	АРС фирмы Poongsan	«Индийский» АРС с ПВРД	ХМ1155
Калибр, мм	155	155	155	155
Масса РЗ, кг	≈(5,13...5,6)*	≈2,3*	≤ 7,0	Неизвестна
Начальная скорость, м/с	900**	945*	897**	990...1215*
Максимальная дальность полета, км	70,0**	60,0**	45,0**	100,0...150,0**
Длина снаряда, м	< 1,0*	< 1,0*	≥ 1,5**	< 1,0*
Артсистема	G-6	K-9	Неизвестна	M1299
Возможность стрельбы на заявленную дальность из артсистем НАТО, соответствующих JВМоU	+	+	—	—
Возможность управления траекторией полета	—	—	+	+

* — расчетная оценка авторов статьи; ** — расчетная оценка разработчиков

Выводы

Для наиболее распространенных арт-комплексов стран НАТО, соответствующих JВМоU, можно ожидать появление АРС с ПВРД, по конструктивной схеме близкого к Pro-RAM, и оснащенного аэродинамическими рулями для коррекции траектории, аналогично ХМ1155. Его дальность полета составит порядка 60...70 км, что представляется достижимым по результатам отработки Pro-RAM. При этом масса РЗ будет составлять менее 5,6 кг при плотности наполнителя 1700 кг/м³, так как часть объема ЦТ будет занята блоком системы управления.

Необходимо отметить ориентацию зарубежных специалистов практически только на одну конструктивную схему АРС с ПВРД, в которой двигателю отводится первоочередная роль, зачастую в ущерб остальным элементам снаряда. Вероятно, это связано с желанием получить наилучшие баллистические характеристики двигателя. Также вероятно, что материалы по столь же глубокой научно-технической проработке иных конструктивных схем не попадают в открытые зарубежные источники.

Литература

1. Oosthuizen R.R., du Buisson J.J., Botha G.F. Solid Fuel Ramjet (SFRJ) Propulsion for Artillery Projectile Applications — Concept Development

Overview // 19th International Symposium of Ballistics (Interlaken, 7–11 May 2001). Thun, 2001. Pp. 403–410.

2. Dionisio F., Stockenström A. Aerodynamic wind-tunnel test of a ramjet projectile // 19th International Symposium of Ballistics (Interlaken, 7–11 May 2001). Thun, 2001. Pp. 529–536.

3. Gyff Fitchat. South African/US Cooperative Developments // International Armaments Technology Symposium & Exhibition (Wharton, 14–16 June 2004). URL: <https://ndia.dtic.mil/2004/2004armaments.html> (дата обращения: 17.02.2020).

4. Roelof Oosthuizen, Andrew Whittaker. Artillery Ammunition. Answering topical questions // PARARI 2017: Australian Explosive Ordnance Safety Symposium (Canberra, 20–23 November 2017). URL: <https://www.defenceconnect.com.au/events/item/parari-2017-australian-explosive-ordnance-safety-symposium> (Доступ с VPN; дата обращения: 17.02.2020).

5. Poongsan debuts 155 mm ramjet propelled artillery shell concept [Электронный ресурс] // Defence & Security Intelligence & Analysis | Jane's 360: сайт. URL: <http://www.janes.com/article/63602/dx-korea-2016-poongsan-debuts-155-mm-ramjet-propelled-artillery-shell-concept> (дата обращения: 17.02.2020).

6. Kang, Shinjae. Design of Gun Launched Ramjet Propelled Artillery Shell with Inviscid Flow Assumption / Shinjae Kang, Chul Park, Woosuk Jung, Taesoo Kwon, Juhyeon Park, Sejin Kwon //

Journal of the Korean Society of Propulsion Engineers. 2015. Vol. 19. No. 4. Pp. 52–60.

7. Range Extension Form Ramjet Propelled Shell: pat. KR101609507B1 South Korea: IPC F42B 10/38, F02K 7/10, F42B 10/34. KR1020150029062A; filed 02.03.2015; publ. 05.04.2016.

8. Inder Singh Bisht. S. Korean Firm Announces 155mm Extended-Range Shell for K9 Howitzer [Электронный ресурс] // The Defence Post : сайт. — URL: <https://www.thedefensepost.com/2023/08/31/korean-155mm-shell-k9/> (дата обращения: 18.10.2023).

9. Krishnan, Subramaniam. Solid Fuel Ramjet Combustor Design / Subramaniam Krishnan, Philmon George // Progress in Aerospace Sciences. 1998. Vol. 34. Pp. 219–256.

10. Subramaniam Krishnan. Solid-Fuel Ramjet Assisted Gun-Launched Projectiles: An Overview // Proceedings of Fifth National Conference on Airbreathing and Aerospace Propulsion (Hyderabad, 21–23 December 2000). Bangalore, 2000. Pp. 52–64.

11. Krishnan, Subramaniam. Design and Control of Solid-Fuel Ramjet for Pseudovacuum Trajectories / Subramaniam Krishnan, Philmon George, S. Sathyan // Journal of Propulsion and Power. 2000. Vol. 16. No. 5. Pp. 815–822.

12. Dillion, Swaranjeet Singh. Design and Computational Analysis of Inlet Cone Section of Artillery Ramjet / Swaranjeet Singh Dillion, Kunika Band, Sandip Vishwakarma, Manav Katyal // Journal of Emerging Technologies and

Innovative Research. April, 2021. Vol. 8. Issue 4. Pp. 535–543.

13. Ben Sampson. Northrup Grumman completes solid fuel ramjet testing for artillery [Электронный ресурс] // Aerospace Testing International : сайт. URL: <https://www.aerospacetestinginternational.com/news/weapons-testing/northrup-grumman-completes-solid-fuel-ramjet-testing-for-artillery.html> (дата обращения: 17.02.2021).

14. Dan Schere. Army conducts indirect-fire test of Boeing-Nammo projectile [Электронный ресурс] // Inside Defence : сайт. — URL: <https://insidedefense.com/insider/army-conducts-indirect-fire-test-boeing-nammo-projectile> (дата обращения: 19.10.2023).

15. Joseph Trevithick. Raytheon Is Developing A Ramjet Artillery Round For The Army's New Super Howitzers [Электронный ресурс] // The Drive : сайт. — URL: <https://www.thedrive.com/the-war-zone/33425/raytheon-is-developing-a-ramjet-artillery-round-for-the-armys-new-super-howitzers> (дата обращения: 19.10.2023).

16. Joseph Trevithick. This Is A Ramjet Artillery Shell Right As It's Fired Out Of A Howitzer [Электронный ресурс] // The Drive: сайт. — URL: <https://www.thedrive.com/the-war-zone/this-is-a-ramjet-artillery-shell-right-as-its-fired-out-of-a-howitzer> (дата обращения: 19.10.2023).

17. Projectile Propulsé Par Statoréacteur : pat. International: IPC F02K 7/18, F42B 10/40, F02K 9/18, F42B 10/64 / Christian Trouillot; Applicant/ Owner: Cabinet Chaillot. №19/053475; filed 29.04.2019; publ. 07.11.2019.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОСТЬ БОЕВЫХ СВОЙСТВ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ НАЗЕМНОГО БАЗИРОВАНИЯ

THE INTELLIGENCE OF THE FUTURE GROUND-BASED ROBOTIC COMPLEXES COMBAT PROPERTIES

По представлению академика РАН Р.А. Дурнева

В.К. Абросимов, А.В. Гладкий

ГНИИМЦ ПВ Минобороны России

V.K. Abrosimov, A.V. Gladky

Требование внедрения в образцы вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) технологий искусственного интеллекта формирует совершенно новое восприятие традиционных боевых свойств.

В работе предлагается ввести в научный оборот новое понятие «интеллектуальные боевые свойства». Основными интегральными свойствами робототехнического комплекса (РТК), обеспечивающими его интеллектуальность, предложено считать «автономность» функционирования РТК, его «адаптивность» к текущей боевой ситуации и «безопасность боевого применения».

Ключевые слова: боевые свойства, робототехнический комплекс, огневая мощь, защищенность, подвижность, автономность, адаптивность, интеллектуальность.

The requirement to introduce artificial intelligence technologies into weapons samples forms a completely new understanding of traditional combat characteristics.

The paper proposes to introduce a new integrated concept of «intellectual combat characteristics». It is proposed to consider the «autonomy» of the functioning of the Robotic complex, its «adaptability» to the current combat situation and the «safety of combat use» as integral properties of robotic complexes that ensure their intelligence.

Keywords: combat characteristics, Robotic complex, fire efficiency, mobility potential, robustness, reliability, autonomy, adaptability, intelligence.

Введение

Существенным трендом последнего времени является стремление к обеспечению высокой степени интеллектуализации образцов ВВСТ. В современных условиях основную интеллектуальность образцу ВВСТ придает использование технологий искусственного интеллекта. К ним причисляют десятки современных технологий. К наиболее распространенным относятся машинное обучение, компьютерное зрение, распоз-

навание и синтез речи, интернет вещей и др. Наличие в тактико-технических требованиях (ТТТ) к перспективному образцу ВВСТ числовых показателей критериев эффективности при использовании конкретной технологии искусственного интеллекта является залогом того, что образец станет в определенном смысле интеллектуальным. Прогнозируется, что интеллектуальные функции образца ВВСТ позволят получать из различных источников и обрабатывать большие данные о ситуации на поле боя, диагностиро-

вать состояние своих систем и агрегатов, самообучаться при поступлении новой информации, меняя как структуру, так и параметры системы управления, прогнозировать развитие конфликта и принимать соответствующие решения. Применительно к РТК практически все реализуемые в близлежащей перспективе технологии искусственного интеллекта в прикладном отношении направлены на повышение их боеспособности и боевой эффективности.

Как и всякий объект управления, перспективный РТК с внедренными элементами искусственного интеллекта должен также обладать определенными свойствами. Исходя из определения, что искусственный интеллект есть «...совокупность математических, программных, аппаратных и алгоритмических решений, обладает свойствами, которые призваны имитировать когнитивные функции человека (включая самообучение и поиск решений без заранее заданного алгоритма)» [1], первичными являются именно свойства. В известной литературе к интеллектуальным свойствам роботов относят способность воспринимать окружающий мир с помощью сенсоров, понимание ситуации и построение моделей поведения, возможность воздействия на среду и др. При этом исходными являются именно свойства, причем логически исследование проводится как бы «снизу вверх», то есть от свойств к объекту. В результате объект обладает свойствами, и присущие объекту свойства свидетельствуют о принадлежности объекта к определенному классу (в данном случае к робототехническим средствам).

Часто высказывается мнение, что интеллектуальность РТК определяют его функции. При этом функции, имеющие в качестве прилагательного термин «интеллект», в настоящее время зачастую не имеют строгого и однозначного толкования. Так, например, распространено мнение, что интеллектуальные роботы — это роботы, которые могут распознавать объекты и их состояние и на основе такого распознавания автоматически определять действия, которые им следует выполнять. Однако понятие «функция» отличается от понятия «свойство», и в ряде случаев довольно существенно. Функция связана с осуществлением различных операций, а свойство — это атрибут, характеристика, признак. Действительно, например, такое очевидное и

необходимое свойство РТК как «надежность» никак нельзя рассматривать как функцию. Автономность объекта также не функция, но свойство.

Боевое свойство является системным и интегральным отличительным атрибутом образца ВВСТ, характеризующим его возможности по выполнению установленных по предназначению боевых функций [2]. Таким образом, не функция характеризует боевое свойство, а из определения и сути боевого свойства вытекает боевая функция. Важность систематизации боевых свойств перспективного образца ВВСТ состоит в том, что они являются основой формирования тактико-технических требований к нему. Здесь используется следующий широко распространенный и практически апробированный алгоритм.

1. Систематизируются требования назначения (как правило боевые задачи) перспективного образца ВВСТ, исходя из опыта ведения боевых действий, анализа сценариев командно-штабных учений и оперативно-тактических данных о будущих условиях его боевого применения.

2. Формируется перечень боевых свойств перспективного образца ВВСТ и критически важные критерии (в зарубежной терминологии — метрики) их обеспечения.

3. Для указанных критериев определяется перечень характеризующих их параметров и показателей.

4. По расчетным соотношениям, учитывающим параметры типовых сценариев будущих боевых действий, определяются значения показателей, которые и закладываются в ТТТ на образец ВВСТ.

Введем новое понятие «Интеллектуальные боевые свойства». Под ними будем понимать атрибуты, присущие перспективным образцам ВВСТ военного назначения, направленные на обеспечение боевой эффективности образца ВВСТ как перспективного вида оружия за счет использования технологий искусственного интеллекта.

Интеллектуальность основных боевых свойств современных образцов бронетанкового вооружения

Облик перспективных РТК определяется соответствующими нормативными документами.

Так, Концепцией применения РТК военного назначения, Комплексной целевой программой «Создание перспективной военной робототехники до 2025 года с прогнозом до 2030 года» [5] и др. определены принципиальные функции будущих РТК, в частности разведка и наблюдение на театрах военных действий (поиск, обнаружение и слежение за силами и средствами обеспечения вооружения), формирование целеуказаний и уничтожение важных целей, объектов техники и живой силы противника с помощью бортового оружия для нанесения ударов высокоточным оружием, ретрансляция сигналов, доставка грузов, в том числе боеприпасов, медикаментов и продовольствия, разминирование местности и др. Однако эти документы не определяют боевые свойства РТК, для обладания и использования которых в боевых условиях РТК, собственно, и создается.

Для образцов бронетанкового вооружения (танки, боевые машины пехоты, бронетранспортеры и др.), к которым относятся и перспективные наземные РТК, основные боевые и эксплуатационно-технические свойства имеют близкое функциональное предназначение. К основным боевым свойствам образцов ВВСТ бронетанкового типа традиционно относятся следующие [2–4].

1. Огневая мощь (неофициальный термин). Она отражает способность образца ВВСТ поражать своим огнем противостоящие ему вооружение, технику и живую силу противника за возможно более короткое время. Понятие «Огневая мощь» по своему определению связано с тремя основными подклассами: «Информационная производительность», «Огневая производительность» и «Огневой ресурс». Все они при внедрении технологий искусственного интеллекта в той или иной мере могут обладать высоким уровнем интеллектуальности.

Примеры:

– высокие поисковые и информационные возможности РТК обеспечиваются внедрением и обучением систем технического зрения;

– высокие коммуникационные возможности РТК реализуются за счет внедрения современных сетевых архитектур, использованием принципов интернета боевых вещей для обмена информацией и управления РТК друг другом без привлечения оператора;

– повышение быстродействия оружия и точности стрельбы также связывается с точностью целеуказания, которое обеспечивается правильным обнаружением, распознаванием и идентификацией целей с потенциально, в перспективе, самостоятельным принятием решения по воздействию на них;

– при расчете характеристик огневой производительности и огневого ресурса могут автоматически определяться типы и количество боеприпасов, требуемых для поражения с заданной вероятностью разведанных целей и др.

2. Защищенность. Это свойство рассматривается как способность образца ВВСТ противостоять воздействию различных средств поражения противника, затрудняя его обнаружение противником и сохраняя при этом боеспособность, успешно выдерживая поражающие воздействия. Как правило, понятие «Защищенность» включает в себя два подкласса: «Стойкость» и «Живучесть». «Стойкость» обеспечивается мероприятиями защиты от различных возмущающих факторов. Так, защита предусматривает внедрение комплекса активной защиты, включающей систему постановки завес, средства обнаружения и последующего противодействия. Наличие на РТК хорошо развитых систем технического зрения предполагает высокую вероятность правильного распознавания угрозы, а использование систем обучения, основанных на различных принципах, позволяет в перспективе как идентифицировать тип угрозы, так и выработать потенциально реализуемые варианты ее устранения, а именно: самостоятельное поражение источника угрозы, уклонение от влияния угрозы, обращение за помощью к другим объектам, которые могут оказывать информационную или активную помощь и др.

«Живучесть» РТК состоит в его способности противостоять развитию критических отказов от дефектов и повреждений [6]. При этом предполагается, что РТК принципиально сохраняет возможно ограниченную работоспособность при воздействии, не предусмотренном условиями эксплуатации, в том числе непосредственном воздействии противника. С точки зрения интеллектуальных функций РТК, тем более уже в полуавтономном варианте, «живучесть» состоит в автоматизации процессов борьбы с критическими ситуациями. Так, необходимо обеспечивать

интеллектуальную диагностику систем и агрегатов РТК, обобщать и вырабатывать решение о текущем состоянии и уровне их работоспособности. Указанное достигается, например, созданием обученной нейронной сети, для которой в качестве обучающей выборки должны использоваться ситуации нарушенной работоспособности. В свою очередь, такие ситуации могут нарабатываться в результате создания другой нейронной сети, на входе которой должны задаваться факторы, влияющие на работоспособность соответствующих систем и агрегатов РТК.

3. Подвижность. Это интегральный комплекс характеристик, которые описывают возможности образца ВВСТ по движению в определенных условиях, способность уверенно и быстро передвигаться по дорогам и местности, совершать переходы к намеченным рубежам, успешно маневрировать на поле боя, преодолевать различные препятствия при необходимости в сжатые сроки и др. Понятие «Подвижность» включает в себя четыре подкласса нижнего уровня иерархии: «Быстроходность», «Маневренность», «Пройодимость» и «Запас хода». В настоящее время активно разрабатываются методы технического зрения для распознавания препятствий и, при их наличии, объезда препятствий. Указанное относится к интеллектуальным функциям и может рассматриваться как свойство, обеспечивающее возможность проходимости местности с препятствиями.

4. Надежность. Надежность является эксплуатационным свойством, однако тесно связанным с боевыми. Под надежностью понимают способность образца ВВСТ сохранять боеспособность с течением времени, выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования. Понятие «Надежность» применительно к техническим системам, особенно критического типа, является едва ли не самым важным. Оно включает в себя на третьем уровне иерархии такие понятия, как «безотказность», «отказоустойчивость», «ремонтпригодность», «сохраняемость», «целостность», «конфиденциальность», «долговечность» и другие. «Надежность» часто связывают с «живучестью». Оба понятия настолько широко трактуются и настолько по-разному реализуются, что должны обеспечиваться совместно и одновременно.

Для их объединения за рубежом вводится понятие мета-уровня «техническая устойчивость» [7] как возможность сохранения работоспособности при любых нештатных ситуациях, активно используемое и в Российской Федерации при исследовании систем автоматического управления с обратной связью.

Указанные четыре свойства являются основными. В литературе при анализе боевых свойств используются также такие понятия, как работоспособность, боеготовность, боеспособность, безопасность, командная управляемость и др. Как правило, все они являются подклассами понятия «Боевая эффективность РТК» как важнейшей обобщающей характеристики ВВСТ, описывающей степень соответствия ВВСТ своему функциональному назначению.

Новые боевые свойства перспективных РТК

В существующих документах в число боевых свойств РТК пока еще не включались такие важнейшие, обеспечиваемые технологиями искусственного интеллекта свойства перспективных образцов ВВСТ, как «Автономность» и «Адаптивность». Вместе с тем такие свойства во многом определяют как облик перспективного образца ВВСТ, так и эффективность его боевого применения.

Автономность

Автономность рассматривается как одно из важнейших свойств, выражающееся в способности ВВСТ функционировать независимо, без внешнего вмешательства и помощи каких-либо вспомогательных внешних систем (источников энергии, средств управления, обеспечения и снабжения и т.п.) в течение определенного количества времени [8]. Стандарт [9] определяет «автономный режим работы» как состояние, при котором мобильный робот получает задание от оператора или внешней системы управления, с которой взаимодействует, и выполняет его без дальнейшего взаимодействия с оператором или внешней системой. В робототехнике под автономностью часто понимается предельное время функционирования РТК без внешнего управления достаточно продолжительное время [9]. Под автономностью бронетанковой техники

понимается способность образца ВВСТ по расходуемым ресурсам вести боевые действия, возможно большую часть времени своего функционирования [2]. В ВМФ автономность рассматривается как продолжительность непрерывного плавания без пополнения запасов (топлива, продовольствия, боеприпасов и др.) [10]. Однако все указанное является слишком упрощенным восприятием данного понятия.

Существенным, необходимым, но не достаточным признаком автономности является независимость, прежде всего от человека, контролирующего разработанный им же объект управления. Поэтому в самом общем плане под автономностью РТК понимается его способность воспринимать и правильно уяснять поставленную задачу, функционировать заданное время в неструктурированной среде в условиях ее возможного воздействия. Однако выразим сомнения в том, что в ожидаемой и даже долгосрочной перспективе возможно создание полностью такого автономного и многофункционального РТК. Очевидно, что его стоимость станет запредельной. Кроме того, для полной автономности необходимо создание многочисленных автономно функционирующих систем, многие из которых, например база знаний, позволяющая вырабатывать правила поведения в нестандартных ситуациях, база прецедентов боевого применения, алгоритмы принятия самостоятельных решений, пока прорабатываются только на вербальном уровне.

Несмотря на попытки ввести разнообразные метрики по оценке степени автономности, наиболее известные интегральные характеристики основаны на традиционных взвешенных суммах балльных экспертных оценок [11].

Исследование свойства автономности РТК на высоком уровне детализации является очень сложной задачей. Даже для одного из таких важных свойств как «проходимость», которое существенно связано с автономностью, например танков в условиях действий на пересеченной местности, выделяют не менее пятнадцати ключевых влияющих показателей, в том числе тип, влажность и профиль грунта, плотность, наличия препятствий, энергозатратность и др. [5, 6].

Анализ показывает, что основными понятиями иерархии, развивающими понятие ав-

тономности, являются такие свойства, как достижимость и корректировка целей, добытие, обработка и накопление новых знаний, использование известных знаний, адаптация к условиям динамичной и противодействующей среды, обучаемость (априорная и на собственных примерах), способность запрашивать и обрабатывать необходимую информацию, выбирать метод решения задач с учетом прецедентов, осуществлять самодиагностику и, по возможности, самовоспроизведение необходимых элементов.

С учетом указанного, для развития понятия «автономность РТК» целесообразно ввести следующие сущности:

- автономность целеполагания и реконфигурации целей;
- автономность управления;
- автономность системы технического зрения;
- автономность самообучения на прецедентах;
- автономность выбора методов решения задач;
- автономность самоорганизации;
- автономность самодиагностики;
- автономность энергетики;
- автономность связи;
- автономность принятия решения.

Таким образом, одним из важнейших интеллектуальных свойств перспективных РТК является автономность, как способность выполнять заданные военно-технические задачи в сложной боевой обстановке на основе анализа текущего состояния и восприятия внешней среды без вмешательства человека.

Адаптивность

В перспективных РТК могут и будут реализовываться различные виды адаптации. Так, важна адаптация на основе самонастройки параметров управления РТК по результатам оценки текущей ситуации, в том числе изменения маршрута следования, выбора вида боеприпасов в зависимости от защищенности и типа целей и др. Возможна адаптация на основе самообучения, в процессе которой в основу изменения параметров и алгоритмов управления закладывается опыт функционирования в недоопределенной

среде с учетом ее противодействия. Интересно построение систем адаптации на основе самоорганизации, когда изменяется и структура системы управления для обеспечения требуемого уровня автономности.

Для формирования адаптивного поведения таких сложных в эксплуатации и боевом применении образцов ВВСТ, к которым относятся перспективные РТК и которые разрабатываются для решения боевых задач в мозаичных войнах, наиболее интересные решения получены в области использования прецедентов. В общем случае система технического зрения получает информацию о состоянии среды, из базы знаний извлекаются наиболее соответствующие текущей ситуации прецеденты боевого применения, решения и, так как эффект их использования известен, осуществляется корректировка решения под текущую ситуацию, после чего новый прецедент заносится в базу прецедентов со значениями метрик его эффективности. Интересно, что определяющими при этом становятся метрики сходства прецедентов, которые могут строиться на теории подобия.

Перефразируя общее определение, данное в работе [12], под адаптивностью РТК будем понимать способность РТК самообучаться, накапливая знания, получаемые из внешних систем, обеспечивающие боевые действия, и выводимые им из результатов анализа данных наблюдений собственной системы технического зрения на временном интервале, в течение которого свойства системы «среда — РТК» можно считать постоянными.

Безопасность боевого применения

Свойство «Безопасность боевого применения» трактуется достаточно широко, прежде всего способность как функционировать в условиях угроз и воздействий, так и не создавать угроз при изготовлении и эксплуатации. Таким образом, угрозы могут быть как для РТК, так и создаваться им. Так, «защищенность» и «надежность» рассматриваются как факторы, обеспечивающие так называемую «техническую безопасность». Но используется и понятие «информационной безопасности РТК» [13], включающей в свою очередь «защищенность информации, циркулирующей в системах РТК», «защиту элемен-

тов РТК от информационных угроз» и «защиту от угроз со стороны РТК», как внешней среды, так и личного состава.

Для обеспечения безопасности среды и личного состава РТК, например, может иметь интеллектуальную систему «свой — чужой» и систему самоликвидации при том понимании, что окончательное решение принадлежит человеку. Пока такие системы, к сожалению если и проектируются, то только концептуально. Но именно такие системы придают свойству «безопасности боевого применения» РТК и РТК в целом признаки интеллектуальности, что особенно важно при его высокой автономности.

Рассмотренные три новых свойства целесообразно включить в состав интеллектуальных боевых свойств перспективных РТК.

Заключение

Требование внедрения в образцы ВВСТ технологий искусственного интеллекта формирует совершенно новое восприятие традиционных боевых свойств. Для перспективных РТК предложено ввести в научный оборот новое понятие «интеллектуальные боевые свойства» как совокупность свойств, присущих перспективным РТК военного назначения и направленных на обеспечение боевой эффективности РТК за счет использования технологий искусственного интеллекта.

Обобщающими интегральными характеристиками, отражающими интеллектуальность РТК, являются такие новые боевые свойства как «автономность», «адаптивность» и «безопасность боевого применения», во многом определяющие как облик перспективного образца ВВСТ, так и эффективность его действий в современных сетцентрических войнах. Именно эти свойства рекомендуются, наряду с традиционными: огневой мощью, защищенностью, технической устойчивостью, подвижностью — включать в число боевых свойств перспективных образцов ВВСТ, фиксируемых в организационно-методических документах.

Проведенный анализ показал существенное многообразие трактовок понятий, относящихся к описанию сущности боевых свойств РТК, необходимость уточнения терминологии и создания соответствующей предметно-

ориентированной онтологии. Приведенные в статье описания таких свойств будут положены в основу создания такой онтологии в следующей публикации.

Литература

1. Национальная стратегия развития искусственного интеллекта до 2030 года. Утверждена Указом Президента РФ от 10 октября 2019 г. № 490.
2. Бронетанковая техника (танки): учебник. М.: Военная орденов Ленина и Октябрьской революции Краснознаменная академия Бронетанковых войск имени Маршала Советского Союза Р.Я. Малиновского, 1989. 419 с.
3. Келлер В.В. Общая тактика: учебное пособие. Самара: Изд-во Самарского ун-та, 2022. 49 с.
4. Брилев О.Н. Танки. М.: Изд-во «Планета», 2015. 571 с.
5. Раковенко А., Кузьмин А., Куницын Р. Применение робототехнических комплексов // Арсенал Отечества. 2022. № 3 (59).
6. Недосекин А.О., Виноградов В.В., Абдулаева З.И. Методы и модели оценки функциональной живучести структурно-сложных технических систем. СПб.: Изд-во СПбПУ, 2018. 127 с.
7. Черкесов Г.Н., Недосекин А.О. Описание подхода к оценке живучести сложных структур при многократных воздействиях высокой точности // Надежность. 2016. Т. 16. № 2 (57). С. 3–15.
8. Данилевич А.А. и др. Война и мир в терминах и определениях / под общ. ред. Д.О. Рогозина. М.: ПоРог, 2004. 623 с.
9. ГОСТ Р 60.6.0.1–2021. Роботы и робототехнические устройства. Сервисные мобильные роботы. Уровни автономности. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2021. 10 с.
10. Спасский Б.А. Автономные безэкипажные корабли военного и двойного назначения // Робототехника и техническая кибернетика. 2014. № 3. С. 9–16.
11. Щербатов И.А. Автономность функционирования и степень интеллектуальности сложных технических систем // Информатика и системы управления. 2016. № 3 (49). С. 105–118.
12. ГОСТ Р «Адаптивные системы управления. Программное обеспечение с элементами искусственного интеллекта. Классификация и типовые архитектуры» (Проект от 16.09.2022.). URL: <https://www.normacs.ru/Doclist/doc/22IFN.html> (дата обращения: 05.03.2023).
13. Кузнецов Ю.В. Теоретические основы информационной безопасности робототехнических комплексов // Военная мысль. 2018. № 12. С. 71–78.

УДК: 623.4.01

DOI: 10.53816/20753608_2024_1_116

**К ВОПРОСУ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАМЫСЛА И ОПИСАНИЯ
ПРИ СОЗДАНИИ ИЗДЕЛИЙ ВЫСОКОЙ СТЕПЕНИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ
СЛОЖНОСТИ ВООРУЖЕНИЯ, ВОЕННОЙ И СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ**

**TO THE QUESTION OF THE FORMATION OF THE CONCEPT
AND DESCRIPTION WHEN CREATING PRODUCTS OF A HIGH DEGREE
OF TECHNOLOGICAL COMPLEXITY OF WEAPONS OF MILITARY
AND SPECIAL EQUIPMENT BASED ON DIGITAL TWINS**

По представлению чл.-корр. РАРАН А.И. Михайлина

В.Ю. Кулемин

СПбПУ Петра Великого

V.Y. Kulemin

Рассмотрены подходы к формированию замысла и разработки на его основе описания для создания изделий с высокой степенью технологической сложности (ИВСТС). Показана геополитическая необходимость опережающего создания ИВСТС вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ). Определены проблемы создания ВВСТ: разунификация, незавершенный научно-технический задел (НТЗ), раннее принятие решений при проектировании. Предложено решение проблем путем формирования замысла и описания ИВСТС ВВСТ с помощью системного инжиниринга и цифровых двойников изделий, обеспечивающих заданные характеристики при многократном снижении временных и ресурсных затрат.

Ключевые слова: изделие высокой степени технологической сложности, вооружение, военная и специальная техника, разунификация, незавершенный научно-технический задел, замысел, описание, цифровой двойник изделия, системный инжиниринг.

The approaches to the formation of the concept and the development of a description based on it for the creation of products with a high degree of technological complexity (PHDTC) are considered. The geopolitical necessity of advanced creation of PHDTC of armament, military and special equipment (AMSE) is shown. The problems of the creation of the VVST are identified: de-unification, incomplete scientific and technical reserve (STR), earlier decision-making during design. The solution of problems is proposed by forming the concept and description of the PHDTC of the AMSE, with the help of system engineering and digital twins of products that provide the specified characteristics with a multiple reduction in time and resource costs.

Keywords: product of high degree of technological complexity, armament, military and special equipment, disunification, scientific and technical reserve, concept, description, digital twin of the product, system engineering.

Введение

Сложившаяся внешнеполитическая обстановка, угрозы и вызовы требуют новых подходов к защите национальных интересов и обеспечению безопасности Российской Федерации. Как отмечено в Концепции внешней политики Российской Федерации: «Повышается роль фактора силы в международных отношениях, в ряде стратегически важных регионов расширяется конфликтное пространство. Дестабилизирующие наращивание и модернизация наступательных военных потенциалов, разрушение системы договоров в сфере контроля над вооружениями подрывают стратегическую стабильность» [1]. Для адекватного ответа на вызовы необходимы проактивные меры по развитию эффективных военно-технических систем на основе высокотехнологичных изделий (комплексов) ВВСТ. Причины принятия проактивных мер: появление новых угроз и вызовов национальной безопасности РФ; возросшая вероятность возникновения локальных войн и вооруженных конфликтов нового поколения в непосредственной близости от границ Российской Федерации; пересмотр взглядов военно-политического руководства ведущих иностранных государств на участие Вооруженных сил в будущих вооруженных конфликтах [2].

Следует предпринять проактивные меры на основе системного инженерного подхода, обеспечиваемого: 1) способностями разработчиков перспективных образцов ВВСТ опередить зарубежных оппонентов; 2) возможностями стейкхолдеров и заказчика, готовых организовать и обеспечить научно-технический задел и развить на его основе высокотехнологичный производственный процесс.

Решение задачи по оснащению ВС РФ высокотехнологичными изделиями ВВСТ предлагается путем создания изделия с высокой степенью технологической сложности (ИВСТС) на основе системного инжиниринга и цифровых двойников [3]. Принимая во внимание принципы успешной системной инженерии, предложенные коллективом во главе с Б. Бозмом [4], в частности два из них обращают внимание разработчиков на «Описание»:

– описание и развитие системы в разрезе ценности для заинтересованных сторон (Stakeholder Value-based System Definition and Evolution);

– совместное мульти-дисциплинарное описание и разработка системы (Concurrent Multidiscipline System Definition and Development). Но уже в самом начале этого пути возникает ряд проблем, не позволяющих создаваемой системе быть успешной.

Одной из проблем создания новых и перспективных образцов ВВСТ является разунификация, в том числе это связано с индивидуальными и специфическими подходами в ведущих КБ при проектировании образцов ВВСТ. Для преодоления проблемы предлагается начиная с этапа проектирования проводить унификацию по: базовым шасси; средствам связи; средствам автоматизации управления, включая технические и программные компоненты [5].

Другой проблемой является незавершенный научно-технический задел (НТЗ), состоящий из научно-технологического задела (НТЛЗ) и производственно-технологического задела (ПТЗ), входящих соответственно в госпрограммы вооружений и оборонно-промышленного комплекса [6]. В частности, состав заделов содержит: по НТЛЗ: новые составные части, модули и блоки; алгоритмы и программы для вычислительной техники; лабораторное и испытательное оборудование; технические задания на НИР и ОКР; по ПТЗ: производственные технологии; станки, производственное и испытательное оборудование; измерительные приборы [4]. Отметим, что все перечисленные элементы НТЗ входят в состав ИВСТС и должны быть сбалансированы с учетом их функций, иерархии, связей, взаимного влияния, требований и ограничений.

Это возможно осуществить только с применением цифровых двойников изделий (ЦД) [8], цифровых (виртуальных) испытательных стендов и цифровых (виртуальных) испытательных полигонов, связывающих воедино элементы, связи, функции, структуру и их взаимодействие и влияние на них окружающей среды посредством «сложных мультидисциплинарных математических моделей с высоким уровнем адекватности реальным материалам, реальным объектам / конструкциям / машинам / приборам ... / техническим и киберфизическим системам, физико-механическим процессам (включая технологические и производственные процессы), описываемых 3D нестационарными нелинейными

дифференциальными уравнениями в частных производных» [8].

Например, успешный опыт применения ЦД, оперирующих множествами данных «большой мощности», показан для случая многопараметрической оптимизации порядка десять в двенадцатой степени характеристик на примере кузова внедорожника: «Разработанная высокоадекватная модель (цифровой двойник) кузова внедорожника SUV обеспечивает детальный учет характеристик материалов, совместно используемых в одном изделии, оценку до 10^{12} характеристик этого изделия при погрешности моделирования не более 5 % по каждой из них» [9].

Заделы НТЛЗ и ПТЗ в своей совокупности должны обеспечить создание новых систем ВВСТ и решение принципиально новых задач ВС РФ, вытекающих из складывающейся внешнеполитической обстановки. Для этого Правительство РФ утвердило Перечень критических технологий Российской Федерации, где первым пунктом определены Базовые и критические военные и промышленные технологии для создания перспективных видов вооружения, военной и специальной техники, боеприпасов и спецхимии [10]. Эти технологии призваны служить для программно-целевого обеспечения реализации военно-технической политики РФ и позволяют сформулировать критерии для многокритериальной оценки критических военных технологий и сформировать приоритеты по созданию НТЗ для «перспективных и нетрадиционных ВВСТ в форме перечня базовых и критических военных технологий на 10-летний период» [11].

Третьей проблемой является раннее принятие решения о создании нового образца ВВСТ. Такое возможно, если не проведены концептуальные исследования на уровне системного проектирования и не отработан до конца комплекс необходимых технологий для их реализации, соответственно не проведен системный анализ по применению их в системах верхнего уровня [12]. Тогда тактико-технические требования на перспективные образцы на основе экспертных оценок не имеют данных по концептуальным исследованиям. В результате происходит занижение параметров и характеристик образцов ВВСТ в силу отставания уровней готовности технологий и производства для их создания.

Формирование замысла и описания

Для получения прорывных решений следует на этапе проектирования ИВСТС ВВСТ выполнить формирование замысла, последующее построение смыслов и функций, обеспечивающих их реализацию, на основе функционально-структурного анализа и последующего структурно-конструктивного синтеза, в дальнейшем учитываемых как совокупность требований тактико-технического задания (ТТЗ).

Требования формируются в виде описания изделия и уточняются при последующем численном моделировании изделия для выявления возможности реализации заданных функций, структуры и состава образца ВВСТ и подтверждения их реализации даже при условии НТЗ и трансформируются в ТТЗ. Такой подход позволяет решить в том числе проблемы разуплотнения, существования НТЗ на критически важных направлениях обеспечения безопасности РФ и раннего принятия решений в процессе создания новых образцов ИВСТС ВВСТ. Причем процесс взаимной увязки — балансировки требований и ограничений для ИВСТС в ТТЗ будет реализован на основе ЦД с учетом технологий изготовления и испытательного оборудования в ходе создания ПТЗ.

Понятие «Замысел» при проектировании показано в группе «Инициирование» для отслеживания замысла в Процессе I.5.1 «Назначение ответственных»: «На данной фазе существует только начальная идея (замысел) или запрос клиента, которые должны обрабатываться и разрабатываться на последующих этапах...» [15].

Понятие «Замысел» имеет следующие описания и значения: 1) задуманный план действий; 2) намерение к действию; 3) действие, необходимое для проектирования; 4) замысел стратегический; 5) замысел тактический; 6) идея; 7) основная мысль [14, 15]. В нашем случае замысел несет в себе намерение разработать новое изделие — ИВСТС, ставит цель для его создания, содержит идеи и намечает план действий для реализации этого намерения и в то же время позволяет сформировать стратегию (путь), по которой пойдет процесс создания в краткой и/или обобщенной форме. Причем замысел ИВСТС должен четко определять конечный результат в соответствии с потребностями

стейкхолдеров и заказчика и основываться на комплексе научных теоретических и практических знаний в целевой и смежных с ней областях функциональной деятельности, применения (боевого) и использования. Более того, замысел постоянно совершенствуется по мере уточнения условий, возможностей, требований и ограничений, и получения новых знаний об объекте и научных достижений в интересующей области. В то же время замысел является ментальным вектором, позволяющим мыслить долгосрочно, на перспективу и задающим направление действий по созданию ИВСТС.

Замысел необходим для формирования наглядного образа будущего изделия, что удобно иллюстрировать схемами (функциональными, структурными, принципиальными и др.), отображающими связи системы между элементами и подсистемами. Защита информации от утечек, в том числе по структуре, составу, принципу действия и т.д. для ИВСТС, где замысел имеет ключевое значение, регулируется статьей 2.4. ГОСТ Р 50922 [16]. С другой стороны, замысел является основой описания, позволяющего описать назначение будущей системы систем — ИВСТС, его функции, структуру, подсистемы, состав, элементы систем и подсистем, взаимосвязи между ними и окружающей средой.

Замысел содержит идею создания и ряд ключевых мыслей об изделии; функционально представляет собой намерение и план действий, необходимый для проектирования и создания изделия на основе тактических и стратегических приемов и смыслов; отображается вербально и невербально на носителе информации. Тогда сформулируем вербальное, лингвистическое определение замысла: «Замысел ИВСТС — определенный набор функций, взаимосвязанных структурных элементов системы и действий с ними с учетом требований, ограничений и назначения, а также ожидаемых заинтересованными сторонами результатов с целью создания ИВСТС, отображенный вербально и/или формально и являющийся основанием для описания».

Невербальное, математическое описание замысла из-за изменения поведения сложных технических систем (СТС) многосложное и многоплановое. Например, для СТС S , имеющей

неупорядоченное множество свойств $Q_i = \{Q_i\}$ и взаимодействующей с внешней средой в случае с приростом внешнего воздействия Δ , больше чем некоторое пороговое значение Δ^* (для ИВСТС это встречается часто), которое основывается на преобразовании вещества, энергии и информации, лингвистически можно определить «постулатом действия», в соответствии с которым математическое определение замысла в плане ответного действия системы (при времени $t = 0$) будет следующим:

$$(\forall S \exists \Delta^*) [\Delta < \Delta^*, (\forall_i)(Q_i(t < 0) = Q_i(t > 0))];$$

$$\Delta > \Delta^*, (\forall_i)(Q_i(t < 0) = Q_i(t > 0))].$$

Тогда лингвистическое определение замысла ИВСТС будет: «Реакция ИВСТС на внешнее воздействие имеет пороговый характер».

На основании замысла создается Описание ИВСТС, состоящее из описаний морфологического, функционального и информационного, включая модели эксплуатации, применения (боевого) и использования. Описание содержит аспекты: функциональный, структурно-конструктивный, производственно-технологический, технико-экономический, экологический, эксплуатационный и т.д. Каждый из аспектов описания содержит и отражает ряд свойств ИВСТС, формируется, создается и уточняется на различных этапах жизненного цикла (ЖЦ), в ходе исследования, проектирования и эксплуатации.

Аспекты описания ИВСТС как СТС имеют иерархическую структуру, которые декомпозируются в описании с уровня мета на уровни мега, макро, мезо, микро. Что экономит ресурсы на этапе математического и компьютерного моделирования с разбиением метамодели ИВСТС на блоки из более простых мега-, макро-, мезо-, микромоделей (и соответствующих им математических моделей) с последующим построением иерархии всей совокупности моделей — метамодели, состоящей из блоков и элементов. Сложность ИВСТС оценивалась ранее в [17]. С учетом иерархии требованиям необходима «Последующая итерационная рациональная «балансировка» основана на повышении адекватности описания объекта / системы / машины / конструкции / ... на разных этапах

жизненного цикла семейством взаимоувязанных мультидисциплинарных математических моделей — {ММ: ММ⁽¹⁾, ММ⁽²⁾, ..., ММ^(N_{mm})}» [18].

Поэтому блочно-иерархический подход в описании ИВСТС позволяет производить деление на блоки и элементы, как составные части блоков, с учетом их иерархического уровня (уровня абстрагирования) и сформировать комплексное видение системы систем в целом или получить холистическое (целостное) видение [19]. Отсюда можно осмыслить и соответственно описать ИВСТС в целом или холистически во всей совокупности функций, свойств, характеристик, состава и структуры «целое — это нечто большее, чем сумма его частей» [20]. Это позволяет органически оперировать со вновь возникающими свойствами этого целого (как организма). Что присуще человеческому мышлению, специфически организованному в ходе холистического подхода со вновь возникающими свойствами системы и соответственно приводящему к появлению новых путей к достижению цели и решению поставленных задач в целом.

Например, для сложных систем с числом элементов N , каждый i -й элемент имеет число входов m_i и выходов n_i , запишем вектор входа $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ и вектор выхода $\mathbf{y} = (y_1, y_2, \dots, y_n)$. Зависимость вход, выход для каждого элемента N с учетом времени преобразования, и вектор-функции запаздываний $\boldsymbol{\tau} = \{\tau_i\}$, будет:

$$y(t) = f(t, x(t - \tau(t))).$$

Далее принимая следующие предположения: преобразования идут с переменными задержками $\tau(t, x(t))$; вектор-функции $\{\mathbf{f}\}$ существенно нелинейны и могут изменяться во времени; структура системы (то есть связи между элементами) может меняться во времени; некоторые элементы системы могут разрушаться (диссимилировать в среду); система может присоединять часть элементов среды (ассимилировать) с образованием новых связей с ними $N = N(t)$, причем изменения могут происходить: по априорной программе; в зависимости от значений входов внутренней части; тогда под влиянием среды получим для замкнутой цепи внутренней части системы:

$$X(t) = \Phi(X(t - \tau)). \quad (1)$$

Для определения изменений системы возьмем производную от выражения (1):

$$\dot{X}(t) = \frac{1}{\tau_m} \frac{\partial \Phi}{\partial X} [X(t) - X(t - \tau)] + \frac{\partial \Phi}{\partial t} X(t - \tau). \quad (2)$$

После преобразований (2) аналогично [24] получим фундаментальное уравнение сложной системы, учитывающее нелинейность, много — связность, память, ассимиляцию, диссимиляцию и развитие на основании программ в виде:

$$\dot{X}(t) = F(t, X(t), X(t - \tau)).$$

Тогда описание ИВСТС возможно сформировать из набора фундаментальных уравнений для СТС, входящих в ИВСТС. Учитывая, что ЦД — это система цифровых моделей (в виде совокупности математических и компьютерных моделей высокого уровня адекватности) и электронных документов, отсюда возможно сформировать «полное математическое описание посредством семейств мультидисциплинарных математических моделей с высоким уровнем адекватности, и обеспечивается математическим и компьютерным моделированием» [17] с учетом актуальной декомпозиции без потери точности моделей. Поэтому на основе ЦД возможно создание «математической модели высокого уровня адекватности, которая ведет себя практически точно так же, как реальный объект в натурных испытаниях, а затем и на этапе эксплуатации», что позволит получить прорывные решения в создании ИВСТС ВВСТ и обеспечить проактивные меры для снижения внешних угроз РФ.

Заключение

Замысел и описание на раннем этапе проектирования учитывают и постоянно поддерживают актуальной всю информацию о создаваемом образце ИВСТС ВВСТ. Описание становится неотъемлемой частью ИВСТС на всем ЖЦ, включая модель эксплуатации, применения (боевого) и использования. Такой подход экономит ресурсы для создания ИВСТС и дает полное математическое описание посредством семейств мультидисциплинарных математических и компьютерных моделей с высоким уровнем адекватности,

минимизирует ошибки проектирования и многократно снижает временные и финансовые затраты при проектировании и производстве ИВСТС. Разработка ИВСТС ВВСТ на основе системного инжиниринга и цифровых двойников обеспечивает проактивные меры по созданию ИВСТС ВВСТ в ответ на внешние вызовы РФ.

Литература

1. Концепция внешней политики Российской Федерации (утверждена Президентом Российской Федерации В.В. Путиным 31 марта 2023 года). <https://www.mid.ru/ru/detail-material-page/1860586/> (дата обращения: 27.07.2023).

2. Леонов А.В., Пронин А.Ю. Инновационно-технологические пути обеспечения национальной безопасности России: монография. М.: ИНФРА-М, 2022. 268 с.

3. Кулемин В.Ю. К вопросу о системном инжиниринге при создании изделий высокой степени технологической сложности вооружения военной и специальной техники на основе цифровых двойников // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2023. № 2 (127) С. 89–94.

4. Boehm B. et al. Principles for Successful Systems Engineering // *Procedia Computer Science*. 2012. № 8. Pp. 297–302.

5. Борисов Ю.И. Особый задел // Военно-промышленный курьер. 2017. № 9 (673). 09.03.2017.

6. Леонов А.В., Пронин А.Ю. Инновационно-технологические пути обеспечения обороны и безопасности Российской Федерации // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2014. № 47 (284). С. 2–10.

7. ГОСТ Р 57700.37–2021 Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. М. Российский институт стандартизации. 2021. 115 с.

8. Боровков А.И., Рябов Ю.А., Кукушкин К.В. и др. Цифровые двойники и цифровая трансформация предприятий ОПК // Оборонная техника. 2018. № 1. С. 6–33.

9. Коростелкин А.А. и др. Оптимизация массы кузова в контексте краш-теста автомобиля класса внедорожник // Вестник машиностроения. 2019. № 9. С. 44–50.

10. Правительство РФ, распоряжение от 14.07 2012 года № 1273-р «Об утверждении перечня технологий, имеющих важное социально-экономическое значение или важное значение для обороны страны и безопасности государства (критических технологий)». <http://government.ru/docs/21426/> (дата обращения: 17.08.2023).

11. Корчак В.Ю., Реулов Р.В., Стукалин С.В. и др. Базовые и критические технологии — приоритет научно-технической политики государства // Компетентность / Competency (Russia). 2022. № 3. С. 20–29.

12. Клочков В.В., Лукашов А.М., Максимов В.В. и др. Опережающее создание научно-технического задела в интересах развития вооружения, военной и специальной техники // Военная мысль. 2018. № 12. С. 23–32.

13. ГОСТ Р 56715.2-2015 Проектный менеджмент. Системы проектного менеджмента. Часть 2 Процессы и процессная модель. М.: Стандартинформ. 2020. 42 с.

14. Безрукова В.С. Основы духовной культуры (энциклопедический словарь педагога). Екатеринбург. 2000. 937 с.

15. Ефремова Т.Ф. Новый словарь русского языка. Толково-словообразовательный: [В 2 т.]. Москва : Рус. яз., 2000. 2292 с.

16. ГОСТ Р 50922-2006 Защита информации. Основные термины и определения. М.: Стандартинформ. 2008. 12 с.

17. Кулемин В.Ю. Подходы к оценке сложности при создании изделий высокой степени технологической сложности вооружения, военной и специальной техники на основе цифровых двойников // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2023. № 3 (128) С. 92–97.

18. Боровков А.И., Рябов Ю.А., Гамзикова А.А. Цифровые двойники в нефтегазовом машиностроении // *Neftegaz.Ru*. 2020. № 6 (102) С. 30–35. URL: https://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2020/06_june/29/neftegaz-18-21.pdf (дата обращения: 04.09.23).

19. Комлев Н.Г. Словарь иностранных слов: [более 4500 слов и выражений]. М.: Эксмо, 2006. 669 с.

20. Kendra Cherry, MEd What Is Holism? How psychologists use holism to understand behavior. <https://www.verywellmind.com/what-is-holism-4685432> (дата обращения: 26.07.2023).

УДК: 621.396.676.2

DOI: 10.53816/20753608_2024_1_122

**АЛГОРИТМ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ПЕЛЕНГАЦИОННОЙ
ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДИОЛОКАЦИОННОГО КООРДИНАТОРА
БОЕПРИПАСА ДЛЯ СИСТЕМЫ ВООРУЖЕНИЯ САМОЛЕТОВ-НОСИТЕЛЕЙ**

**ALGORITHM FOR OBTAINING THE SPATIAL DIRECTION FINDING
CHARACTERISTICS OF THE RADAR COORDINATOR OF THE MUNITION
FOR THE ARMAMENT SYSTEM OF THE CARRIER AIRCRAFT**

По представлению академика РАРАН В.М. Кашина

А.Б. Борзов, Г.Л. Павлов, М.В. Артюшкин, Р.Е. Копейкин

МГТУ им. Н.Э. Баумана

A.B. Borzov, G.L. Pavlov, M.V. Artyushkin, R.E. Kopeikin

В статье описывается алгоритм получения пространственной пеленгационной характеристики антенной системы по данным электродинамического расчета в системе автоматизированного проектирования (САПР) FEKO с помощью программного пакета MATLAB. Представлены практические рекомендации по получению пеленгационной характеристики с целью оценки эффективности антенного решения в составе разрабатываемого изделия. Описан алгоритм получения пеленгационной характеристики по данным электродинамического расчета.

Ключевые слова: пеленгационная характеристика, метод моментов, полосковая антенна.

The article describes an algorithm for obtaining the spatial direction finding characteristics of an antenna system based on electrodynamic calculation data in FEKO CAD using the MATLAB software package. Practical recommendations on obtaining a direction finding characteristic in order to assess the effectiveness of the antenna solution as part of the product under development are presented. An algorithm for obtaining a direction finding characteristic based on electrodynamic calculation data is described.

Keywords: directional characteristics, method of moments, strip antenna.

Введение

За последние годы произошел стремительный рост возможностей, предоставляемый электродинамическими САПР. Однако, наряду с повышением гибкости моделирования, необходимо обеспечить расширение возможностей по обработке полученных результатов. Актуальность данной задачи объясняется тем, что при современном проектировании разработка собственно антенны представляет в достаточной степени формализованный процесс вследствие широкого множества

хорошо изученных типов антенн [1–6], поэтому основное внимание уделяется эффективности антенного решения в составе разрабатываемого изделия, поэтому основное внимание при проектировании изделий должно быть смещено к оценке эффективности, выступающей в качестве главного критерия селекции наилучшего среди разрабатываемых вариантов реализации.

Оценка эффективности может быть получена путем анализа пеленгационной характеристики [7–10] — основного параметра при системном моделировании изделия, решающего

задачу обнаружения. При разработке антенной системы в САПР ФЕКО нельзя получить пространственную (по углу места и азимутальному углу) пеленгационную характеристику боеприпаса. Поэтому необходима разработка алгоритма обработки результатов расчета из САПР ФЕКО с целью получения пеленгационной характеристики. Подобный алгоритм должен обеспечить автоматический расчет характеристики, используя исключительно данные электродинамического расчета.

Рассматривается изделие, антенная система которого состоит из четырех полосковых антенн. Используя результаты моделирования в САПР ФЕКО, описан алгоритм получения пеленгационной характеристики боеприпаса.

Основная часть

Предварительно производится электродинамический расчет исследуемой антенны. Модель исследуемой антенны представлена на рис. 1. Конструкция представляет собой печат-

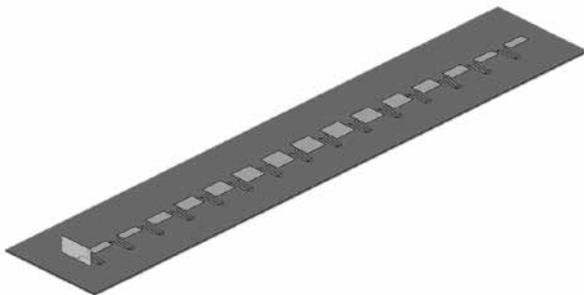


Рис. 1. Модель антенны в САПР ФЕКО

ную плату с металлизированным рисунком полосков. Диэлектрическая проницаемость материала подложки равна 3,66, тангенс угла потерь составляет 0,0037.

Предварительно производится электродинамический расчет исследуемой антенны. На рис. 2 показана диаграмма направленности антенны для миллиметрового диапазона частот.

Главный лепесток диаграммы направленности отклонен на 15 градусов от горизонтали, ширина главного лепестка диаграммы направленности составляет 20 градусов.

Использование данных антенн в составе боеприпаса предполагает схему взаимного размещения, представленную на рис. 3. Главный лепесток каждой из антенн направлен вдоль оси симметрии системы.

Данные электродинамического расчета были импортированы в MATLAB для проведения дальнейшей обработки. Импортированные объединенные на одном графике диаграммы направленности представлены на рис. 4.

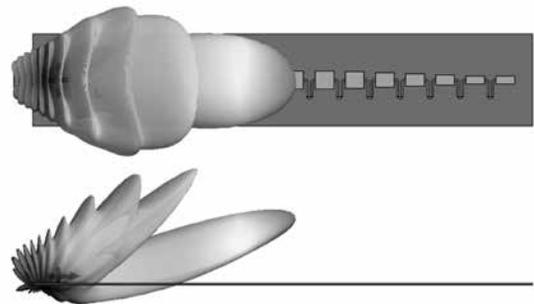


Рис. 2. Диаграмма направленности антенны в миллиметровом диапазоне

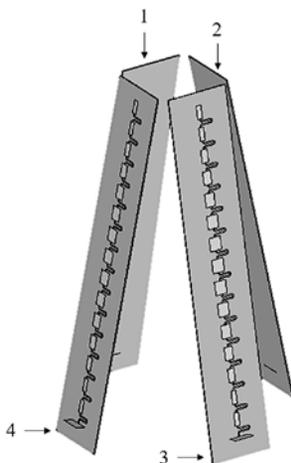


Рис. 3. Схема взаимного расположения антенн

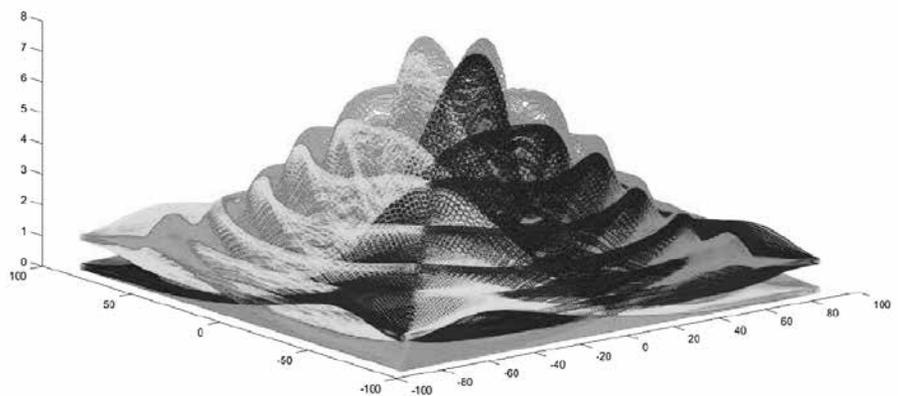


Рис. 4. Объединенные диаграммы направленности антенн

Были получены суммарная и разностная диаграммы направленности, представленные на рис. 5, 6.

По полученным диаграммам направленности была построена пеленгационная характеристика боеприпаса, представленная на рис. 7.

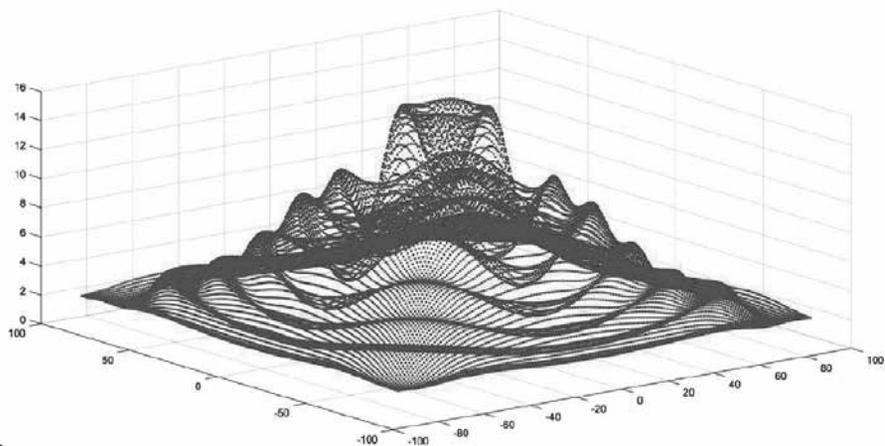


Рис. 5. Суммарная диаграмма направленности антенн

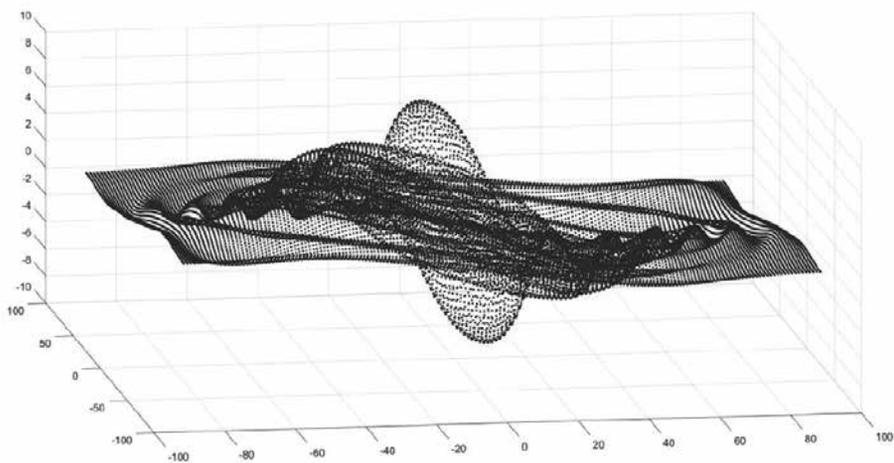


Рис. 6. Разностная диаграмма направленности антенн

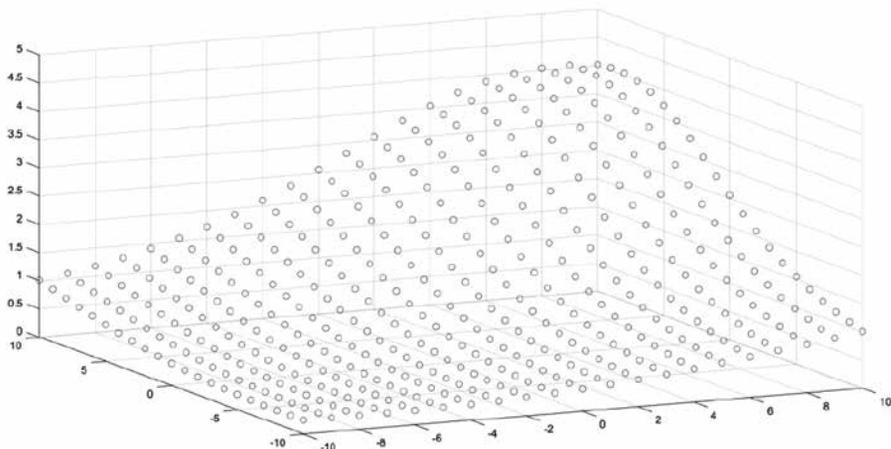


Рис. 7. Пеленгационная характеристика антенной системы

Заключение

Представленный алгоритм позволяет быстро получить пеленгационную характеристику по данным электродинамического расчета в САПР ФЕКО. Используя написанную программу, требуемые характеристики можно получить в автоматизированном режиме. Данный алгоритм позволит выбрать наиболее подходящий вариант технического решения в составе разрабатываемого изделия на ранних этапах разработки.

Литература

1. Марков Г.Т., Сазонов Д.М. Антенны. 2-е изд. М.: Энергия, 1975. 266 с.
2. Кубанов В.П., Ружников В.А., Сподобаев М.Ю., Сподобаев Ю.М. Основы теории антенн и распространения радиоволн. Самара: ОФОРТ, 2016. 258 с.
3. Ротхаммель К. Антенны. 11-е изд. М.: Данвел, 2005. 820 с.
4. Филонов А.А., Фомин, А.Н., Дмитриев Д.Д. Устройства СВЧ и антенны: учебник; под ред. А.А. Филонов. Красноярск: Сиб. федерал. ун-т, 2014. 492 с.
5. Овчаренко Л.А., Воробьев А.А. Антенны: учебное пособие. 2-е изд. СПб.: Изд-во «Лань», 2016. 416 с.
6. Вовшин Б.М., Иммореев И.Я. Основы теории радиолокационных систем с антенными решетками: учеб. пособие / Моск. авиац. ин-т им. С. Орджоникидзе. М.: Изд-во МАИ, 1993. 83 с.
7. Борзов А.Б., Лихоеденко К.П., Лобанов Б.С. Вопросы моделирования автономных информационных систем ближней локации. М.: «Оникс-М,» 2009. 573 с.
8. Леонов А.И., Фомичев К.И. Моноимпульсная радиолокация. 2-е изд. М.: Радио и связь, 1984. 313 с.
9. Козлов С.В. Пеленгационные антенные системы с пространственной компенсацией помех: учеб.-метод. пособие. Минск: БГУИР, 2019. 158 с.
10. Хохлов В.К. Обнаружение, распознавание и пеленгация объектов в ближней локации: учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 336 с.

ЗАЩИТНЫЕ СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ МЕХАНОАКТИВИРОВАННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ

PROTECTIVE STRUCTURES BASED ON MECHANICALLY ACTIVATE ENERGY COMPOSITES

Академик РАН М.В. Сильников¹, И.В. Гук¹, А.Ю. Долгобородов^{2,3},
чл.-корр. РАН А.И. Михайлин¹, чл.-корр. РАН Н.М. Сильников¹

¹АО «НПО Спецматериалов», ²Объединенный институт высоких температур РАН,
³ФИЦ ХФ им. Н.Н. Семенова РАН

M.V. Silnikov, I.V. Guk, A.Yu. Dolgoborodov, A.I. Mikhaylin, N.M. Silnikov

В работе приведены результаты испытаний принципиально нового класса противопулевой защиты, основанной на использовании реакционного материала в виде механически активированных энергетических композитов (МАЭК). Описан метод изготовления образцов МАЭК с составами на основе алюминий-фторопласт. Приведены результаты баллистических испытаний защитных структур на основе МАЭК. Показаны преимущества применения МАЭК в защитных структурах.

Ключевые слова: МАЭК, баллистические испытания, бронезащита, алюминий-фторопласт, динамическая защита.

The article presents the test results of a fundamentally new class of bulletproof protection based on the use of a reactive material in the form of mechanically activated energetic composites (MAEC). A method for producing MAEC samples with compositions based on aluminum-fluoroplastic is described. The results of ballistic tests of protective structures based on MAEC are presented. The advantages of using MAEC in protective structures are shown.

Keywords: MAEC, ballistic tests, ballistic protection, aluminum-fluoroplastic, reactive armor.

Броневая защита традиционно делится на пассивную, динамическую и активную. Пассивная броня представляет собой высокопрочный материал, способный противостоять удару пули или снаряда [1]. Для этого главным образом используют броневую сталь, органопластики и композитные материалы с керамическим внешним слоем. Действие динамической брони основывается на идее встречного метания стальной пластины в сторону подлетающего снаряда зарядом взрывчатого вещества, расположенного на объекте защиты. Такая броня используется главным образом для защиты танков и другой бронированной техники. Наконец, активная броня

представляет собой систему, включающую в себя средства обнаружения подлетающего боеприпаса, систему управления и огневого поражения [2–4]. По сути, активная броня ближе к системам противовоздушной обороны, чем к традиционному бронированию.

Среди защитных конструкций систем пассивной брони можно выделить разнесенные конструкции с внешним дробяще-отклоняющим слоем из металлических листов или керамики [5, 6]. Использование таких конструкций позволяет добиться существенного снижения веса разнесенной брони. Помимо использования инертных материалов в дробящем слое

возможно использование химически активных материалов, реагирующих с образованием горячих продуктов, оказывающих на проникающий элемент термобарическое воздействие. Принципиальная возможность использования химически активных материалов на основе смесей металл-окислитель для создания защитных конструкций была продемонстрирована для разных составов, материалов мишени и скоростей соударения в [7, 8].

Скорости горения смесей твердых горючих и окислителей в значительной степени определяются эффективной поверхностью контакта реагентов и для составов на основе порошков из микронных частиц обычно не превышают 1 см/с. Однако для эффективного воздействия на высокоскоростные элементы типа сердечника пули такие скорости энерговыделения явно недостаточны. Одним из распространенных способов увеличения этой поверхности является совместная обработка порошков реагентов в шаровых мельницах. Использование энергичного смешения в современных вибрационных и планетарных мельницах позволяет получать высокоомогенные составы с компонентами, перемешанными на субмикронном и нано-уровне, — механоактивированные энергетические композиты (МАЭК). При получении МАЭК происходит не только смешение компонентов, но и механохимическая активация за счет создания дефектов кристаллической структуры компонентов [9–11]. МАЭК обладают высокими скоростями горения, а в некоторых случаях (например, для смесей алюминия и магния с фторопластом) возможно получение высокоскоростных детонационно-подобных режимов энерговыделения.

Заманчиво было бы использовать МАЭК в области бронезащиты. При этом инициирование МАЭК с выделением высокотемпературных продуктов реакции непосредственно в месте столкновения ударника с преградой могло бы разрушить или дестабилизировать ударник,

тем самым снизив его пробивную способность. Во-первых, очевидно, что при использовании в бронезащите составы должны иметь малую поверхностную плотность, чтобы не утяжелять защитную структуру. Во-вторых, энерговыделение МАЭК не должно сопровождаться выделением большого количества газообразных продуктов с образованием ударной волны для предотвращения повреждений защищаемого объекта.

Целью настоящей работы является экспериментальная проверка возможности использования МАЭК в составе баллистической защиты при обстреле пулями калибра 7,62 мм с термоупрочненным сердечником со скоростями до 900 м/с.

Изготовление образцов МАЭК

Для получения МАЭК в данной работе использовалась технология, описанная в [9]. В качестве исходных компонентов использовались порошки алюминия АСД-6 (средний размер частиц около 4 мкм), фторопласт-4 Ф4-ПН (конгломераты частиц от 2 до 200 мкм) и вольфрам (10–20 мкм). Смеси готовились в весовом соотношении компонентов: Al/Ф4 30/70, Al/W/Ф4 — 30/11/59 с небольшим избытком металлического горючего. Для смешения и активации смесей использовалась модернизированная планетарная мельница «Активатор-2SL». Объем барабанов — 250 мл, масса шаров — 300 г, масса загрузки смеси 15 г. Интенсивность обработки регулировалась изменением частоты электрического тока от 40 до 50 Гц с помощью инвертора Toshiba VFS11-4022PL. Для предотвращения перегрева обработку смесей проводили в инертной среде в присутствии жидкой добавки (гексан — 60 мл) при водяном охлаждении барабанов. Полное время активации составляло 15 мин.

Составы и физические характеристики использованных МАЭК приведены в табл. 1.

Таблица 1

Физические характеристики образцов МАЭК

№ образца	Состав образца	Плотность, г/см ³	Поверхностная плотность, г/см ²	Пористость, %
1	Al/Ф4 30/70	2,06	1,04	11,55
2	Al/W/Ф4 30/11/59	2,25	1,24	11,94

Для оценки вклада МАЭК в защитные свойства композиции были изготовлены и испытаны образцы защитных структур двух типов.

1. Алюминиевый лист Д16Т толщиной 1 мм + образец реакционного материала № 1 толщиной 5,05 мм + лист броневой стали СПС-43 толщиной 6,5 мм.

2. Алюминиевый лист Д16Т толщиной 1 мм + образец реакционного материала №2 толщиной 5,5 мм + лист броневой стали СПС-43 толщиной 6,5 мм + лист стали СПС-43 толщиной 3 мм. Между стальными листами был обеспечен воздушный промежуток 500 мм.

Образец МАЭК в оправке из пластмасы толщиной 1 мм был зафиксирован в центре стальной пластины при помощи клея. Алюминиевая пластина скреплена с остальными слоями при помощи скотча.

Проведение баллистических испытаний защитных структур с МАЭК

Испытания проводились обстрелом патронами 7Н13 с пулями ПП из винтовки СВД. Схема эксперимента представлена на рис. 1. Скорость пули фиксировали с помощью скоростемера РБ-1000, установленного на расстоянии 0,5 м от дульного среза. Для фиксации защитных свойств образцов использовали оптический скоростемер «РС-4М», установленный на расстоянии 0,3 м от образцов, а также набор картонных экранов свидетелей, установка которых показана на рис. 1.

Вид первой защитной структуры после испытаний приведен на рис. 2, а. Наблюдается пластическая деформация внешнего алюминиевого слоя и следы реакции на поверхности пробитого пулей стального листа. При пробитии

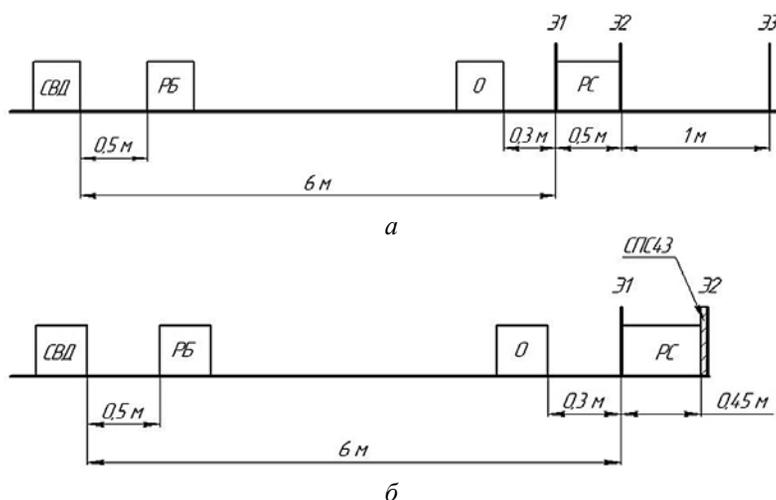


Рис. 1. Схемы испытаний образцов: а — для образца № 1; б — для образца № 2. Условные обозначения: СВД — винтовка СВД; РБ — регистратор баллистический «РБ-1000»; О — образец защитной композиции; РС — регистратор скорости «РС-4М»; Э1, Э2, Э3 — бумажные экраны свидетели; СПС43 — стальная пластина СПС-43 толщиной 3 мм

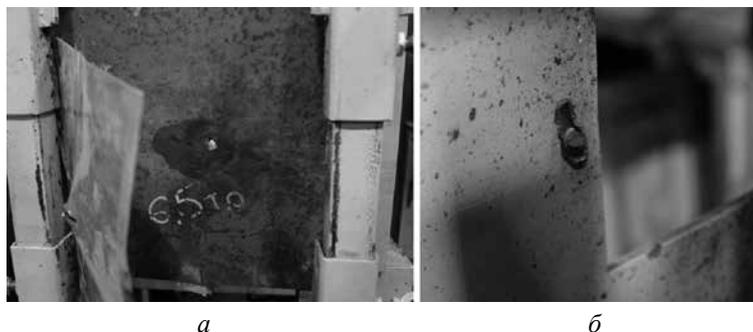


Рис. 2. Образец 1 после испытаний: а — вид со стороны удара; б — сердечник пули, застрявший в защитном кожухе оптического скоростемера

образца защитной структуры № 1 пуля была дестабилизирована и остановлена в рамке регистратора скорости РС-4М, выполненного из листа малоуглеродистой стали Ст3 толщиной 5 мм (рис. 2, б). Угол смещения траектории полета пули составил 14°. Вид контрольных бумажных экранов приведен на рис. 3.

На первом бумажном экране, отстоявшем от стальной опорной пластины на 300 мм, хорошо видны следы горения МАЭК, вынесенного при прохождении пули в запреградное пространство. Экран непосредственно под местом попадания пули был сожжен, в отличие от четкого отверстия при выстреле по броневому листу без МАЭК. Следы копоти от горения МАЭК неоднородны и рассеяны по всей площади разлета осколков. Диаметр разлета осколков пули на первом бумажном экране составил 100 мм. На втором экране, расположенном на расстоянии 500 мм от первого, диаметр разлета осколков составил 190 мм, а на третьем диаметр разлета осколков составил 370 мм. Конус разлета осколков при пробитии образца защитной композиции составил 45°.

При испытании второго образца алюминиевая пластина Д16Т, закрывавшая образец МАЭК, была сорвана при прохождении реакции. На ней образовались три трещины разме-

ром около 100 мм под углом 120° (рис. 4, а). Тыльный прогиб пластины составил примерно 30 мм. Диаметр разлета осколков пули составил 160 мм на первом бумажном экране и 200 мм на втором экране. Конус разлета осколков при пробитии образца защитной композиции составил 28°. Установленная за вторым экраном пластина из броневой стали СПС-43 толщиной 3 мм не была пробита (рис. 4, б). Многочисленные следы осколков пули на стальном экране имели глубину до одного миллиметра.

При испытаниях первого образца зафиксировать скорость полета пули за преградой не удалось, так как пуля была дестабилизирована и попала в защитную рамку регистратора скорости. Запреградная скорость для второго образца относится к облаку осколков пули. Результаты испытаний образцов толщиной 6,5 мм стали СПС-43 были получены в других экспериментах и приведены в табл. 2 для справки.

Дистанция между дульным срезом и образцом была 5,7 м. На этой дистанции угол подхода пули к преграде может отличаться от нормали, поскольку пуля еще не стабилизирована. Однако исследование прострела чистого листа 6,5 мм показывают, что снижение запреградной скорости пули при обстреле по нормали составляет 228 м/с, а при угле 30° от нормали — 206 м/с. Как

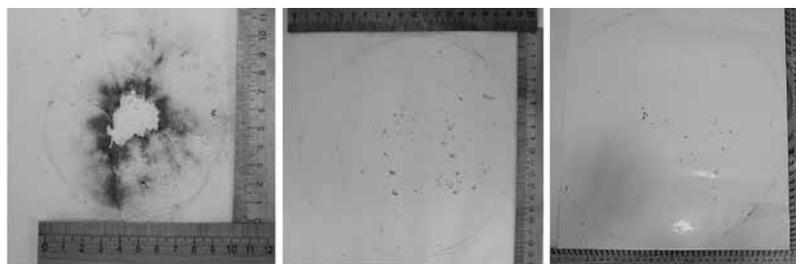


Рис. 3. Первый, второй и третий контрольные бумажные экраны после испытаний образца № 1

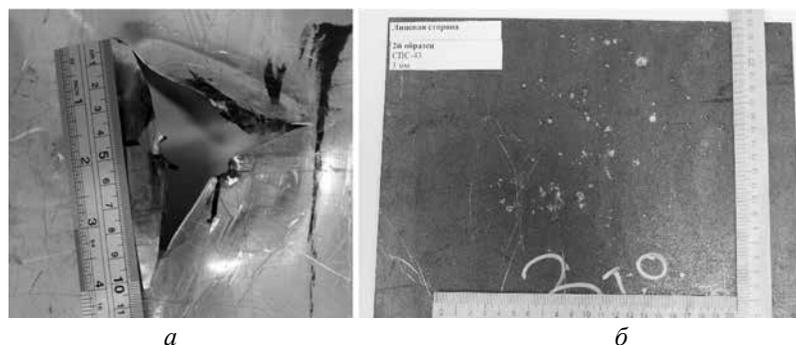


Рис. 4. Результаты испытаний образца 2: а — разрушение наружного алюминиевого листа; б — следы осколков пули на стальном экране

Снижение скорости пули при пробитии образцов

№ образца	Скорость полета пули v , м/с		Снижение скорости, м/с
	начальная	запреградная	
1	845	–	–
2	818	231	587
	893	665	228

видно, изменение угла подхода пули в пределах 30° снижает запреградную скорость в пределах 10 %, что существенно меньше наблюдаемого при использовании МАЭК эффекта.

Образцы МАЭК по поверхностной плотности эквивалентны соответственно стальным листам толщиной 0,13 мм и 0,16 мм. Эта эквивалентность относится лишь к поверхностной плотности, но не к прочностным свойствам. Образцы МАЭК имеют практически пренебрежимую по сравнению с броневой сталью прочность, и их вкладом в бронестойкость испытываемой композиции можно в первом приближении пренебречь. Это же можно сказать и о вкладе алюминиевого листа толщиной 1 мм. Поэтому можно считать, что баллистическая стойкость испытанных образцов без учета эффектов действия МАЭК в пределах погрешности близка к стойкости обычного стального бронелиста толщиной 6,5 мм.

Вклад МАЭК в бронестойкость при пробитии броневое листа для образца 1 (алюминий — фторопласт) связан с изменением траектории сердечника пули, а для образца 2 (алюминий — вольфрам — фторопласт) — с его дроблением.

Протекание реакции при воздействии пули на МАЭК приводит к деформации и трещинообразованию во внешнем алюминиевом слое образцов. Характер повреждения алюминиевого слоя зависит от скорости протекания реакции и количества высвобождаемой энергии и может служить характеристикой эффективности защитных структур, включающих в себя МАЭК.

Заключение

МАЭК является перспективным материалом для использования в схеме разнесенного бронирования для защиты от легкого стрелкового оружия.

Литература

1. Анастасиади Г.П., Сильников М.В. Работоспособность броневых материалов. СПб.: Астерион. 2004. 624 с.
2. Сильников М.В. Активная защита подвижных объектов на основе новых физических принципов // Защита и безопасность. 2010. № 3(54). С. 16–17.
3. Сильников М.В., Лазоркин В.И. Активная защита стационарных объектов. СПб., 2021. 508 с.
4. Сильников М.В., Лазоркин В.И. Активная защита мобильных объектов. СПб., 2020. 488 с.
5. Разнесенная бронеструктура: пат. RU147175 U1; опубл. 27.10.2014; бюл. № 30.
6. Композитная броня: пат. RU2329455 C1; опубл. 20.07.2008; бюл. № 20
7. Яшин В.Б., Имховик Н.А., Малкин А.И. Исследование возможности применения механоактивированных металл-фторопластовых композитов в конструкциях средств защиты // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2014. № 1–2. С. 49–53.
8. Ren S., Zhang Q., Wu Q., Long R., Gong L., Lu Y. A reactive material double-bumper shield for centimeter sized projectile // Int. J. Impact Engineering, 2021. 158, P. 104028 (1–10).
9. Долгобородов А.Ю. Механоактивированные энергетические композиты окислитель-горючее // Физика горения и взрыва. 2015. Т. 51. № 1. С. 102–116.
10. Huston M.R., Sippel T.R. Confined flame propagation of Al/PTFE mechanically activated composites // Combustion and Flame. 2019. Pp. 83–91.
11. Tao J., Wang X. Experimental study and simulation of the reaction mechanism of Al-PTFE mechanically activated energetic composites // RSC Advances. 2023. № 13. Pp. 20457–20466.

УДК: 623; 534.222

DOI: 10.53816/20753608_2024_1_131

ОБНАРУЖЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С ПОМОЩЬЮ МИКРОФОННЫХ РЕШЕТОК

DETECTION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES USING MICROPHONE ARRAYS

По представлению чл.-корр. РАРАН С.Н. Шарова

М.С. Андриющенко, А.М. Голик, С.А. Сахнов, С.Н. Терешин

Санкт-Петербургский военный ордена Жукова институт войск национальной гвардии

M.S. Andryushchenko, A.M. Golik, S.A. Sahnov, S.N. Tereshin

В статье рассмотрены возможности повышения дальности обнаружения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) по характеристикам их акустического излучения с помощью микрофонных решеток. Рассмотрены принципы работы микрофонных решеток, алгоритмы формирования их диаграмм направленности, приведены примеры применения микрофонных решеток и акустических камер для обнаружения БПЛА.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, обнаружение, распознавание, акустический сенсор, микрофонная решетка, диаграмма направленности, алгоритм «задержки и суммирования».

There is the discussion of possible increasing the detection range of UAVs based on the characteristics of their acoustic radiation using microphone arrays in this article. The article describes the basics of the operation of microphone arrays, algorithms for forming their radiation patterns, provides examples of the use of microphone arrays and acoustic cameras for detecting UAVs.

Keywords: unmanned aerial vehicle, detection, recognition, acoustic sensor, microphone array, radiation pattern, algorithm «delay and sum».

В настоящее время беспилотные летательные аппараты (БПЛА) представляют собой угрозу наземным войскам и объектам критической инфраструктуры [1–3]. Они характеризуются разнообразием траекторий движения, а благодаря наличию на борту средств разведки и наведения видимого, инфракрасного и радиолокационного диапазонов могут выполнять боевые задачи в сложных условиях и в любое время суток. БПЛА способны нести боевую нагрузку, достаточную не только для непосредственного поражения объектов, но и для доставки средств высокоточного оружия [4].

Для эффективного противодействия необходимо своевременно их обнаружить. БПЛА, как небольшие низкоскоростные летательные аппараты, характеризуются слабыми демаскирующими признаками в радиолокационном, инфракрасном и оптическом диапазонах [1–6].

В работах [7–9] рассмотрены возможности обнаружения БПЛА по их акустическим характеристикам. БПЛА обычно имеют характерную акустическую сигнатуру, которую можно обнаружить с помощью чувствительных микрофонов. С помощью микрофонной решетки (МР) можно проводить детальный анализ сигналов,

определять направление на цель, а с помощью триангуляции — дальность до нее [10].

В данной статье мы рассмотрим особенности применения МР и акустических камер, являющихся более сложными вариантами микрофонных решеток.

Принципы работы микрофонных решеток. В случае когда микрофоны, составляющие МР, являются всенаправленными, они принимают звуки со всех направлений. Совместная обработка этих сигналов позволяет определить направление звука, приходящего от БПЛА.

Задавая разные параметры обработки многоканального сигнала МР или многоканальной фонограммы, можно выделить акустическую сигнатуру воздушного объекта. Базовыми структурами МР являются так называемые Broadside array (антенная решетка поперечного излучения) и Endfire array (продольно-направленная антенная решетка) [10]. Схемы этих базовых структур представлены на рис. 1.

Для выделения прямого звука воздушного объекта основным (базовым) алгоритмом обработки сигналов МР является алгоритм формирования диаграммы направленности (ДН), вариантами которого являются алгоритмы «задержки и суммирования» («delay-and-sum») и «фильтрации и суммирования» («filter-and-sum») [10]. Суть этих алгоритмов состоит в том, что сигналы микрофонов складываются с разными задержками (разным сдвигом фаз), выравнивая для каждой ча-

стоты фазы сигналов, приходящих с выбранного направления (цели). При этом алгоритм формирования ДН позволяет усилить сигналы, формируемые звуком, приходящим с направления от цели, т.е. осуществить своеобразную «фокусировку» звуков. На рис. 2 поясняется алгоритм «задержки и суммирования» [11].

На рисунке показана МР из M элементов с индексами $m = 0, \dots, M - 1$. Используемые обозначения:

$\mathbf{x}_m = [x_m, y_m, z_m]$ — вектор координат m -го элемента МР в пространстве;

$f(\mathbf{x}, t)$ — фронт плоской волны;

$y_m(t) = f(\mathbf{x}_m, t)$ — принятый сигнал на m -м элементе МР.

Диаграммообразующая схема алгоритма применяет задержку τ_m и амплитудный весовой коэффициент w_m к сигналу с каждого элемента антенной решетки, после чего сигналы с M элементов суммируются.

Задержки τ_m выбираются таким образом, чтобы максимизировать чувствительность приема сигнала антенной решеткой (АР) с заданного направления прихода. Изменяя задержки τ_m , можно управлять диаграммой направленности МР. Управляя весовыми коэффициентами w_m , можно также усиливать чувствительность приема МР с заданного направления и ослаблять ее с остальных углов прихода.

Сигнал на выходе данной диаграммообразующей схемы можно представить выражением [11]:

$$z(t) = \sum_{m=0}^{M-1} w_m \cdot y_m(t - \tau_m).$$

Сдвиг фаз может задаваться исходя из приближения «дальнего поля», для которого звуковые волны считаются плоскими, или «ближнего поля», для которого звуковые волны считаются сферическими. Дистанции, для которых справедливо приближение «дальнего поля», определяются обычным соотношением [11]:

$$L > 2D^2 / \lambda,$$

где L — дистанция; D — линейный размер (апертура) МР; λ — длина звуковой волны.

Рис. 3 поясняет концепцию алгоритма «задержки и суммирования» для решетки, состоящей из трех микрофонов [12].

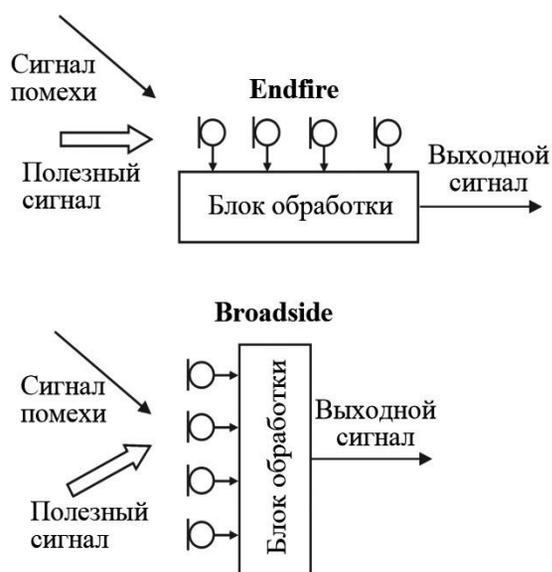


Рис. 1. Базовые структуры микрофонных решеток

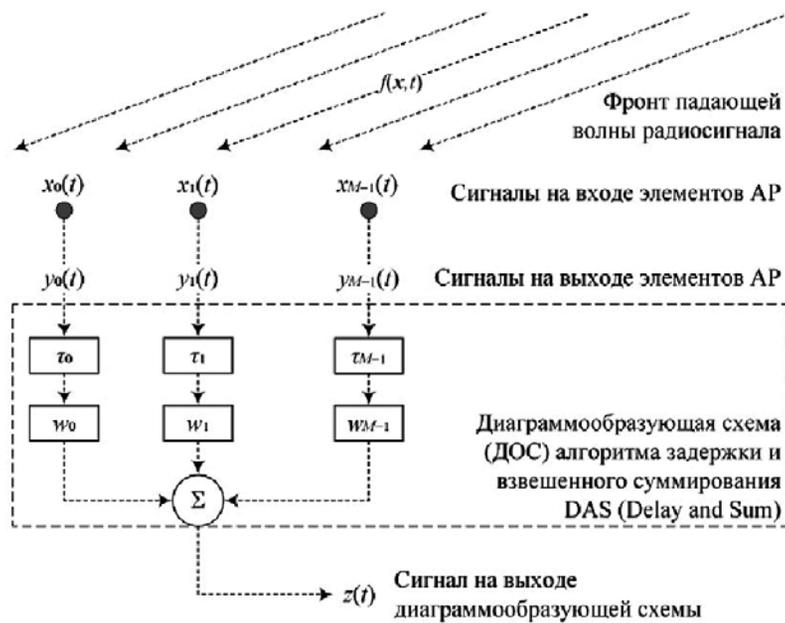


Рис. 2. Диаграммообразующая схема алгоритма «задержки и суммирования»

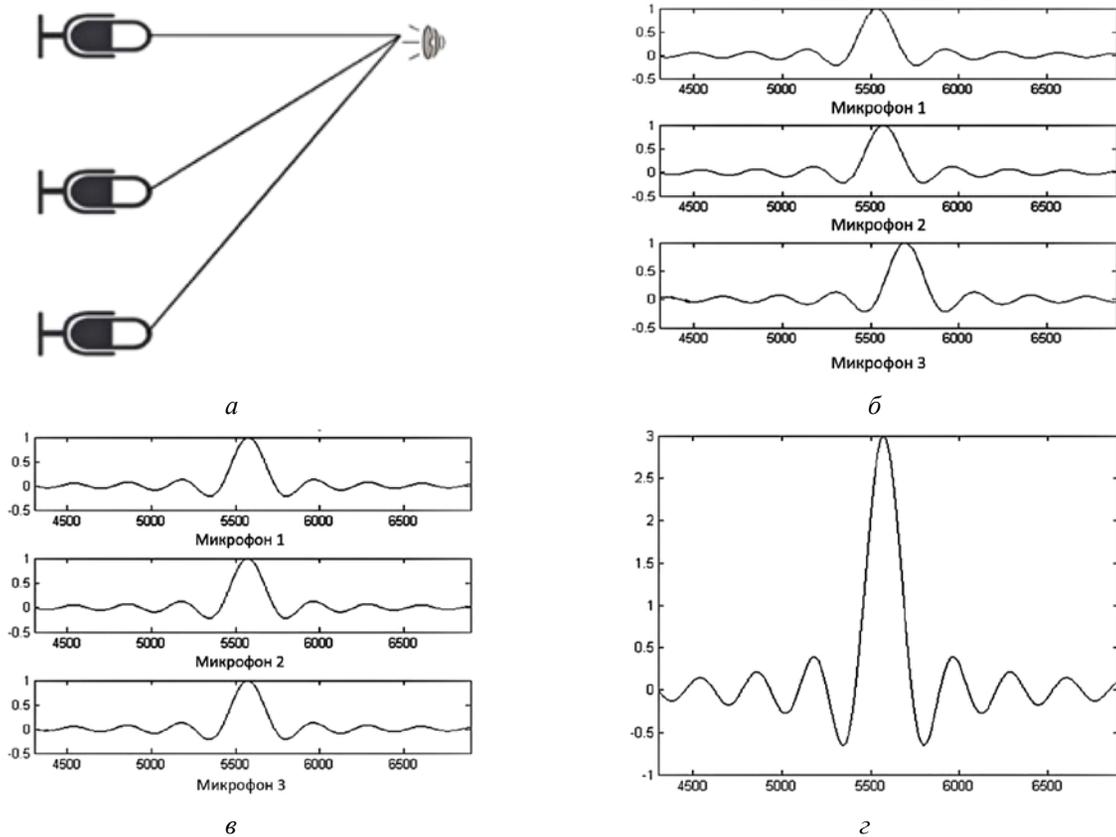


Рис. 3. Результат обработки сигналов в диаграммообразующей схеме «задержки и суммирования» для трех микрофонов: а — упрощенная схема решетки с источником звукового сигнала, поступающего на каждый микрофон; б — импульсы сдвинуты во времени для каждого микрофона; в — импульсы после преобразования в диаграммообразующей схеме; г — результирующий импульс с амплитудой, в три раза превышающей амплитуду каждого отдельного импульса

Диаграмма направленности является основной характеристикой МР. Она зависит от геометрии МР (числа и расположения микрофонов) и алгоритмов обработки сигналов. На рис. 4 приведены диаграммы направленности эквидистантной восьмиэлементной микрофонной линейки с апертурой $D = 35$ см, $d = 5$ см для 1; 2; 4 кГц [10]. Горизонтальная ось — угол прихода акустического сигнала, вертикальная — амплитуда выходного сигнала МР в линейном масштабе.

Ширина луча, формируемого решеткой микрофонов, зависит от частоты излучения цели и расстояния между элементами микрофонной решетки. Поэтому, с точки зрения рационального применения, должна быть обеспечена возможность изменения положения элементов с последующей процедурой калибровки для определения местоположения микрофонов.

Угловое разрешение МР зависит от линейного размера МР, длины волны, направления луча и метода обработки [10, 13]:

$$\Delta\alpha = 1,22 / \cos(\alpha) \times \lambda / D,$$

где $\Delta\alpha$ — угловое разрешение (радиан); D — апертура; λ — длина волны; α — угол направления луча. Пространственное разрешение в плоскости, находящейся на дистанции L , зави-

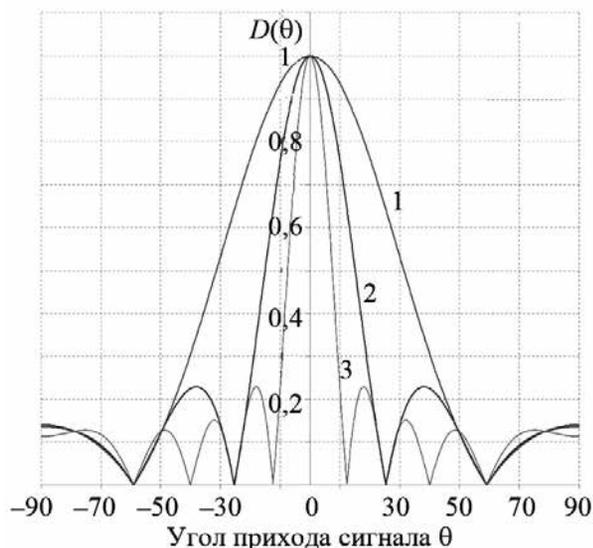


Рис. 4. Зависимость диаграммы направленности эквидистантной восьмиэлементной микрофонной линейки с апертурой $D = 35$ см, $d = 5$ см от частоты сигнала: 1 — 1 кГц; 2 — 2 кГц; 3 — 4 кГц

сит от угла направления луча следующим образом [10, 14]:

$$\Delta X(\alpha) = 1,22 / \cos^3(\alpha) \times \lambda L / D.$$

Рассмотрим некоторые примеры применения микрофонных решеток и акустических камер для обнаружения БПЛА.

Технологический институт Стивенса («Stevens Institute of Technology») разработал и построил систему акустического обнаружения дронов (далее система ТИС), которая может обнаруживать, отслеживать и классифицировать БПЛА с использованием акустических характеристик шумов пропеллера. Она состоит из трех и более микрофонных узлов. Микрофонный узел имеет форму тетраэдра с настраиваемым размером (рис. 5). При тестировании сторона тетраэдра составляла около 53 см. Среднее расстояние между узлами 80–120 м. Данные с микрофонов передаются через WiFi в режиме реального времени на центральный компьютер для обработки. Разнесение узлов системы на расстояние 60–120 метров позволяло локализовать БПЛА методом триангуляции.

Система ТИС была исследована в сравнительных испытаниях вместе с другими системами, среди которых были [17]:

- 16-канальная двухрядная перекрестная решетка;
 - 40-канальная фазированная решетка «OptiNav» (рис. 6);
 - параболические и направленные микрофоны.
- В качестве объектов использовались мультироторные БПЛА разных размеров: DJI Phantom 4 (1,3 кг) (рис. 7), DJI Matrice 600 (9,6 кг) (рис. 8), DJI S1000 (9,6 кг) (рис. 9), Inspire 2 (3,4 кг) (рис. 10), Intel Falcon 8+ (1,2 кг) (рис. 11).

Приведем некоторые из результатов исследований. Система ТИС позволяет обнаруживать и определять направление на БПЛА DJI Phantom 4 на расстоянии до 350 м со средней точностью 4 градуса. При низком уровне фонового шума (45–50 дБ) обеспечивалось слежение за БПЛА «DJI S1000» на дальностях до 250 м. В другом эксперименте, проведенном с БПЛА Inspire 2, при более высоком уровне шума (50–60 дБ), предельная дальность составила 200 м.

В исследованиях использовался алгоритм классификации, позволявший обнаружить



Рис. 5. Микрофонный узел системы акустического обнаружения ТИС, развернутый в полевых условиях (слева). Микрофон (справа)



Рис. 6. Акустическая камера OptiNav ACAM 120



Рис. 7. DJI Phantom 4



Рис. 8. DJI Matrice 600



Рис. 9. DJI S1000



Рис. 10. Inspire 2



Рис. 11. Intel Falcon 8+

мультироторный БПЛА по характеристикам звука на расстоянии порядка 100 м.

В таблице приведены сравнительные результаты опытов по определению направлений на БПЛА, полученные с помощью системы ТИС и акустической камеры OptiNav ACAM 120.

Система ТИС позволяет обнаруживать и определять направление на БПЛА DJI Phantom 4 на дальности до 360 м с точностью примерно 4 градуса. Было продемонстрировано слежение за БПЛА на расстояние до 250 м.

В работе [15] приведено описание системы DARA (рис. 12), которая является усовершенствованной версией системы ТИС. Здесь

количество микрофонов в узле было увеличено до семи, изменено программное обеспечение и улучшен алгоритм тестирования для оценки производительности системы. Это позволило увеличить дальность обнаружения в разных экспериментах на величину от 30 до 50 %.

В работе японских исследователей [16] реализован подход к формированию диаграммы направленности МР в двух плоскостях. Для этого была использована крестообразная МР (рис. 13) и описанный выше алгоритм «задержки и суммирования».

На рис. 14 и 15 приведены результаты измерений мощности звукового излучения для

Дальность определения направления на БПЛА

Условия эксперимента	Акустическая система	Тип БПЛА	Точность, град	Дальность определения направления, м
Ветер 2–5 м/с, температура 25 °С, фон (45–50 дБА)	ТИС	DJI Phantom 4	3,4	360
Ветер 5–15 м/с, температура 4 °С, фон (45–50 дБА)	ТИС	DJI Matrice 600	4,8	265
	ТИС	DJI S1000	4,1	265
Ветер 2-5 м/с, температура 32 °С, фон (52–60 дБА)	ТИС	Inspire 2	5,5	150
	OptiNav	Inspire 2	5,5	135
	ТИС	Intel Falcon 8+	4,5	145
	OptiNav	Intel Falcon 8+	5,3	135



Рис. 12. Система DARA

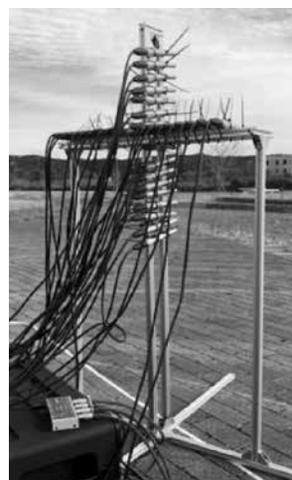


Рис. 13. Крестообразная микрофонная решетка [15]

различных положений БПЛА («DJI Matrice 200»), а также оценки его углового положения в двух плоскостях (кружками отмечены положения максимальной мощности).

Объединение большого количества микрофонов в единую систему может увеличить дальность обнаружения, точность локализации и классификации БПЛА, т.е. значительно повысит вероятность правильного обнаружения угрозы при уменьшении количества ложных срабатываний. На практике это положение реализуется в разработках акустических камер. В качестве примера приведем два из возможных вариантов размещения микрофонов в акустической камере SoundEye (рис. 16 и 17) [17]. Оба варианта состоят из массива микрофонов и размещенной в его центре оптической камеры.

Работа камеры основана на использовании описанных выше алгоритмов «задержки и суммирования» для формирования акустического изображения. Зона обзора камеры составляла $\pm 44^\circ$ по вертикали и $\pm 58^\circ$ по горизонтали. Диапазон частот обрабатываемых сигналов от 800 Гц до 12,5 кГц (базовый вариант), от 100 Гц до 12,5 кГц (расширенный вариант). На рис. 18 представлена характеристика направленности акустической камеры в частотном диапазоне от 100 до 1000 Гц (максимальный уровень сигнала регистрируется при угле, равном 90°). На рис. 19 и 20 приведены фотографии, полученные на дальности 170 м от видеокамеры и с помощью акустической камеры соответственно.

Акустические камеры появились относительно недавно. В настоящее время их стоимость довольно высока (более 10 тысяч долларов) [15].

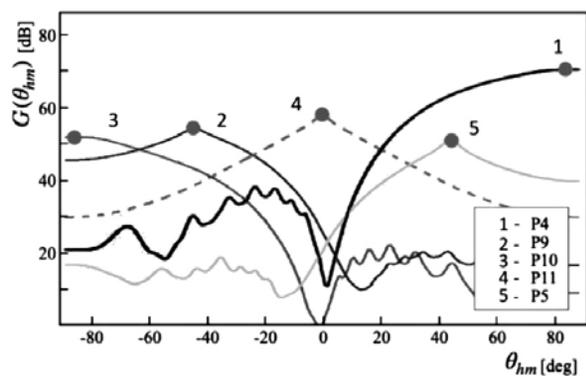


Рис. 14. Результаты измерений мощности звукового излучения в горизонтальной плоскости $G(\theta_{hm})$ для различных положений (P4, P5, P9 — P11) БПЛА DJI Matrice 200

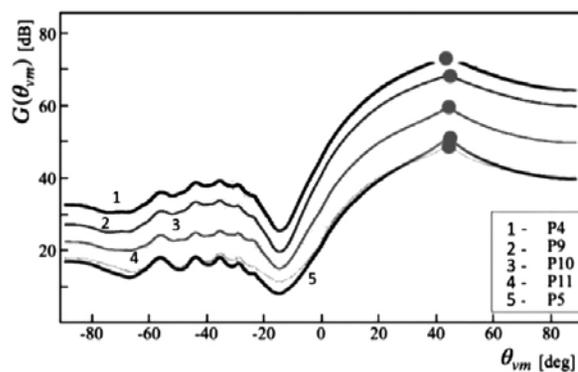


Рис. 15. Результаты измерений мощности звукового излучения в вертикальной плоскости $G(\theta_{vm})$ для различных положений (P4, P5, P9 — P11) БПЛА DJI Matrice 200



Рис. 16. Базовый вариант акустической камеры «SoundEye» (30 микрофонов)

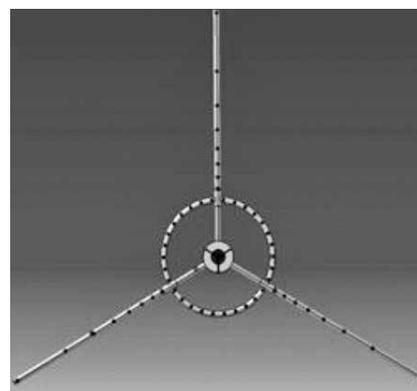


Рис. 17. Расширенный вариант акустической камеры «SoundEye» (54 микрофона)

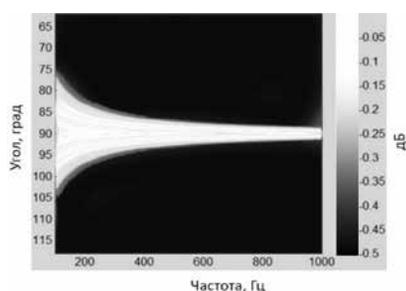


Рис. 18. Характеристика направленности акустической камеры в частотном диапазоне от 100 до 1000 Гц



Рис. 19. Видеоизображение БПЛА на дальности 170 м



Рис. 20. Акустическое изображение БПЛА на дальности 170 м

Выводы

1. Увеличение количества микрофонов, объединение их в микрофонные решетки позволяет за счет применения алгоритмов «задержки и суммирования» и «фильтрации и суммирования» сформировать диаграмму направленности

акустической системы и повысить дальность обнаружения БПЛА по сравнению с обычными системами акустического наблюдения.

2. Дальнейшим развитием микрофонных решеток являются акустические камеры, способные формировать акустические изображения в реальном масштабе времени.

Литература

1. Макаренко С.И. Противодействие беспилотным летательным аппаратам. СПб.: Изд-во «Наукоемкие технологии», 2020. 204 с.
2. Андрющенко М.С., Голик А.М., Саханов С.А. Подходы к организации противодействия беспилотным летательным аппаратам // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2023. № 1 (126). С. 15–21.
3. Сильников М.В., Карпович А.В., Лазоркин В.И. [и др.]. Научно-методическое обоснование способов применения беспилотных летательных аппаратов для разведки и поражения целей: Монография. СПб.: Научно-производственное объединение специальных материалов, 2022. 412 с.
4. Степанов В.В., Андрющенко М.С. Зарубежные средства доставки высокоточного оружия // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2015. № 3(88). С. 91–96. EDN UIWTVJ.
5. Алешин И.Н., Андрющенко М.С., Куртц Д.В. Защита объектов БТВТ от беспилотных летательных аппаратов // Актуальные проблемы защиты и безопасности: Труды XXIII Всероссийской научно-практической конференции РАРАН, в 5-ти т., Санкт-Петербург, 01–04 апреля 2020 года. М.: ФГБУ «Российская академия ракетных и артиллерийских наук», 2020. Том 3. С. 426–431.
6. Степанов В.В., Алешин И.Н., Андрющенко М.С., Куртц Д.В. Системы обнаружения малоразмерных беспилотных летательных аппаратов // Актуальные проблемы защиты и безопасности: Труды XXIV Всероссийской научно-практической конференции РАРАН. В 7-ми т., Санкт-Петербург, 31 марта — 03 апреля 2021 года. Москва: Российская академия ракетных и артиллерийских наук, 2021. Том 1. С. 327–334.
7. Heutschi K., Ot B., Nussbaumer T., Wellig P. Virtual microphone signals of flying drones. In Proceedings of the NATO STO MSG-SET-183 Specialists' Meeting on Drone Detectability: Modelling the Relevant Signature, Wakefield, MA, USA, 27–29 April 2021.
8. Thirtyacre D., Brookshire G., Callan S., Arvizu B., Sherman P. (2021). Small Unmanned Aircraft Systems Acoustic Analysis for Noninvasive Marine Mammal Response: An Exploratory Field Study // International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace, 8(2).
9. Карташов В.М., Олейников В.Н., Шейко С.А., Бабкин С.И., Корытцев И.В., Зубков О.В., Анохин М.А. Информационные характеристики звукового излучения малых беспилотных летательных аппаратов // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2017. Вып. 191. С. 181–187.
10. Столбов М.Б. Применение микрофонных решеток для дистанционного сбора речевой информации // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. Т. 15. № 4. С. 661–675.
11. Фокин Г.А. Анализ работы диаграммообразующей схемы антенной решетки по алгоритму задержки и суммирования в задачах позиционирования / Сб. мат. 78-й Научно-технической конференции Санкт-Петербургского НТО РЭС им. А.С. Попова, посвященная Дню радио. Секция 2 «Статистическая обработка сигналов, радиолокация, радионавигация», 2023. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ». С. 30–36.
12. Case E.E., Zelnio A.M., Rigling B.D. Low-Cost Acoustic Array for Small UAV Detection and Tracking. 2008. IEEE National Aerospace and Electronics Conference, Dayton, OH, USA, 2008. Pp. 110–113.
13. Peral-Orts R., Velasco-Sanchez E., Campillo-Davo N., Camello-Vicente H. Using microphone arrays to detect moving vehicle velocity // Archives of Acoustics. 2013. V. 38. № 3. Pp. 407–415.
14. Microphone Arrays. Signal Processing Techniques and Applications / Eds. M. Brandstein, D. Ward. Springer Verlag, 2001. 402 p.
15. Kadyrov Daniel et al. Improvements to the Stevens drone acoustic detection system. Proc. Mtgs. Acoust 23 May 2022; 46 (1): 045001.
16. Madokoro, Hirokazu & Yamamoto, Satoshi & Watanabe, Kanji & Nishiguchir, Masayuki & Nix, Stephanie & Woo, Hanwool & Sato, Kazuhito. (2021). Prototype Development of Cross-Shaped Microphone Array System for Drone Localization Based on Delay-and-Sum Beamforming in GNSS-Denied Areas. Drones. 5. 123. 10.3390/drones5040123.
17. Jurica Ivošević, Tomislav Radišić, Mario Muštra, Ivan Bubljić, Ivan Tudor, Darije Varžić (2018) Detecting UAVs Using Acoustic Camera. The Third International Conference on Advances in Signal, Image and Video Processing. 2018. Pp. 56–61.

УДК: 623.4

DOI: 10.53816/20753608_2024_1_139

**К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ СКОРОСТИ
УДАРНЫХ ВОЛН ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ УРОВНЯ ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ
ВО ФРОНТЕ ВОЗДУШНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ
ПРИ ПОЛИГОННЫХ ИСПЫТАНИЯХ УСТРОЙСТВ
ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ВЗРЫВА**

**ON THE ISSUE OF APPLICATION OF DIGITAL SHOCK WAVE VELOCITY
METERS TO REGISTER THE LEVEL OF EXCESSIVE PRESSURE
IN THE AIR SHOCK WAVE FRONT DURING GROUND TESTING
OF DEVICES FOR EXPLOSION PROTECTION**

По представлению чл.-корр. РАРАН А.И. Михайлина

А.С. Пучков, И.В. Гук, А.И. Спивак, С.Н. Васильева

АО «НПО Спецматериалов»

A.S. Puchkov, I.V. Guk, A.I. Spivak, S.N. Vasileva

Рассмотрен вопрос измерения избыточного давления во фронте воздушной ударной волны с использованием цифровых измерителей скорости ЦИС-5 как альтернативы использованию пьезоэлектрических датчиков давления ПД-7-1,5М. Установлено, что погрешность определения избыточного давления во фронте воздушной ударной волны с использованием цифровых измерителей скорости ЦИС-5 составляет 27–51 %.

Ключевые слова: воздушная ударная волна, избыточное давление во фронте воздушной ударной волны, методы определения избыточного давления во фронте воздушной ударной волны.

The issue of measuring excess pressure in the front of an air shock wave using digital speed meters TsIS-5 as an alternative to using piezoelectric pressure sensors PD-7-1.5M is considered. It has been established that the error in determining excess pressure in the front of an air shock wave using digital speed meters TsIS-5 is 27–51 %.

Keywords: air shock wave, excess pressure in the air shock wave front, methods for determining excess pressure in the air shock wave front.

В современных условиях, характеризующихся проявлением противоправных действий террористической направленности с использованием зарядов взрывчатого вещества (ВВ), особую актуальность приобретает использование устройств для защиты от взрыва типа «Фонтан» [1], предназначенных для уменьшения фугасного и термического воздействия взрыва в ближней области за счет реализации эффекта

Гельфанда–Сильникова [2, 3], заключающемся в быстром затухании, размытии и выполаживании фронта воздушной ударной волны (ВУВ) с диссипацией энергии взрыва многофазной газожидкостной релаксационной средой (диспергентом) [4]. Кинограммы, иллюстрирующие эффективность использования устройств для защиты от взрыва типа «Фонтан-2», представлены на рис. 1 и 2 [5, 6]. На рис. 1 представлена

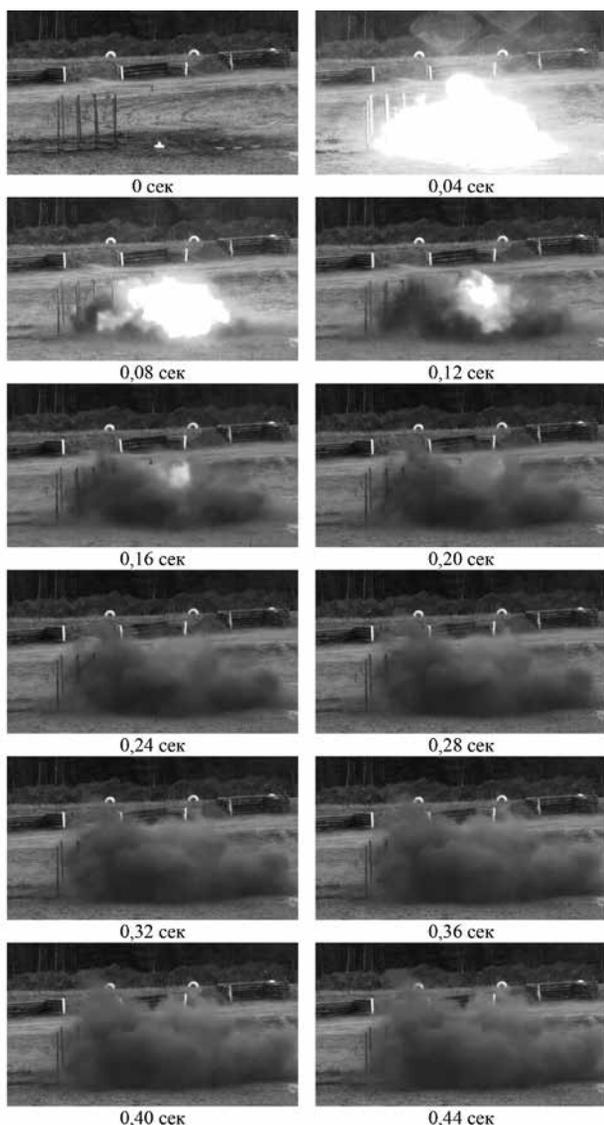


Рис. 1. Кинограмма подрыва открытого заряда ТНТ массой 0,5 кг

кинограмма подрыва открыто расположенного заряда ТНТ массой 0,5 кг, на которой явно присутствует термическое действие взрыва в ближней области в виде открытого пламени. На рис. 2 представлена кинограмма подрыва аналогичного заряда ТНТ, расположенного в устройстве для защиты от взрыва типа «Фонтан-2» модели 05У, из анализа которой следует значительное уменьшение термического воздействия взрыва в ближней области.

Основной особенностью изделий типа «Фонтан» является наполнение его специальной эмульсией — диспергентом, обладающим

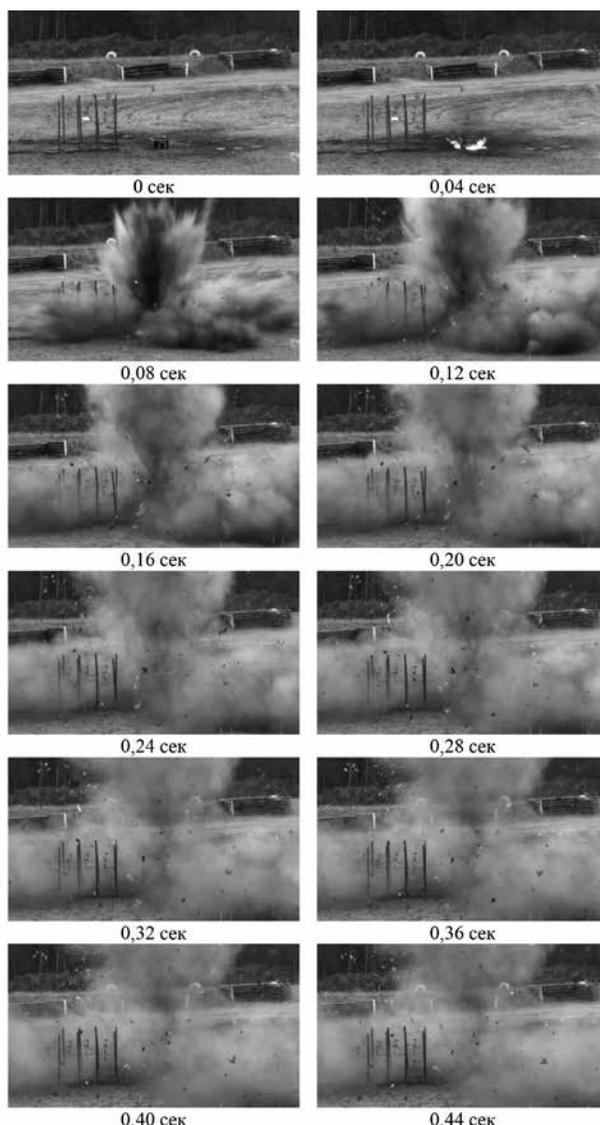


Рис. 2. Кинограмма подрыва заряда ТНТ массой 0,5 кг с использованием устройства для защиты от взрыва «Фонтан-2» модели 05У

высокой релаксирующей способностью. Физико-механические свойства диспергента оказывают определяющее влияние на эффективность устройства защиты от взрыва. От них зависит доля диссипированной энергии взрыва, определяемой аномально высокой кинематической релаксацией в процессе диспергирования эмульсии и преобразования ее в кинетическую энергию капель [4].

Одним из основных этапов разработки и контроля качества в процессе серийного производства устройств для защиты от взрыва являются полигонные испытания.

При полигонных испытаниях устройств для защиты от взрыва оценивают их эффективность и расстояние от источника взрыва, на котором уровень избыточного давления во фронте ВУВ не превышает безопасный по баротравме уровень для взрослого здорового человека (50 кПа) [7].

Существует ряд методических подходов к определению уровня избыточного давления во фронте ВУВ, одними из которых являются [8]:

- метод прямых измерений с использованием преобразователей давления различного типа, например пьезодатчиков с записью пьезотоков на скоростные регистраторы [7, 9, 10]. Такой метод обеспечивает регистрацию давлений с высокой точностью. К недостаткам метода можно отнести разрушение пьезодатчиков в процессе испытаний, особенно на стадии спада давления, что не позволяет, например, осуществлять запись импульса давления при больших давлениях во фронте ВУВ. Кроме этого, для монтажа пьезодатчиков необходимы жесткие несущие конструкции с элементами для защиты от поражающих элементов, специальные меры для защиты измерительных кабельных цепей от воздействия ВУВ и поражающих элементов;

- метод косвенных измерений, основу которого составляют результаты измерения скоростей ударных волн, которые измеряют с большой точностью. Метод хорошо зарекомендовал себя при определении уровней давления во фронте ВУВ средней и большой интенсивности. Метод характеризуется применением цифровых измерителей скорости проходящей ВУВ, устанавливаемых непосредственно на поверхности земли, отсутствием дополнительного оборудования и измерительных линий для обеспечения работоспособности цифровых измерителей скорости [11];

- метод косвенных измерений на основе использования стержней Гопкинсона для определения значительных давлений во фронте ВУВ с возможностью оценки импульса давления [12].

В качестве основного метода при полигонных испытаниях устройств для защиты от взрыва типа «Фонтан» используется метод прямых измерений с использованием пьезоэлектрических датчиков давления ПД-7-1,5М, цифрового многоканального осциллографа на базе пер-

сонального компьютера и платы сбора информации L-783 [7].

Датчик давления ПД-7-1,5М, представленный на рис. 3, состоит из преобразователя давления (1) и предварительного усилителя (2). Преобразователь давления состоит из пьезоэлектрического элемента диаметром 7 мм, закрепленного на металлической трубке через изолирующую прокладку. На пьезоэлемент нанесено теплозащитное покрытие толщиной 1,5 мм, устраняющее влияние пироэффекта в рабочем диапазоне давлений ударных волн и предохраняющее пьезоэлемент от климатических и механических воздействий.

Основные технические характеристики пьезоэлектрических датчиков давления ПД-7-1,5М [7]:

- форма чувствительного элемента сферическая (коэффициент чувствительности датчиков зависит от направления воздействия);
- максимальная амплитуда давления — 1,5 МПа;
- частотный диапазон — 2...20 000 Гц;
- диаметр чувствительного элемента — 5...7 мм.

Однако в связи с отмеченными недостатками, присущими методу прямых измерений параметров во фронте ВУВ, возникла необходимость апробации метода косвенных измерений параметров во фронте ВУВ при полигонных испытаниях устройств для защиты от взрыва на основании результатов измерения скоростей ударных волн.

Измерение избыточного давления (амплитуды) ΔP прямой ВУВ при помощи цифровых измерителей скорости основано на следующей связи между соотношением давлений на переднем фронте ВУВ (интенсивностью ВУВ) J и числом Маха M , характеризующим в данном случае скорость распространения переднего фронта ВУВ [1–3, 9]:



Рис. 3. Вид пьезоэлектрического датчика давления ПД-7-1,5М: 1 — преобразователь давления; 2 — предварительный усилитель

$$J = (1 + \varepsilon)M^2 - \varepsilon, \quad (1)$$

где $J = (P + \Delta P)/P$ — интенсивность прямой ВУВ;

P — давление перед фронтом ВУВ (атмосферное давление, если ВУВ распространяется в предварительно не возмущенной среде);

$$\varepsilon = (\gamma - 1)/(\gamma + 1);$$

где γ — показатель адиабаты воздуха (для слабых и умеренных ВУВ, т.е. при $J \leq 10$, без ущерба точности измерений и вычислений принимается $\gamma = 1,4$);

$M = D/a$ — число Маха ВУВ;

D — скорость распространения переднего фронта ВУВ;

$a = \sqrt{\gamma RT}$ — скорость звука в окружающей среде;

T — абсолютная температура воздуха перед ударной волной, К;

$R = 287,055$ Дж/(кг·К) — газовая постоянная воздуха.

Чувствительные элементы цифрового измерителя скорости, находящиеся друг от друга на расстоянии L по направлению распространения прямой ВУВ, подвергаются воздействию переднего фронта ВУВ через промежуток времени Δt , связанный со скоростью D :

$$D = L/\Delta t.$$

Из соотношения (1) и пояснений к нему следует, что фиксация этого промежутка времени позволяет установить не только среднюю скорость переднего фронта ВУВ, но и ее усредненную амплитуду на этом промежутке при различных значениях температуры воздуха и атмосферного давления:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{(1 + \varepsilon)P(D^2 - a^2)}{a^2} = \\ &= \frac{2P \left[(L/\Delta t)^2 - \gamma RT \right]}{(\gamma + 1)RT}. \end{aligned} \quad (2)$$

В том случае, если линия, соединяющая чувствительные элементы цифрового измерителя скорости, составляет с фронтом ВУВ угол σ ,

отличный от прямого, то соотношение (1) для определения интенсивности ударной волны выглядит следующим образом [1–3, 9]:

$$J = (1 + \varepsilon)M^2 \sin^2 \sigma - \varepsilon,$$

и приводит к следующей формуле измерения амплитуды косой ВУВ:

$$\Delta P = \frac{2P \left[(L \sin \sigma / \Delta t)^2 - \gamma RT \right]}{(\gamma + 1)RT}. \quad (3)$$

Оценка избыточного давления ΔP прямой или косой ВУВ в соответствии с формулами (2) и (3) требует высокой точности измерения промежутка времени Δt , определяющей скорость ВУВ (особенно при малых амплитудах ударной волны, когда разность скорости переднего фронта ВУВ и скорости звука невелика). Эффекты, связанные с неравновесностью процессов в ударных волнах, отклонением воздуха от термодинамического уравнения состояния идеального газа, изменением его показателя адиабаты и газовой постоянной, при анализе ударных волн малой и умеренной интенсивности, напротив, являются пренебрежимо малыми.

Для реализации метода косвенных измерений при полигонных испытаниях устройств для защиты от взрыва типа «Фонтан» на основании результатов измерения скоростей ударных волн были использованы цифровые измерители скорости ЦИС-5, основные характеристики которых представлены в табл. 1 [13].

Исследование возможности использования методики, основанной на применении цифровых измерителей скорости ЦИС-5, для регистрации уровня избыточного давления во фронте ВУВ при испытаниях устройств для защиты от взрыва было проведено в полигонных условиях с использованием устройств для защиты от взрыва серии «Фонтан-2», вид которых представлен на рис. 4, а характеристики представлены в табл. 2 [4].

Исследования проводились методом сравнительных испытаний с регистрацией давления во фронте ВУВ с использованием двух параллельных измерительных цепей, схема которых представлена на рис. 5.

Основу измерительной цепи № 1 (направления 1 и 2, рис. 5) составляли цифровые

Характеристики цифрового измерителя скорости ЦИС-5

№ п/п	Наименование характеристики	Значение характеристики
1	Диапазон измеряемых интервалов времен, мкс	от 0 до 999
2	Погрешность определения интервала времени, мкс	$\pm (\tau \text{ изм. } 10^{-3} + 1)$
3	Диапазон измеряемых скоростей распространения воздушных ударных волн, м/с	от 350 до 1550
4	Относительная среднеквадратическая погрешность измерения скорости распространения воздушной ударной волны, %	< 3
5	Диапазон измеряемой величины максимального избыточного давления на фронте ударной волны, Па	$(0,49 - 24,5) \cdot 10^5$
6	Относительная среднеквадратическая погрешность измерения величины максимального избыточного давления, %	< 5
7	База измерения, мм	$200 \pm 0,5$



Рис. 4. Вид устройств для защиты от взрыва серии «Фонтан-2»: а — модель 05У; б — модель 10У

Таблица 2

Габаритно-массовые характеристики устройств для защиты от взрыва «Фонтан-2»

Модель изделия	Наружные габаритные размеры $\pm 10 \%$, мм	Размеры внутренней полости $\pm 10 \%$, мм	Внутренний объем не более, куб. дм	Масса не более, кг	Нормативная масса локализуемого заряда ТНТ, кг
05У	440×440×300	220×220×180	12	20	0,5
10У	530×530×320	280×280×160	17	25	1,0

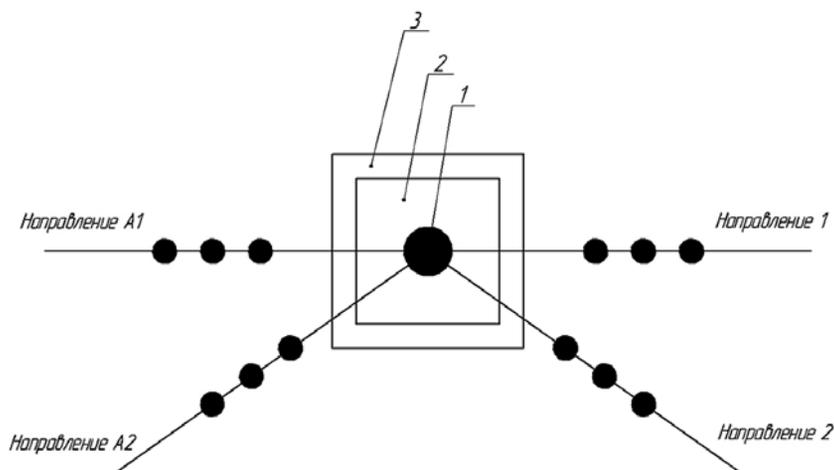


Рис. 5. Схема проведения эксперимента (вид сверху): 1 — заряд ВВ; 2 — средство для защиты от взрыва «Фонтан-2»; 3 — плита; направление 1, 2 — размещение цифровых измерителей скорости ЦИС-5; направление А1, А2 — размещение датчиков давления ПД-7-1,5М

измерители скорости ЦИС-5, схема размещения которых представлена на рис. 6, а внешний вид — на рис. 7. Расстояния до ЦИС-5 от внешних габаритов образцов устройств серии «Фонтан-2» в направлениях 1 и 2 представлены в табл. 3.

Основу измерительной цепи № 2 (направления А1 и А2, рис. 5) составляли пьезоэлектрические датчики давления ПД-7-1,5М, цифровой многоканальный осциллограф на базе персонального компьютера и платы сбора информации L-783. Схемы размещения датчиков в направлениях А1 и А2 представлены на рис. 8 и 9, а расстояния от внешних габаритов устройства «Фонтан-2» до датчиков давления ПД-7-1,5М указаны в табл. 3.

Испытания проводились подрывом зарядов ТНТ массой 0,5...2 кг, размещенных в устройствах для защиты от взрыва «Фонтан-2». Подрыв зарядов ТНТ осуществлялся электрическим способом на стальной плите, вкопанной в грунт под нулевой уровень.

Вид мишенной обстановки с размещенными в ней зарядом ТНТ, датчиков давления ПД-7-1,5М и цифровых измерителей скорости представлен на рис. 10.

Перед проведением исследований были проведены межлабораторные сличительные испытания пьезоэлектрических датчиков давления ПД-7-1,5М с использованием пьезоэлектрических датчиков давления СП-10, в ходе которых была подтверждена удовлетворительная

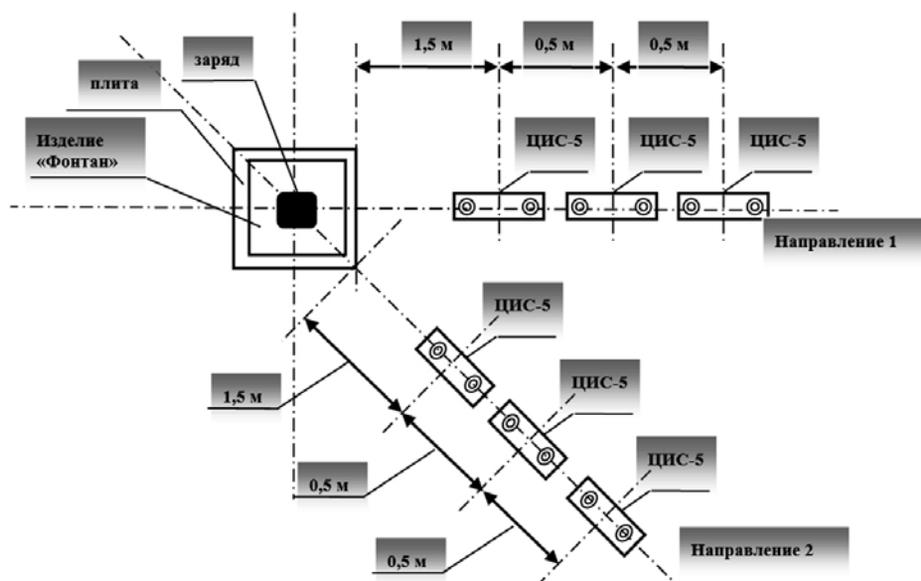


Рис. 6. Схема размещения цифровых измерителей скорости ЦИС-5 при проведении испытаний

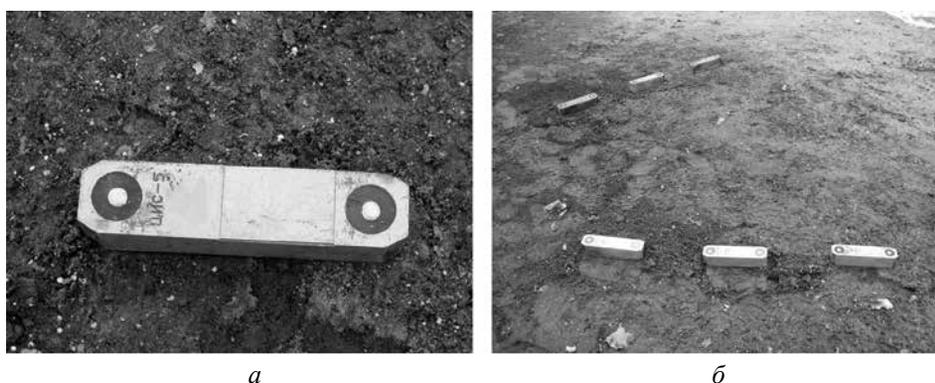


Рис. 7. Вид цифрового измерителя скорости ЦИС-5 (а) и вид размещения цифрового измерителя скорости ЦИС-5 в мишенной обстановке в направлениях 1 и 2 (б)

Расстояния до датчиков давления ПД-7-1,5М и цифровых измерителей скорости ЦИС-5 от края устройства для защиты от взрыва «Фонтан-2»

Масса заряда ТНТ, кг	Вид испытаний	Расстояния до датчиков ПД-7-1,5М и ЦИС-5 от края «Фонтан-2», м					
		направления А1, А2 (датчики ПД-7-1,5М)			направления 1, 2 (ЦИС-5)		
		номера датчиков ПД-7-1,5М; ЦИС-5					
		1; 5	2; 6	3; 7	1; 5	2; 6	3; 7
0,5	Подрыв заряда в «Фонтан-2» модели 05У						
1,0	Подрыв заряда в «Фонтан-2» модели 05У	1,5	2,0	2,5	1,5	2,0	2,5
	Подрыв заряда в «Фонтан-2» модели 10У						
2,0	Подрыв заряда в «Фонтан-2» модели 10У						

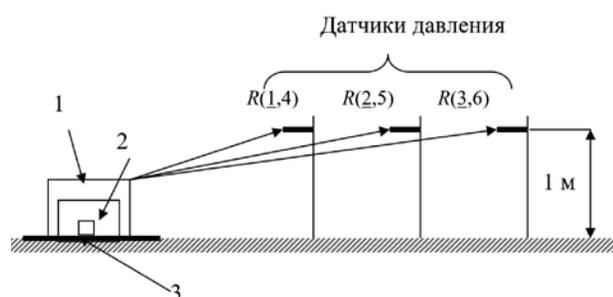


Рис. 8. Схема расположения (вид сбоку) заряда, устройств для защиты от взрыва «Фонтан-2» и датчиков давления ПД-7-1,5М в направлениях А1, А2:

1 — устройство для защиты от взрыва «Фонтан-2»; 2 — заряд ТНТ; 3 — плита

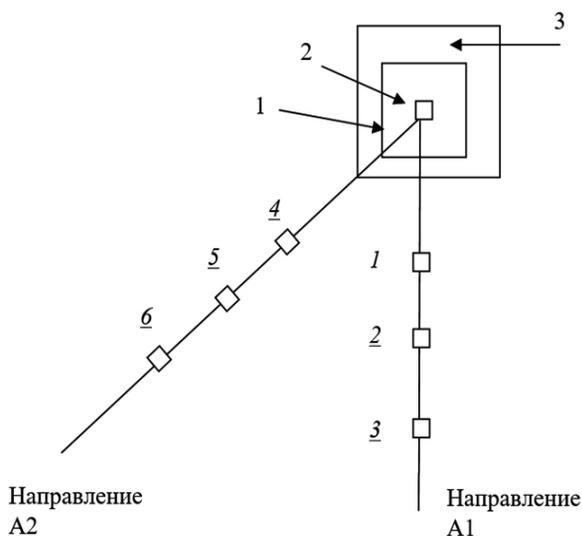


Рис. 9. Схема расположения (вид сверху) заряда, устройств для защиты от взрыва «Фонтан-2» и датчиков давления ПД-7-1,5М:

1–6 — номера позиций датчиков давления ПД-7-1,5М;

1 — устройство для защиты от взрыва «Фонтан-2»; 2 — заряд ТНТ; 3 — стальная плита

сходимость результатов [5]. Перед проведением серии экспериментов проводилась градуировка пьезоэлектрических датчиков давления ПД-7-1,5М.

При проведении испытаний фиксировались уровни избыточного давления во фронте ВУВ на удалении 1,5; 2,0; 2,5 м от заряда ТНТ пьезоэлектрическими датчиками давления ПД-7-1,5М в направлениях А1 и А2, и цифровыми измерителями скорости ЦИС-5 в направлениях 1 и 2 [14, 15].



а



б

Рис. 10. Вид мишенной обстановки: а — вид открыто расположенного заряда ТНТ в мишенной обстановке; б — вид заряда ТНТ, размещенного в устройстве для защиты от взрыва «Фонтан-2»

В результате обработки экспериментальных данных получены статистические модели [16] зависимости избыточного давления во фронте воздушной ударной волны от расстояния до заряда ТНТ с использованием метода наименьших квадратов. При этом было рассмотрено несколько видов функций $y = f(x, a, b, \dots)$ и выбрана функция, для которой суммарная погрешность

$$\sum_{i=1}^n [f(x_j, a, b, \dots) - y_i]^2$$

оказалась минимальной [17].

Вид статистических моделей зависимости избыточного давления во фронте воздушной ударной волны от расстояния до заряда ТНТ представлен в табл. 4.

Таблица 4

Вид статистических моделей зависимости избыточного давления во фронте воздушной ударной волны от расстояния до заряда ТНТ

№ п/п	Средство измерения избыточного давления во фронте ВУВ	Вид статистической модели	Коэффициенты модели		Среднее отклонение, %	Средне-квадратическое отклонение	Коэффициент корреляции
			a	b			
Подрыв заряда ТНТ массой 0,5 кг в «Фонтан-2» модели 05У							
1	Датчики ПД-7-1,5М направление А1	$Y = a + bx$	106,33	-31,00	1	0,24	0,9998
2	Датчики ПД-7-1,5М направление А2	$Y = a + bx$	83,00	-21,00	5	2,12	0,9707
3	Датчики ЦИС-5 направление 1	$Y = a + b/x$	-70,38	290,51	2	1,34	0,9991
4	Датчики ПД-7-1,5М направление 2	$Y = a + bx$	99,33	-24,00	1	0,47	0,9988
Подрыв заряда ТНТ массой 1,0 кг в «Фонтан-2» модели 05У							
5	Датчики ПД-7-1,5М направление А1	$Y = a + bx$	134,67	-32,00	5	3,77	0,9607
6	Датчики ПД-7-1,5М направление А2	$Y = a + bx$	137,00	-34,00	6	4,24	0,9563
7	Датчики ЦИС-5 направление 1	$Y = a + b/x$	130,62	549,48	3	4,37	0,9973
8	Датчики ПД-7-1,5М направление 2	$Y = a + b/x$	17,46	226,84	2	1,46	0,9983
Подрыв заряда ТНТ массой 1,0 кг в «Фонтан-2» модели 10У							
9	Датчики ПД-7-1,5М направление А1	$Y = a + bx$	94,00	-19,00	1	0,71	0,9958
10	Датчики ПД-7-1,5М направление А2	$Y = a + bx$	110,33	-26,00	3	1,89	0,9845
11	Датчики ЦИС-5 направление 1	$Y = a + b/x$	-93,27	453,06	2	2,33	0,9900
12	Датчики ПД-7-1,5М направление 2	$Y = a + bx$	168,67	-43,00	1	0,24	0,9999
Подрыв заряда ТНТ массой 2,0 кг в «Фонтан-2» модели 10У							
13	Датчики ПД-7-1,5М направление А1	$Y = a \exp(b/x)$	45,34	2,29	6	0,65	0,9678
14	Датчики ПД-7-1,5М направление А2	$Y = a + b/x$	-34,17	299,69	2	2,62	0,9968
15	Датчики ЦИС-5 направление 1	$Y = x/(a + bx)$	-0,01	0,01	1	0,01	0,9995
16	Датчики ПД-7-1,5М направление 2	$Y = a + bx$	365,33	-97,00	1	0,24	0,9999

Примечание — область определения аргумента от 1,5 до 2,5 м

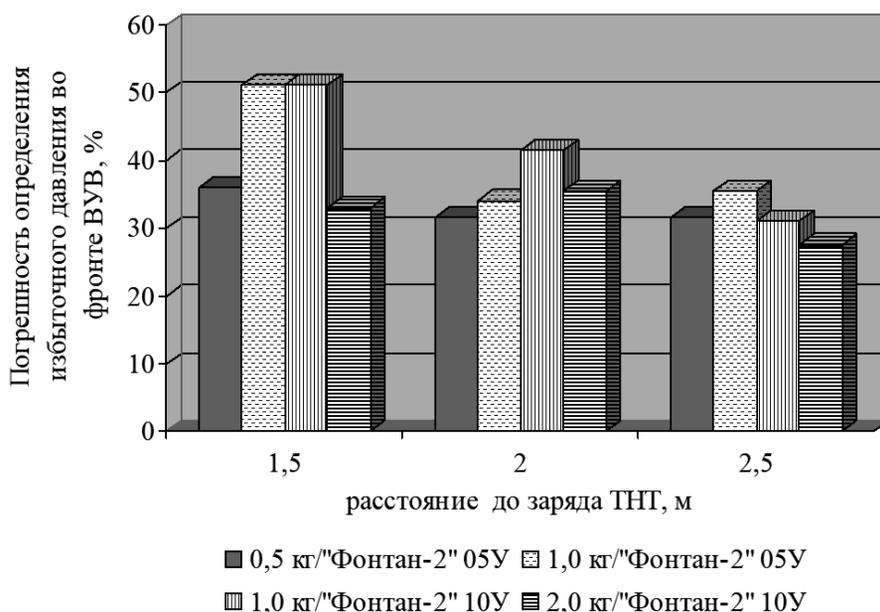


Рис. 11. Погрешности определения избыточного давления во фронте ВУВ цифровыми измерителями скорости ЦИС-5

Для оценки погрешностей определения избыточного давления во фронте ВУВ цифровыми измерителями скорости ЦИС-5 в сравнении с пьезоэлектрическими датчиками давления ПД-7-1,5М экспериментальные данные в направлениях А1, А2, а также в направлениях 1, 2 были осреднены для каждого расстояния от заряда ТНТ, каждой массы заряда ТНТ и каждой модели устройства для защиты от взрыва «Фонтан-2», а затем вычислялись собственно погрешности определения избыточного давления во фронте ВУВ цифровыми измерителями скорости ЦИС-5, которые представлены на рис. 11.

Анализ результатов, представленных на рис. 11, показывает, что использование методики косвенных измерений для определения уровня избыточного давления во фронте ВУВ в диапазоне 30–00 кПа, основанной на применении цифровых измерителей скорости ЦИС-5, нецелесообразно, поскольку полученные результаты значительно отличаются от результатов, полученных с использованием методики прямых измерений на основе пьезоэлектрических датчиков давления ПД-7-1,5М (погрешности определения избыточного давления во фронте ВУВ находятся в диапазоне 27–51 %).

Полученные результаты можно объяснить следующими обстоятельствами.

Известно [9], что избыточное давление во фронте ВУВ пропорционально квадрату скорости фронта ударной волны v^2 и разности $(1 - c_0^2 / v^2)$, где c_0 — скорость звука. Эти обстоятельства требуют для получения величины избыточного давления во фронте ВУВ с приемлемой погрешностью весьма большой точности измерения величины v , особенно близкой к скорости звука. Так, например, для получения величины избыточного давления во фронте ВУВ с погрешностью $\pm 5\%$ при подрыве заряда ВВ массой 1 кг на расстоянии 2 м требуется отсчет времени прихода ударных волн к двум соседним датчикам с точностью до 10^{-6} с, что не в полной мере выполняется при использовании цифровых измерителей скорости ЦИС-5.

Литература

1. Сильников М.В., Гельфанд Б.Е., Артамонов В.С. и др. Технические средства подавления и обезвреживания взрывных устройств. Изд-во СПб политехнического университета. СПб.: 2005. 158 с.
2. Сильников М.В., Гельфанд Б.Е. Фугасное действие взрыва. СПб.: Изд-во «Астерион», 2007. 250 с.
3. Сильников М.В., Гельфанд Б.Е. Поражающие факторы взрыва СПб.: Изд-во «Астерион», 2005. 169 с.

4. Сильников М.В., Артамонов В.С., Герасимов Н.В., Пучков В.А. Технические средства противодействия взрывам. СПб.: ООО «Первый издательско-полиграфический холдинг», 2006, 336 с.

5. Васильев Н.Н., Дмитриев В.Я., Спивак А.И. и др. Отчет о полигонных испытаниях по оценке эффективности устройств для защиты от взрыва «Фонтан» при подрыве усиленных зарядов ТНТ. СПб., ЗАО «НПО Специальных материалов». 45 с.

6. Сильников М.В., Васильев Н.Н., Дмитриев В.Я. и др. Экспериментальное исследование снижения фугасного действия взрыва «Фонтан» при срабатывании усиленных зарядов // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2013. № 11–12. С. 28–36.

7. Методика № 14-07/13 проведения измерений избыточного давления во фронте воздушной ударной волны с использованием пьезоэлектрических преобразователей. СПб., ЗАО «НПО Специальных материалов», 2013. 8 с.

8. Определение давления и импульса ударных волн, распространяющихся в воздухе или жидкости. <https://helpiks.org6-77541.html?ysclid=lmldjd47f578830689> (дата обращения: 27.12.23).

9. Садовский М.А. Избранные труды: Геофизика и физика взрыва; отв. ред. В.В. Адушкин. М.: Наука, 2004. 440 с.

10. Коротков А.И. Некоторые результаты измерения давления взрыва вблизи от заряда взрывчатого вещества // Физика взрыва. 1953. № 2. С. 76–103.

11. Завриев А.С. Методика определения максимального избыточного давления ударной волны по измеренным величинам скорости ее фронта // Физика взрыва. 1953. № 2. С. 104–135.

12. Способ измерения характеристик взрыва заряда взрывчатого вещества в ближней зоне и устройство для его осуществления: пат. 2658080 Рос. Федерация: МПК G01L5/14, F42B35/00; заявитель и патентообладатель ФКП «НИИ Геодезия», заяв. 2017132623 от 19.09.2017; опубл. 19.06.2018, Бюл. № 17.

13. <https://pandia.ru/text/78/416/7491.php?ysclid=lmlbp09ikb2573966> (дата обращения: 27.12.23).

14. Васильев Н.Н., Дмитриев В.Я., Спивак А.И. и др. К вопросу исследования закономерностей снижения уровня избыточного давления во фронте воздушной ударной волны устройствами для защиты от взрыва «Фонтан» // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2014. № 9–10. С. 61–64.

15. Васильев Н.Н., Дмитриев В.Я., Спивак А.И. и др. К вопросу снижения фугасного действия взрыва устройствами для защиты от взрыва «Фонтан» при срабатывании усиленных зарядов // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2014. № 3–4. С. 106–112.

16. Коняхин И.А. Статистическое моделирование оптико-электронных систем. СПб.: СПб НИУ ИТМО, 2011. 119 с.

17. Коломиец Л.В., Пократова Н.Ю. Метод наименьших квадратов. Самара: Изд-во Самарского университета, 2017. 32 с.

У ИСТОКОВ СОЗДАНИЯ НОСИТЕЛЕЙ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ. ЧАСТЬ II. РАКЕТЫ

AT THE ORIGINS OF THE CREATION OF CARRIERS OF NUCLEAR WEAPONS. PART II. ROCKETS

Академик РАРАН В.Б. Коновалов¹, С.В. Саркисов², Н.П. Казаков²

¹ВА МТО им. А.В. Хрулева, ²ВИ (инженерно-технический) ВА МТО им. А.В. Хрулева

V.B. Konovalov, S.V. Sarkisov, N.P. Kazakov

В статье описывается деятельность военно-политического руководства СССР по созданию в послевоенное время межконтинентальных баллистических ракет наземного базирования. Одновременно шли работы по созданию космических ракет-носителей. В результате были созданы первенцы ракетно-космической техники — ракеты Р1, Р5 и Р7.

В выводах подчеркивается исключительная боевая значимость российской триады стратегических ядерных сил в современных условиях.

Ключевые слова: межконтинентальные баллистические ракеты, реактивная техника, ракетный комплекс, компоненты топлива, термоядерный заряд.

The article describes the activities of the military-political leadership of the USSR on the creation of ground-based intercontinental ballistic missiles in the post-war period. At the same time, work was underway to create space launch vehicles. As a result, the first-born rockets of rocket and space technology were created — rockets R1, R5 and R7.

The conclusions emphasize the exceptional combat importance of the Russian triad of strategic nuclear forces in modern conditions.

Keywords. intercontinental ballistic missiles, jet technology, missile system, fuel components, thermonuclear charge.

Посвящается Сергею Павловичу Королеву

Фундамент для отечественных работ по ракетной технике был заложен в предвоенное время. Исследования в области ракетной техники в начале 30-х годов в основном были сосредоточены в Газодинамической лаборатории (ГДЛ) в Ленинграде и Группе изучения реактивного движения (ГИРД) в Москве.

В 1933 году произошло объединение ГДЛ и ГИРД, в результате которого был образован Реактивный научно-исследовательский институт (РНИИ) под руководством бывшего на-

чальника ГДЛ И.Т. Клейменова. Вскоре РНИИ из ведомства Народного комиссариата по военно-морским делам был переподчинен Народному комиссариату тяжелой промышленности и переименован в НИИ — 3 НКТП [1].

В СССР располагали информацией о работах в Германии. Например, Управление вооружений РККА имело доклад Р. Энгеля «Историческое развитие ракетной техники», в котором давался обзор достижений по разработке реактивных двигателей в Германии. В докладе упоминалось

участие в работах по реактивной технике в 1930 г. студента-техника Вернера фон Брауна.

Таким образом, советское руководство было своевременно предупреждено о германских работах над баллистической и крылатой ракетами. Еще в 1935 году Вилли Леман (прообраз знаменитого Штирлица) присутствовал на испытаниях прототипов будущих ракет Фау-1 и Фау-2. Информация была доложена И.В. Сталину, но не получила должной оценки. Более того, в 1937–1938 гг. руководство РНИИ было арестовано и советские разработки в области жидкостных ракет резко замедлились [2].

Напротив, в Германии исследования шли с большим размахом. В строительство центра в Пенемюнде в период 1937–1940 гг. было вложено 550 млн марок, а в оснащении центра новейшей измерительной аппаратурой и испытательным оборудованием участвовали все ведущие электро- и радиотехнические фирмы Германии. Численность основного персонала Пенемюнде превышала 15 тысяч человек.

В Советском Союзе в техническом плане работы предвоенного периода, в силу указанных обстоятельств, не достигли уровня, который бы позволил создавать баллистические ракеты дальнего действия. Тем не менее в это время сформировались научные и инженерные школы, которые впоследствии сыграли решающую роль в развитии ракетной техники. Так, в НИИ-3 работали В.П. Глушко, С.П. Королев, Ю.А. Победоносцев, Б.В. Раушенбах.

Толчком для развертывания в СССР широкомасштабных работ по созданию баллистических ракет стало боевое применение Германией ракет А-4 (Фау-2) в заключительный период Второй мировой войны.

Исследования по созданию баллистических ракет в СССР и США велись практически параллельно, причем обе стороны использовали немецкий опыт. Весной 1945 года союзники начали готовить секретные миссии, чтобы первыми захватить немецкий научно-технический задел. Американцы сумели опередить наши войска, захватив подземный завод «Миттельверк», производивший сборку ракет Фау-2. Город Нордхаузен, где находился завод, в соответствии с разграничением зон оккупации должны были занять советские войска, и американцы впоследствии были вынуждены отойти. Но при этом они

захватили образцы (опытные и серийные) ракет, ценные архивы, большую часть оборудования и около 500 ведущих специалистов-ракетчиков во главе с В. фон Брауном и генерал-майором Вермахта В. Дорнбергером, немецким инженером-администратором, одним из основателей тяжелого ракетного машиностроения в нацистской Германии. С 21 по 31 мая 1945 г. из Нордхаузена американцами было вывезено имущество в 341 товарном вагоне [3].

Ракета А-4 на тот период, по мнению специалистов, являлась высшей точкой мировых ракетных исследований. Она имела следующие параметры: длина — 14,3 м, диаметр — 1,65 м, масса — 12910 кг. Ракета развивала скорость 1620 м/с, неся заряд в 720 кг амотолы на дальность до 380 км [4].

Надо отметить, что в советских Вооруженных силах существовала структура, которая непосредственно была заинтересована в развитии ракетной техники. Речь идет о Гвардейских минометных частях (ГМЧ), созданных во время войны. Руководство ГМЧ, в лице члена военного совета генерал-майора Л.М. Гайдукова, настаивало на необходимости подробного изучения опыта Германии в области создания ракетной техники и развертывания аналогичных работ в СССР.

Под руководством Л.М. Гайдукова в августе 1946 года начала работу в Германии советская Межведомственная комиссия в состав которой вошли ведущие конструкторы и академики — В.И. Кузнецов, В.П. Мишин, Н.А. Пилюгин. Этой комиссией и инженерами ГАУ была проведена большая работа по сбору образцов ракетной техники, отдельных узлов и документации [5].

Советская Межведомственная комиссия высоко оценила результаты немецких исследований. Так, в докладе Специального комитета по реактивной технике в ЦК ВКП(б) от 12 декабря 1946 года было отмечено: «...проведение широких научно-исследовательских и опытных работ позволило немцам получить результаты, являющиеся новейшими достижениями в мировой технике» [5].

Освоение немецкого опыта и развертывание широкомасштабных отечественных работ создало предпосылку для серьезной организации ракетного производства.

Постановление Совета Министров СССР № 1017-419сс «Вопросы реактивного вооружения» от 13 мая 1946 года стало формальным началом Государственной программы в области создания баллистических ракет дальнего действия.

Этим постановлением был создан авторитетный правительственный орган — Специальный комитет при Совете Министров СССР под председательством Г.П. Маленкова. Главным министерством по разработке и производству реактивных снарядов с жидкостными двигателями стало Министерство вооружений. В головном и смежных министерствах создавались Главные управления или Управления по ракетной технике. В Министерстве Вооруженных Сил СССР были созданы: Управление реактивного вооружения в составе Главного артиллерийского управления, Государственный центральный полигон реактивной техники, Научно-исследовательский институт по реактивному вооружению (НИИ-4). В Госплане Совмина СССР был образован отдел по реактивному вооружению. Для разработки ракет с жидкостными двигателями был создан НИИ реактивного вооружения (НИИ-88). В конструкторском бюро этого института трудился С.П. Королев [5].

В целом Постановлением Совета Министров от 13 мая 1946 года была сформирована вся инфраструктура будущей ракетной отрасли.

На начальном этапе работы, в ходе которой широко использовался опыт немецких специалистов и трофейное оборудование, была собрана партия ракет Фау-2, примененных для испытательных пусков в 1947–1948 гг.

Испытания ракет Фау-2 показали ряд конструктивных и эксплуатационных недостатков. Их устранение требовало изменения конструкции ракет. Однако, по мнению И.В. Сталина, иностранная техника должна воспроизводиться в точности, без всяких изменений и улучшений. Поэтому первая отечественная баллистическая ракета Р-1, по существу, была копией ракеты Фау-2 [2].

Постановлением правительства от 25 ноября 1950 года ракетный комплекс, получивший индекс 8А11 с ракетой Р-1, был принят на вооружение. Ракета Р-1 оснащалась зарядом обычного ВВ массой 785 кг и при максимальной дальности стрельбы 270 км обеспечивала точность попада-

ния 5 км по дальности и 4 км в боковом направлении [6].

Уже в 1946 году параллельно с освоением Фау-2 и разработкой Р-1 начались исследования по созданию комплекса Р-2, обладающего значительно улучшенными характеристиками. Так, на ракете Р-2 была впервые применена отделяемая головная часть и несущий бак горючего. Для увеличения тяги двигателя главный конструктор В.П. Глушко предложил повысить концентрацию этанола и давление в камере сгорания, а также увеличить число оборотов турбины. Новый двигатель РД-101 имел уменьшенную в 1,4 раза массу, более современные пневмогидравлическую и электрические схемы, парогенератор с твердым катализатором вместо жидкого [7].

Максимальные отклонения головной части Р-2 по дальности и направлению составили 8×4 км.

Хотя заказчик — Министерство обороны — в целом был удовлетворен результатами работы, тем не менее требовалось значительно увеличить дальность полета ракеты и отказаться от жидкого кислорода в качестве окислителя.

В соответствии с Постановлением правительства от 4 декабря 1949 года «О плане научно-исследовательских работ» НИИ-88 было поручено выполнить три научно-исследовательские темы по перспективам развития ракет: темы Н-1, Н-2 и Н-3.

Темой Н-1 предусматривалась разработка экспериментальной ракеты Р-3А на базе Р-2 с целью создания новой ракеты Р-3 с дальностью полета 3000 км. Темой Н-2 исследовалась возможность создания баллистических ракет на высококипящих компонентах топлива, устраняя недостатки низкокипящего жидкого кислорода. Тема Н-3 включала исследования перспективы создания межконтинентальных баллистических ракет.

В рамках выполнения темы Н-1 было решено вместо ракеты Р-3А разработать боевую ракету Р-5 с дальностью полета 1200 км при стартовой массе 28 т и головной части 1,5 т [8].

Проект ракеты Р-5 был подготовлен к октябрю 1951 года, а летные испытания начались 15 марта 1953 года [6]. К концу летно-конструкторской отработки Р-5 появилась возможность оснащения ракеты ядерным боезарядом. 2 февраля 1956 года в СССР был произведен

первый экспериментальный пуск баллистической ракеты Р-5М, оснащенной ядерной боеголовкой. Стартовав с полигона Капустин Яр и преодолев расстояние в 1200 км, ракета достигла цели в районе озера Балхаш где произошел ядерный взрыв мощностью 80 кт. После успешных испытаний ракетный комплекс Р-5М был принят на вооружение 21 июня 1956 года. Это позволило взять под прицел стратегические цели в Европе.

В работах по теме Н-2 была доказана возможность создания компактных баллистических ракет с высококипящим окислителем — смесью азотной кислоты с окислами азота (АК-20) и горючим ТГ-2 (топливо ГИПХ (Государственный институт прикладной химии в Ленинграде)) или керосином (Т1). Была предложена ракета Р-11 с дальностью, соответствующей Р-1, но с массой почти втрое меньшей, при одинаковой полезной нагрузке. Эта ракета была принята на вооружение в апреле 1958 года.

Работы НИИ-88 по теме Н-3 под руководством С.П. Королева вылились в серьезные исследования возможности создания межконтинентальных баллистических и крылатых ракет. Так, в докладной записке конструктор, указывал «...проведенные предварительные исследования показывают техническую реальность и возможность создания управляемых ракет с дальностью полета 6–8 тыс. км, при весе полезной нагрузки 2 т.» [8].

Постановлением правительства от 13 февраля 1953 года с целью развития работ по ракетам дальнего действия были открыты две новые темы Т-1 и Т-2.

Т-1 предусматривала теоретические и экспериментальные исследования по разработке управляемой двухступенчатой баллистической ракеты с межконтинентальной дальностью полета, Т-2 — те же цели только для крылатых ракет.

Тема Т-1 по сути вылилась в опытно-конструкторскую работу по созданию баллистической межконтинентальной ракеты Р-7. После первого испытания термоядерного боезаряда в 1953 году было пересмотрено техническое задание на ракету Р-7, первоначально рассчитанную на доставку обычного атомного боеприпаса массой 3 т. В октябре 1953 года проектная масса полезного груза была увеличена до 5,5 т для размещения на ней термоядерного заряда.

По теме Т-2 было принято решение о передаче работ по крылатой межконтинентальной ракете в Министерство авиационной промышленности. Задание на проектирование крылатых ракет большой дальности было выдано ОКБ-301 С.А. Лавочкина (ракета «Буря») и ОКБ-23 В.М. Мясищева (ракета «Буран»). Разработка по обоим проектам была начата в 1954 году. В 1957 году программа «Буран» была закрыта решением правительства. Крылатые ракеты появились на вооружении в СССР в начале 1960-х годов.

Ракета Р-7 стала не только первой в мире межконтинентальной баллистической ракетой (МБР). Она стала первой космической ракетой-носителем. Несколько модифицированными вариантами ракеты 4 октября и 3 ноября 1957 года были выведены на орбиту первые в мире искусственные спутники Земли ПС-1 и ПС-2.

Боевая эффективность первых МБР типа Р-7 и Р-7А была недостаточной. Основной минус в то время заключался в большом времени предстартовой подготовки. Так, заправка ракет компонентами топлива происходила непосредственно перед пуском. При норме 170 т из-за потерь при заправке требовалось подвести к ракете 400 т жидкого кислорода. Общее время подготовки к старту первоначально достигало 12 часов, а боеготовность ракетного комплекса сохранялась не более 8 часов [9]. Этот недостаток, плюс невысокая точность поражения цели, делали эти ракеты главным образом средством психологического воздействия на США.

Дальнейшее развитие стратегического ракетного вооружения СССР было связано с совершенствованием ракетных комплексов для повышения их боевых возможностей.

Выводы

В 1950-х годах в СССР начала формироваться триада стратегических ядерных сил: авиационные бомбардировочные системы, межконтинентальные баллистические ракеты и атомные подводные лодки с баллистическими или крылатыми ракетами. На первых порах предпочтение отдавалось стратегической бомбардировочной авиации. С середины 50-х годов на первый план стали выходить ракетные программы, которые

и составили основу стратегических ядерных сил Советского Союза.

Эта основа продолжает оставаться эффективным сдерживающим фактором внешней агрессии против нашей страны. И это признают трезво оценивающие обстановку в зоне СВО западные политики — «...нельзя победить державу, имеющую ядерное оружие» (из высказывания премьер-министра Венгрии Виктора Орбана «... у меня не хватает фантазии вообразить, что кто-то может победить ядерную державу», 05.05.2023).

Литература

1. Ракетные войска стратегического назначения; [Под ред. Ю.П. Максимова]. ЦИПК, 1992. С. 12–14.

2. Судариков А.М., Фролов М.И. Роль ленинградских ученых в создании военно-про-

мышленного комплекса в 1945–1955 гг. СПб.: ЛГУ им. А.С. Пушкина, 2010. 336 с.

3. Ненахов Ю.Ю. «Чудо-оружие» Третьего рейха. Минск.: Харвест, 1999. 578 с.

4. АРКК «Энергия». Д. 101. Л. 51–53; Д. 86. Л. 181–182.

5. Мишин В.П. Некоторые страницы истории ракетно-космической науки и техники в послевоенный период. М.: Наука, 2001. С. 52.

6. Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П. Королева. 1946–1996. М.: Меносовполиграф. 1996. 674 с.

7. Глушко В.П. Развитие ракетостроения и космонавтики в СССР. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1987. 304 с.

9. Ветров Г.С. С.П. Королев и его дело. Свет и тени в истории космонавтики. М.: Наука, 1998. 716 с.

10. Первов М.А. Ракетное оружие РВСН. М.: Из-во «Виоланта», 1999. 288 с.

УДК: 623.46.017

DOI: 10.53816/20753608_2024_1_154

**СПОСОБЫ СТАБИЛИЗАЦИИ РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ РСЗО
(РЕТРОСПЕКТИВА; ОБЪЕКТИВНЫЕ И СУБЪЕКТИВНЫЕ ФАКТОРЫ,
ПОВЛИЯВШИЕ НА СПОСОБ СТАБИЛИЗАЦИИ РЕАКТИВНЫХ
СНАРЯДОВ РСЗО). ЧАСТЬ 1**

(К 60-летию принятия на вооружение РСЗО «Град»)

**MRLS ROCKET PROJECTILES STABILIZING METHODS (RETROSPECTIVE;
OBJECTIVE AND SUBJECTIVE FACTORS THAT INFLUENCED THE METHOD
OF MRLS ROCKET PROJECTILES STABILIZING). PART 1**

(To the 60th anniversary of the adoption of the Grad MRLS)

По представлению чл.-корр. РАРАН Б.Э. Кэрта

В.В. Ерохин, М.Е. Долганов, Б.А. Авотын

АО «НПО «СПЛАВ» им. А.Н. Ганичева

V.V. Erokhin, M.E. Dolganov, B.A. Avotyn

Статья посвящена трем периодам развития отечественных реактивных систем залпового огня (РСЗО), в которых последовательно применялись аэродинамический (снаряды М-13), турбореактивный (снаряды М-14-ОФ) и снова аэродинамический (снаряды 9М22) способы стабилизации реактивных снарядов (РС) РСЗО на траектории. Важной подсистемой РСЗО является подсистема пуска РС — боевая машина (БМ), требования к которой (в истории с рождением РСЗО «Град») непосредственно влияют на конструктивное исполнение узлов стабилизации подсистемы поражения РСЗО — РС. Способ стабилизации также диктуется требуемой дальностью стрельбы и характеристиками рассеивания. Иногда может директивно задаваться для использования уже отработанных конструктивных схем. И, безусловно, отпечаток на конструкцию снаряда накладывают компетенции головного предприятия-разработчика, смена которого может коренным образом изменить облик образца.

Ключевые слова: реактивные системы залпового огня, методы стабилизации реактивных снарядов на траектории, рассеивание реактивных снарядов

The article is devoted to three periods of development of indigenous multiple rocket launcher systems (MRLS), in which aerodynamic (M-13 projectiles), turbojet (M-14-OF projectiles) and again aerodynamic (9M22 projectiles) MRLS rocket projectiles (RPs) stabilizing methods were successively used on the trajectory. An important subsystem of the MRLS is the RPs launch subsystem — launch vehicle (LV), the requirements for which (in the history of the creation of the MRLS «Grad») directly affect the design of the stabilization units of the MRLS destruction subsystem — RPs. The stabilizing method is also determined by the required firing range and measures of dispersion. Sometimes it can be prescriptively specified for the use of already proven design schemes. And, of course, the competence of the parent company-developer leaves an imprint on the design of the projectile, the change of which can radically change the appearance of the sample.

Keywords: multiple rocket launcher systems, stabilizing methods for rocket projectiles on their trajectory, dispersion of rocket projectiles.

Первая РСЗО (по современной терминологии) для Сухопутных войск (СВ) со 132-мм оперенными снарядами М-13 (рис. 1) разработки НИИ-3 Народного комиссариата боеприпасов принята на вооружение в самом начале войны. Постановление Совнаркома СССР о серийном производстве реактивного оружия было принято 21 июня 1941 года, т.е. за день до начала войны. Постановлениями Государственного Комитета Обороны СССР (ГКО) персональная ответственность за производство реактивных снарядов была возложена на наркома боеприпасов Б.Л. Ванникова, а за производство боевых установок — на наркома комиссариата минометного вооружения (до ноября 1941 года — наркомата общего машиностроения) П.И. Паршина.

Для БМ-13 коллективы НИИ-3 (до 1937 года — РНИИ) и НИИ-6 Народного комиссариата боеприпасов провели доработку авиационных РС-82 и РС-132, в частности, увеличили длину

пороховых шашек. Дальность полета снаряда М-13 возросла до 8,5 км (с 6 км у РС-132) при одновременном увеличении массы боевой части снаряда [1].

Для улучшения кучности снаряда изменили конструкцию опорной диафрагмы, что уменьшило и стабилизировало выброс несгоревших частиц пороха, и увеличили жесткость стабилизаторов снаряда (заменой литых дюралевых штампованными стальными с продольными гофрами).

Устранили случаи отказов воспламенения зарядов (миткалевый картуз воспламенителя заменили на влагоустойчивый жесткий футляр и ввели дублирование системы зажигания). Общий вид реактивных снарядов М-13 и М-8 (рис. 2).

Заряды для реактивных снарядов, первоначально изготавливаемые из пироксилин-тропилового пороха, оказались нетехнологичными, вследствие чего их испытания в 1933 году

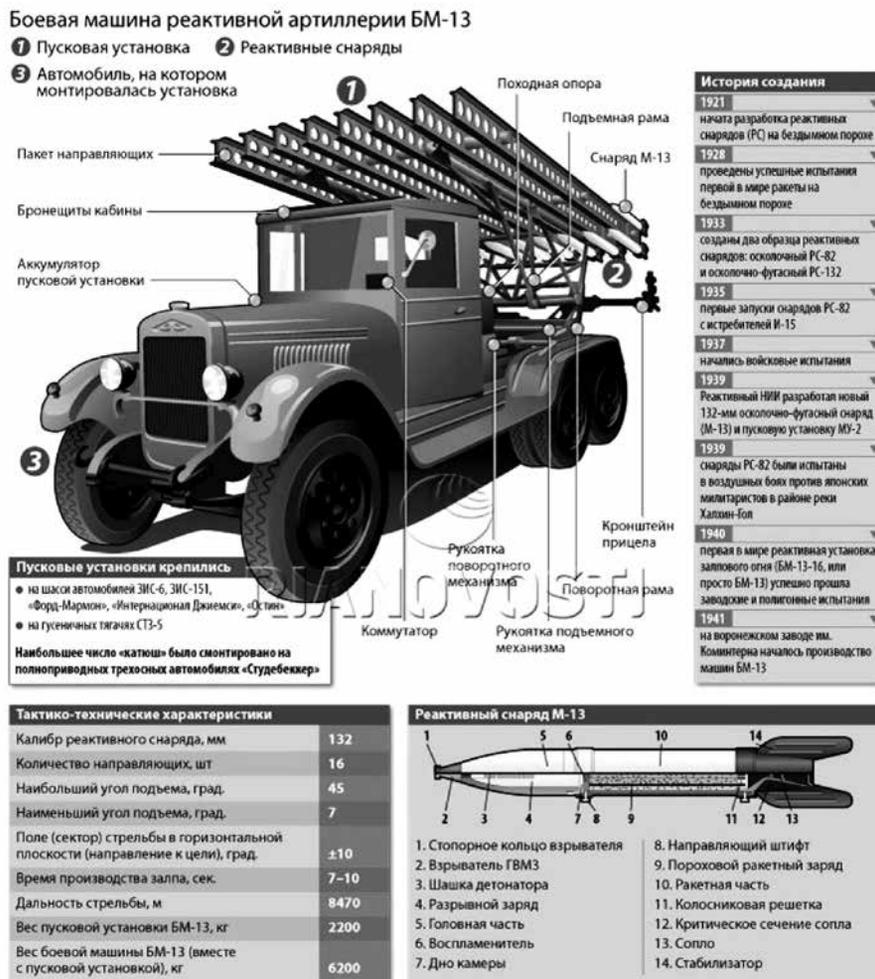


Рис. 1. БМ-13 со снарядом М-13 (использован слайд сайта magspace.ru/uploads/usr-obj/2011)

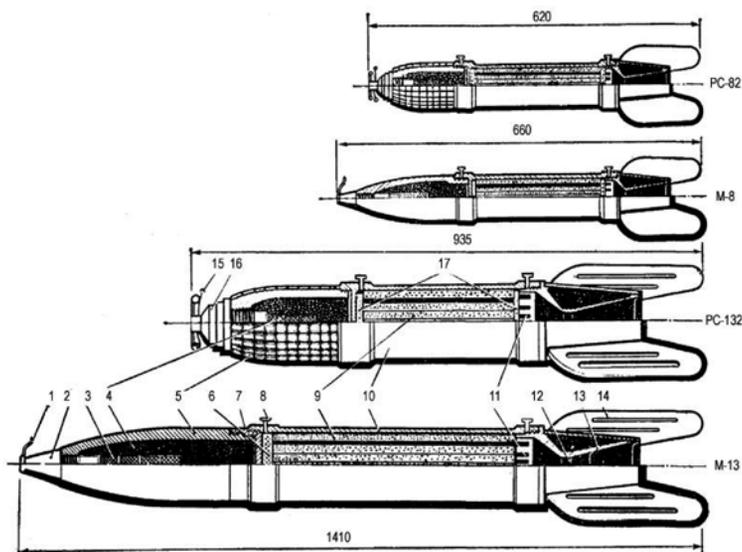


Рис. 2. Сравнительные характеристики авиационных РС (РС-82 и РС-132) и РС М-8 и М-13 для БМ-13:
1 — стопорное кольцо взрывателя; 2 — взрыватель; 3 — шашка детонатора; 4 — разрывной заряд;
5 — головная часть; 6 — воспламенитель; 7 — дно камеры; 8 — направляющий штифт; 9 — пороховой ракетный заряд; 10 — ракетная часть; 11 — диафрагма; 12 — критическое сечение сопла; 13 — сопло;
14 — стабилизатор; 15 — чека дистанционного взрывателя; 16 — дистанционный взрыватель АГДТ;
17 — воспламенитель

прекратились. Под руководством А.С. Бакаева (сотрудника, последовательно, Народного комиссариата оборонной промышленности; завода № 98 (Пермский пороховой); завода № 512 (ФЦДТ «Союз»), разработаны нитроглицериновые баллиститные пороха. Характеристики заряда РС М-13 на новом баллиститном порохе Н (плотность заряжания, показатель интенсивности, коэффициент массового совершенства) приняты за базу оценки научно-технического прогресса в области ракетостроения на твердом топливе [2].

Во время войны немцы также развивали этот новый (точнее говоря, вновь возрожденный) вид оружия. К концу войны ракетной техникой в Германии и оккупированной Чехословакии занимались 9 заводов, 13 НИИ, в том числе крупнейшая фирма Rheinmetall-Borsig [3]. Немцы пошли по пути увеличения мощности гидравлических прессов, дойдя до изготовления гигантских «мамонт-прессов» около 14 м высотой и массой до 100 т.

В Советском Союзе был избран принципиально другой путь — создание непрерывной шнековой технологии изготовления ракетных порохов. Эта технология имела не только во много раз большую производительность, чем гидро-

прессовая, но и сняла практически все ограничения по габаритам выпускаемых пороховых элементов. Крайне важное практическое значение имел также принцип унификации ракетных зарядов целой гаммы реактивных снарядов (М-13, М-20, М-31, М-13ДЦ, М-13УК).

Первый немецкий реактивный миномет Neberwerfer («туманомет») создан в 30-х годах. Это была 6-ствольная пусковая установка, которая монтировалась на колесном лафете от противотанковой пушки Pak 35/36. Стволы поворачивались на 27° по горизонтали и от -4° до +45° — по вертикали. Применялась 150-мм реактивная мина массой 36–39 кг с дальностью полета до 6,9 км, 2 кг взрывчатого вещества находились в хвостовой части мины. Убойный интервал осколков составлял 30 м по боку и до 13...15 м — по направлению.

В движение мина приводилась пороховым зарядом, продукты горения которого истекали через 28 сопел, расположенных под углом в 14°, придавая вращение мине вокруг своей оси с высокой скоростью.

30 июня 1941 года нарком общего машиностроения П.И. Паршин обязал завод № 733 «Компрессор» (г. Москва) наладить серийное производство БМ-13 на заводах страны. 23 июля

1941 года завод изготовил и направил на полигонные испытания БМ-13-16 по чертежам своего СКБ. В августе 1941 года БМ-13-16 была принята на вооружение Красной Армии, а отработанные в СКБ чертежи утверждены для серийного производства.

С февраля 1942 года (как только в СССР поступили первые партии автомобилей по ленд-лизу) СКБ при заводе № 733 (уже Комиссариата минометного вооружения) развернуло работы по созданию пусковых установок на шасси автомашин Додж, Шевроле, Студебеккер, Интернешнл, Форд-Мармон, Бедфорд, Бантам. Наибольшее распространение для монтажа пусковых установок получили автомашины Студебеккер, Интернешнл, Форд-Мармон. На базе последней машины монтировалось большинство 48-зарядных установок БМ-8 под РС М-8 [4].

НИИ-3 должен был осуществлять авторский надзор за производством образцов, модернизировать их. Однако...

15 июля 1942 года Наркомату авиационной промышленности Постановлением Государственного комитета обороны было поручено разработать реактивный истребитель-перехватчик. Под реализацию этой идеи НИИ-3, эвакуированный в г. Свердловск, был реорганизован в Государственный институт реактивной техники (ГИРТ) при Совете Народных комиссаров СССР (СНК), резко снизивший активность в разработке пороховых РС для Сухопутных войск. Реактивные снаряды стали проектировать сами военные.

В августе 1941 года на Ленинградском фронте противник впервые применил 280-мм фугасные реактивные мины. Военный совет Ленинградского фронта выдал задание начальнику Артиллерийского научно-исследовательского

опытного полигона (АНИОП, ст. Ржевка) военинженеру 1 ранга Ивану Николаевичу Оглоблину разработать нашу мину того же типа. Рабочая группа АНИОП по разработке нового изделия (начальник — военинженер 1 ранга Сергей Михайлович Серебряков) в конце января 1942 года разработала РС М-28 (рис. 3), производившийся в дальнейшем предприятиями осажденного Ленинграда. Тяжелый снаряд М-28 с боевой частью, снаряженной 45,4 кг амматола, при падении на грунт средней плотности образовывал воронку диаметром около 7 м и глубиной около 2 м. Облегченный снаряд с 30 кг амматола 80/20 при взрыве в грунте образовывал воронку диаметром около 5 м и глубиной около 1,5 м.

В начале 1942 года на Ленинградском фронте были захвачены несколько 320-мм реактивных мин противника. Главное управление вооружения гвардейских минометных частей (ГУВ ГМЧ) под руководством генерал-майора Н.Н. Кузнецова и генерал-лейтенанта В. В. Аборенкова спроектировало тяжелый реактивный снаряд М-30, аналогичный немецкому образцу, используя при этом реактивную часть снаряда М-13 (рис. 4):

- калибр снаряда — 303 мм;
- общий вес снаряда — 82 кг;
- вес жидкого ВВ «нитрол» (смесь нитробензола и окислов азота) — 27 кг;
- дальность полета — 2550 м.

Снаряд образовывал воронку диаметром около 7,5 м и глубиной до 2,5 м. Выстрел производился с помощью электрозапала из деревянного ящика, который одновременно служил и укупоркой для снаряда при перевозках. Для залповой стрельбы снарядами М-30 применялся прибор управления огнем от боевой машины БМ-13, что давало одному человеку возможность произвести пуск 32-х снарядов за 4...5 с.

Постановлением ГКО № 1867сс от 04.06.1942 фугасный реактивный снаряд М-30 принимался на вооружение и устанавливался план производства новых снарядов: в июне — 10000 выстрелов, в июле — 50000. Командующий ГМЧ получил задачу по формированию 20 двухбатарежных отдельных гвардейских дивизионов М-30, включив их четвертыми дивизионами в полки М-13. В 1943 году для РС М-30 создан более мощный (а технологически более простой) двигатель калибра 140 мм с участием ГИРТ (РС М-31).



Рис. 3. Реактивный снаряд М-28



Рис. 4. Стоят слева направо: 300-мм реактивные фугасные снаряды М-30, М-31, М-31УК (улучшенной кучности за счет проворота снаряда). Поворот достигался установкой в центре тяжести РС четырех Г-образных итуцеров

Работы по улучшению кучности М-13 и М-31 осуществлялись ГУВ ГМЧ в содружестве с ЦАГИ под общим руководством С.А. Христиановича. В результате на проворачивающихся реактивных снарядах М-13УК и М-31УК было достигнуто снижение площади рассеивания в 3...4 раза по сравнению с М-13 и М-31.

Снаряды могли запускаться как из транспортной укупорки, так и с боевой машины БМ 31-12 (рис. 5). На БМ 31-12 впервые в отечественном ракетостроении использовались направляющие для РС М-31 сотового типа, где в каждую ячейку, образованную четырьмя 32-мм трубами длиной 3 м, вписывается окружность диаметром 306 мм.

Постановлением от 18 февраля 1944 года № 5201 ГКО ликвидировал ГИРТ при СНК СССР и организовал в Наркомате авиационной промышленности СССР Научно-исследовательский институт реактивной авиации (НИИРА). Первым начальником НИИРА стал В.И. Поликовский, а его заместителем по научной части — Г.Н. Абрамович.

Ликвидация ГИРТ была связана с невыполнением инициативной разработки реактивного самолета-перехватчика (в постановлении ГКО № 2105 от 26.07.1942 так и указано: самолет конструкции т. Костикова), для которого планировалась составная силовая установка с разгонным

ЖРД и двумя прямоточными воздушно-реактивными двигателями (ПВРД). Осенью 1943 года был построен первый экземпляр самолета, оказавшийся неудачным, а установленный ТТЗ срок разработки был сорван. ПВРД не удалось отладить, и самолет оснащали только ЖРД, что резко снизило характеристики самолета (скорость, скороподъемность, дальность) по сравнению с требуемыми.

18 февраля 1944 года главный конструктор А.Г. Костиков был освобожден от должности начальника ГИРТ. 20 февраля в отношении него было возбуждено уголовное дело, он был арестован по обвинениям в очковтирательстве и обмане государства. 19 апреля 1944 года военно-прокурорская комиссия вынесла заключение, что Костиков, Гвай и Аборенков не могут считаться авторами реактивных установок БМ-8 и БМ-13, а также реактивных снарядов РС-82 и РС-132. Однако уголовное дело в суд не было передано, а сам А.Г. Костиков освобожден из-под стражи 28 февраля 1945 года.

22 мая 1944 года Постановлением ГКО № 5946 НИИРА переименовывается в НИИ-1 Наркомата авиационной промышленности СССР (ныне — АО ГНЦ РФ «ИЦ им. М.В. Келдыша», входящий в состав предприятий Роскосмоса). Институт был ориентирован на разработку авиационных жидкостных ракетных и воздушно-реактивных двигателей. Разработку реактивных снарядов для Сухопутных войск, как непрофильную тематику, руководство Наркомата авиапрома стремилось из НИИ-1 передать. С этой целью нарком авиационной промышленности А.И. Шахурин обращался к члену ГКО Г.М. Маленкову,



Рис. 5. БМ 31-12

курировавшему разработку новых образцов оружия и военной техники, с предложением организовать Научно-исследовательский институт реактивного вооружения под руководством Ю.А. Победоносцева.

Член Военного совета Гвардейских минометных частей генерал-лейтенант Л.М. Гайдуков также представил 13 марта 1944 года Г.М. Маленкову проект постановления ГКО, предусматривающий создание в Наркомате боеприпасов специального конструкторского бюро для отработки и промышленного освоения новых образцов реактивных снарядов и совершенствования ранее созданных, а также организации конструкторского бюро по пусковым установкам на заводе № 733 Наркомата минометного вооружения.

Б.Л. Ванников (Наркомат боеприпасов) в октябре 1944 года уже подготовил проект постановления о создании ОКБ-3 для разработки реактивного вооружения под руководством Ю.А. Победоносцева.

Однако эти предложения не получили в ГКО поддержки. Тогда внутри Наркомата авиационной промышленности приказом от 11 ноября 1944 года № 655 территорию, здания, оборудование и кадры бывшего КБ завода № 482 главного конструктора А.Я. Щербакова (занимавшегося ремонтом и изготовлением деталей самолетов) во Владыкино (г. Москва) были переданы под производственную базу НИИ-1. Приказом Наркомата авиационной промышленности от 9 декабря 1944 года № 676 был образован филиал № 2 НИИ-1 во главе с Ю.А. Победоносцевым. Туда были переданы все работы института по реактивным снарядам и переведены большинство сотрудников бывшего РНИИ — НИИ-3: Ю.А. Победоносцев, В.В. Абрамов, А.В. Андрианов, В.А. Артемьев, А.Ф. Бакеев, В.Г. Бессонов, Н.П. Горбачев, В.В. Горбунов, Е.А. Печерский, Р.Е. Соркин, М.К. Тихонравов, Н.Г. Чернышев, И.В. Ярополов и другие, а из ГАУ Красной Армии в филиал переведен начальник баллистического отдела инженер-полковник Я.Б. Шор.

В филиале № 2 НИИ-1 Наркомата авиационной промышленности шли работы по сопровождению и модернизации ранее разработанных образцов реактивного вооружения Гвардейских минометных частей. Продолжались работы по увеличению дальности стрельбы РС М-13. Новый реактивный снаряд улучшенной кучности и

повышенной дальности М-13-ДД (с двухкамерным двигателем) был принят на вооружение в 1944 году.

В Московском механическом институте, сформированном в конце 1942 года в системе Наркомата боеприпасов с целью подготовки кадров для предприятий этой отрасли, по предложению и при непосредственном участии А.Д. Надирадзе, С.А. Христиановича, Я.Б. Зельдовича, Я.Б. Шора, Е.А. Ланга, Ф.Р. Гантмахера и других организован факультет «специальной боевой техники» (реактивного вооружения). В институте было организовано ОКБ по разработке реактивных боеприпасов, начальником и главным конструктором которого стал А.Д. Надирадзе.

При этом сохранялась разобщенность разработчиков РС и БМ (филиал № 2 НИИ-1 Наркомата авиационной промышленности, СКБ завода 733 Комиссариата минометного вооружения) и заводов-изготовителей (Наркомат боеприпасов).

Подведем итоги этапа развития отечественных РСЗО СВ, заканчивающегося с окончанием Великой Отечественной войны. В войну Советский Союз вступил с РСЗО, использующими оперенные снаряды. Противостоящая нам армия Германии имела на вооружении СВ реактивные минометы, использующие турбореактивные мины.

По ходу войны Советский Союз модернизировал оперенные реактивные снаряды в части увеличения могущества действия у цели и в направлении уменьшения рассеивания снарядов. При защите г. Ленинграда советские конструкторы разработали отечественные аналоги немецких турбореактивных мин, однако это направление дальнейшего развития в годы Великой Отечественной войны не получило.

Немецкие конструкторы одновременно с турбореактивными минами отработывали и оперенные снаряды (пример — зенитный снаряд «Тайфун», речь о котором пойдет ниже).

16 марта 1945 года Нарком боеприпасов Б.Л. Ванников обратился к заместителю председателя ГКО Л.П. Берии с предложениями о создании Центрального конструкторского бюро по реактивным снарядам на базе завода № 67 (бывший «Мастяжарт» — Мастерские тяжелой артиллерии).

Эти предложения наркома наконец-то получили поддержку. Верховный Главнокомандующий И.В. Сталин подписал 19 апреля 1945 года Постановление ГКО № 8206 «О создании в системе Наркомата боеприпасов Государственного центрального конструкторского бюро по ракетным снарядам (ГЦКБ № 1)». За ГЦКБ-1 с опытным заводом, созданным приказом № 158 по Наркомату боеприпасов от 21 апреля 1945 года, закреплялась тематика по специальным, осколочным, бронебойным, зенитным и авиационным реактивным снарядам. Уже 29 апреля Б.Л. Ванников своим приказом № 169 разместил новую организацию в корпусе № 5 на территории завода № 67. Возглавил ГЦКБ-1 Н.И. Крупнов, бывший до этого главным инженером ГСКБ-47 Наркомата боеприпасов. По проекту ТТТ ГАУ началось создание дальнобойного порохового реактивного снаряда дальностью 20...25 км (реализованное в дальнейшем в конструкции оперенного РС МС-20 разработки НИИ-1) [5].

Всего на начало 1946 года в СССР имелось несколько организаций, тематикой которых являлось твердотопливное ракетостроение: ГЦКБ-1 Наркомата боеприпасов, филиал № 2 НИИ-1 Наркомата авиационной промышленности, ОКБ Московского механического института и ряд других.

31 мая 1945 года ГКО принял Постановление «О проведении работ по выявлению и вывозу заводского и лабораторного оборудования, чертежей и опытных образцов немецких реактивных снарядов». В частности, этим постановлением наркому боеприпасов Б.Л. Ванникову предписывалось срочно вывезти в ГЦКБ-1 оборудование с опытного завода по твердотопливным реактивным снарядам Rheinbote фирмы Rheinmetall-Borsig для создания аналогичного производства в Москве.

Была создана Межведомственная комиссия по изучению немецкой техники (Постановление ГКО № 9475 от 8 июля 1945 года), а на территории советской оккупационной зоны Германии создан институт «Берлин» (начальник — генерал-майор Д.Г. Дятлов, главный инженер — В.П. Бармин, специалисты В.В. Абрамов, В.А. Колычев, А.М. Ляпунов, М.С. Расторгуева, Р.Е. Соркин, Н.А. Судаков и другие). Филиал института «Берлин» в Нойбранденбурге (отдел № 5, начальник — Н.И. Крупнов) занимался изучением порохо-

вых реактивных снарядов. В этом отделе работали немецкие специалисты, в частности, был приглашен доктор Буркхардт, который являлся одним из авторов разработки зенитного порохового неуправляемого снаряда «Тайфун».

13 мая 1946 г. вышло подписанное И.В. Сталиным постановление Совета Министров СССР о формировании Специального комитета № 2 по реактивной технике при Совете Министров СССР. В соответствии с постановлением Минсельхозмаш (МСХМ) определялось головным по разработке и производству реактивных снарядов с пороховыми двигателями. Предписывалось создать в МСХМ на базе ГЦКБ-1 Научно-исследовательский институт пороховых снарядов, в Минавиапроме на базе филиала № 2 НИИ-1 — Конструкторское бюро и на базе Софринского полигона — Научно-исследовательский полигон реактивных снарядов.

Вслед за постановлением СМ СССР Минсельхозмаш 15 мая 1946 года издало приказ о создании Научно-исследовательского института пороховых реактивных снарядов (НИИ ПРС), который приказом от 18 мая 1946 года переименован в НИИ-1. Совместным приказом Минавиапрома и Минсельхозмаша от 24 мая 1946 года филиал № 2 НИИ-1 Минавиапрома преобразовывался в КБ-2 Минсельхозмаша. Специально созданной Комиссией ЦК ВКП(б) разработан план работ НИИ-1 и КБ-2 (к выполнению некоторых тем предусматривалось привлечение НИИ-6, СКБ-1, ГСКБ-47 и других). Главным конструктором КБ-2 был назначен В.А. Артемьев. После января 1951 года КБ-2 возглавил Н.И. Крупнов. Отдел К-1 по разработкам РСЗО (системы и снаряда) возглавил Н.П. Горбачев.

Установлены следующие приоритетные направления работы [6]:

1. Разработка дальнобойной реактивной системы (ДРСП) с дальностью стрельбы 40...50 км. Разработчик — НИИ-1;

2. Разработка дальнобойной реактивной системы (ДРСП-1) с дальностью стрельбы 20...25 км. Разработчик — НИИ-1;

3. Разработка реактивной системы М-13А, предназначенной для замены системы М-13. Разработчик — КБ-2;

4. Разработка реактивной системы М-31А, предназначенной для замены системы М-31. Разработчик — КБ-2.

Три последние направления реализовались в РСЗО:

Начнем с направления 4. В итоге была создана реактивная система с турбореактивным снарядом М-24-Ф, который по стартовой массе и массе боевой части был близок к реактивному снаряду М-31. В основу разработки были заложены технические решения, использовавшиеся в 210-мм турбореактивном осколочно-фугасном снаряде немецкого конструктора Буркхардта, имевшем меньший стартовый вес и лучшую кучность по сравнению с М-31УК при вдвое большей максимальной дальности (9,5 против 4 км) [7]. Максимальная дальность М-24-Ф по сравнению с М-31 возросла примерно на треть и составила от 10 до 18 км, а отклонение в боковом направлении уменьшилось более чем вдвое (1/150). Рассеивание по дальности осталось примерно прежним (1/100).

При испытаниях выявился недостаток сотовых направляющих боевой машины М-31-12: за счет воздействия газовой струи при прохождении снаряда по направляющей ухудшалась кучность стрельбы. Тогда одним из отделов НИИ-1, возглавляемым Ю.Н. Хажинским, для боевой машины БМ-24 были разработаны трубчатые направляющие. Кучность оказалась в 2...3 раза лучше. Постановлением СМ СССР от 22 марта 1951 году турбореактивный снаряд М-24-Ф и боевая машина БМ-24 на шасси автомобиля ЗиС-151 приняты на вооружение (рис. 6). Эта РСЗО стала первой, принятой на вооружение после Великой Отечественной войны. Турбореактивный снаряд М-24-Ф отличался от немецкого 210-мм осколочно-фугасного снаряда более технологичной конструкцией камеры сгорания с резьбовым креплением переднего днища, применением одного воспламенителя на дымном порохе вместо двух пиротехнических, установкой свечи с пиропатроном и электрозапалом по сравнению с немецким снарядом, другой конструкцией и составом порохового заряда двигателя, иным исполнением боевой части. По кучности в боковом направлении М-24-Ф был лучше немецкого аналога в 2,5 раза, по дальности — на 17 %.

Направление 3. С целью усовершенствования штатной реактивной системы М-13 КБ-2 с августа 1946 года велась разработка усовершенствованного оперенного реактивного снаряда М-13А с использованием трофейной немецкой

документации и полевой реактивной системы М-14 под 140-мм турбореактивный снаряд. При этом Постановлением ЦК КПСС и СМ СССР от 14 апреля 1948 года задавалось дополнительное требование об использовании новых РС с существующих пусковых установок (БМ-13Н), что было проблематичным для турбореактивных снарядов (ТРС), показавших преимущества перед РС М-13А. Только 27 декабря 1949 года Постановлением СМ СССР, наконец, была задана проработка новой пусковой установки под ТРС. Работы возобновились, но шли недостаточно быстро и их вместе с соответствующими специалистами из КБ-2 передали в НИИ-1 Минсельхозмаша.

КБ-2 постановлением СМ СССР от 15 декабря 1951 года преобразовали в Государственный союзный НИИ № 642 (ГСНИИ-642), объединили с заводом № 67, изменив тематику разработок на создание противокорабельных авиационных управляемых крылатых ракет семейства «Щука», самонаводящихся и управляемых авиационных бомб, а также зенитных неуправляемых реактивных снарядов (руководитель А.Д. Надирадзе).

Доработанный в НИИ-1 турбореактивный снаряд М-14 ОФ (осколочно-фугасный) для БМ-14 с 16 направляющими на шасси автомобиля ЗиС-151 был принят на вооружение постановлением Совета Министров (СМ) СССР № 4964 -1235 от 25 ноября 1952 года. Он весил 39,62 кг, головная часть — 18,8 кг. Длина снаряда — 1090 мм (рис. 7). Среднее отклонение: по дальности 1/200; по боку 1/90.

Направление 2. Разработка оперенного ДРСП-1 возлагалась на НИИ-1 МСХМ (директор Д.Г. Дятлов) Постановлением СМ СССР



Рис. 6. БМ-24 на базе автомобиля ЗиС-151 (с сайта arsenal-info.ru)

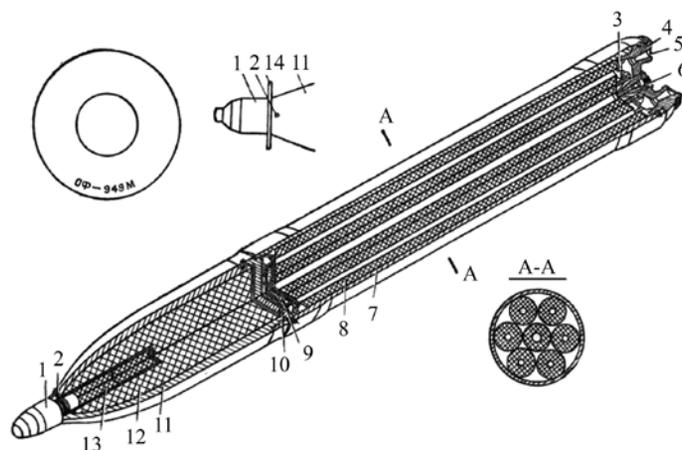


Рис. 7. 140-мм турбореактивный осколочно-фугасный снаряд М-14-ОФ: 1 — взрыватель; 2 — винт стопорный; 3 — диафрагма; 4 — сопловое дно; 5 — герметизирующее кольцо; 6 — свеча; 7 — ракетная камера; 8 — пороховой заряд; 9 — воспламенитель; 10 — дно; 11 — корпус головной части; 12 — разрывной заряд; 13 — дополнительный детонатор; 14 — тормозное кольцо

от 7 мая 1947 года и на ГСКБ «Спецмаш» Министерства машиностроения и приборостроения (ММиП) (главный конструктор В.П. Бармин) как разработчика боевой машины по ТТТ ГАУ от 12 мая 1947 года. Фактически НИИ-1 завершил работы, начатые в инициативном порядке ГЦКБ-1 еще в 1945 году. Использовать схему турбореактивного снаряда в данном случае не представлялось возможным, поскольку для турбореактивных снарядов удлинение (отношение длины снаряда к калибру) не может превышать величину 5...5,5; что ограничивало их дальность в выбранном калибре.

Постановление ЦК КПСС и СМ СССР о разработке реактивного оперенного дальнобойного фугасного снаряда МД-20-Ф вышло 27 декабря 1949 года. Отработка снаряда и пусковой установки завершилась принятием на вооружение реактивной системы залпового огня (Постановление ЦК КПСС и СМ СССР от 22 ноября 1952 года). При этом РСЗО получила наименование МД-20 (4 направляющих (рис. 8)), фугасный реактивный снаряд — МД-20-Ф, а боевая машина — БМД-20. В ДРСП-1 реализован проворот 200-мм снаряда МД-20-Ф в полете с целью уменьшения влияния эксцентриситета вектора тяги. Для этого 6 из 7 его сопел были наклонены на 5° в окружном направлении, что позволило уменьшить потери тяги двигателя, свойственные РС М-13 УК и М-31 УК с их Г-образными штуцерами закрутки до 0,4 %. Для обеспечения проворота реактивного снаряда при движении

по направляющей в последней предусмотренная спиральная канавка, а на заднем центрирующем утолщении корпуса снаряда устанавливался ведущий штифт. Максимальная дальность стрельбы при нормальных условиях составляла 18,75 км [8]. РСЗО была принята на вооружение Советской армии на основании Постановления Совета Министров СССР № 4965-1936сс от 22 ноября 1952 года.

Система МД-20 состояла на вооружении до замены ее системой «Град» в 1963 году.

Таким образом, в 1947–1959 гг. НИИ-1 (с участием КБ-2) было создано второе поколение РСЗО, оснащенное турбореактивными снарядами М-14-ОФ и М-24-Ф. Опыт разработки и эксплуатации ТРС показал, что они обладают высокой боевой эффективностью, безопасностью и удобством обращения, и вполне конкурентоспособны по сравнению с оперенными РС при дальностях до 15 км. Так, шасси ЗиС-151 — в варианте боевой машины БМД-20 — несло всего четыре 200-мм оперенных снаряда МД-20, а в варианте боевой машины БМ-24 на нем же удалось разместить двенадцать 240-мм турбореактивных снарядов М-24-Ф. Однако надежды на значительное уменьшение рассеивания в отношении ТРС не оправдались. Отклонение по дальности не удалось уменьшить до величин менее 1/100, в боковом направлении — менее 1/200, т.е. до уровня ,близкого к МД-20-Ф. Причина была в том, что не удалось обеспечить статическую и динамическую сбалансированность ТРС

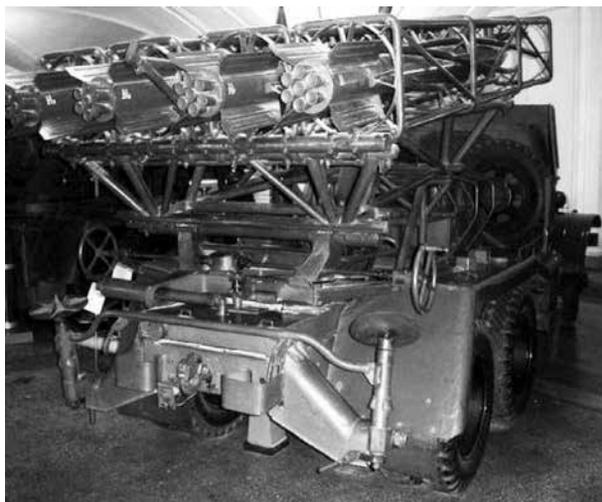


Рис. 8. РСЗО МД-20

из-за недостаточной точности изготовления корпусов и применения свободно уложенных многошашечных пороховых зарядов. Недостаточной была и жесткость пусковых систем — люфты в механизмах наведения пакетов направляющих приводили к нежелательным колебаниям, особенно при залповых пусках.

Определенным диссонансом в перечне РСЗО рассматриваемого периода с их турбореактивными снарядами является разработка швейцарских фирм, накопивших определенный опыт в создании реактивных снарядов, благодаря тесному сотрудничеству с германской промышленностью в годы Второй мировой войны. Например, разработанная фирмой Oerlikon неуправляемая авиационная ракета Oerlikon-8 имела жестко закрепленное хвостовое оперение, в 50-х годах XX века замененное на раскрывающееся в полете хвостовое оперение (рис. 9). Для этого снаряда разработана пусковая установка (ПУ) Туре RWK под различные носители (например, для шасси машин M113 и MOWAG).

Итак, отечественный послевоенный этап развития РСЗО, связанный в основном с использованием турбореактивных снарядов, характеризовался повышенными требованиями к дальности и снижению рассеивания снарядов при стрельбе. Росли габариты снарядов в условиях ограничений турбореактивных снарядов по длине. Одновременно продолжалось развитие конструкций снарядов, стабилизируемых

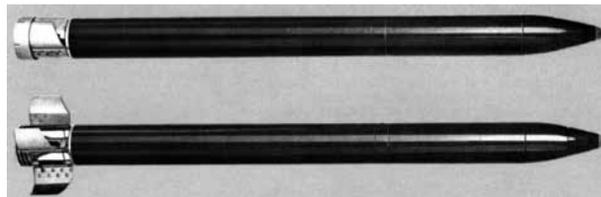


Рис. 9. НАР «Oerlikon -8» (50% рассеивание при стрельбе на 8000 м — 10%) [9]

аэродинамическим оперением, жестко закрепленным на корпусе снаряда. Возникли проблемы с их размещением на боевой машине — первый пример РСЗО МД-20. На БМ размещалось 4 снаряда. Второй пример — тактический комплекс «Коршун», в котором на БМ размещалось 6 снарядов.

Литература

1. Победоносцев Ю.А., Кузнецов К.М. Первые старты. М.: Изд-во ДОСААФ, 1972. 72 с.
2. Беляев Т. Ф. История создания и основные характеристики ракетных зарядов к реактивным снарядам Советской армии периода Великой Отечественной войны (на правах рукописи). 1985. 72 с. <https://yadi.sk/i/zr1Vil-fY2Lqd> (дата обращения: 11.12.23).
3. Соколов А.И. и др. Отчет комиссии по изучению германского реактивного вооружения. Управление вооружения гвардейских минометных частей ГАУ КА. Сентябрь 1946. Москва.
4. Макаров М.Л., Коломиец М.В. Реактивная артиллерия Красной Армии 1941–1945. М.: Изд-во Стратегия КМ, 2005. 72 с.
5. Качур П. Истоки отечественного твердотопливного ракетостроения // Техника и вооружение. 2006. № 8. С. 7–14.
6. Качур П. Истоки отечественного твердотопливного ракетостроения // Техника и вооружение. 2006. № 9. С. 2–11.
7. Шунков В.Н. Энциклопедия реактивной артиллерии. Минск: ОАО «Полиграфкомбинат им. Я. Коласа». 2004. 543 с.
8. Ангельский Р. Непотерянное поколение // Техника и вооружение вчера, сегодня, завтра». 2002. № 09–10. С. 2–10.
9. Machine Tool Works Oerlikon — Buhrle Ltd. CH-8050 Zurich/Switzerland WWW 500 030 E 1975. 14 p.

УДК: 623.61

DOI: 10.53816/20753608_2024_1_164

**РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ
ОПОРНОЙ СЕТИ ПРОВОДНОЙ СВЯЗИ ГЕНЕРАЛЬНОГО ШТАБА
В ХОДЕ БИТВЫ ЗА ЛЕНИНГРАД (1941–1944 гг.)**

**SOLVING THE PROBLEM OF INCREASING THE STABILITY
OF THE MAINLINE WIRED COMMUNICATION NETWORK
OF THE GENERAL STAFF DURING THE BATTLE OF LENINGRAD (1941–1944)**

Чл.-корр. РАРАН А.П. Жарский¹, чл.-корр. РАРАН А.М. Сазыкин², чл.-корр. РАРАН В.Н. Шептура³

¹НИО НИИ (ВИ) ВАГШ ВС РФ, ²АО «НПО Спецматериалов», ³ВАГШ ВС РФ

A.P. Zharsky, A.M. Sazykin, V.N. Sheptura

В статье освещаются мероприятия Главного управления связи Красной армии по повышению устойчивости проводной связи Генерального штаба в ходе Битвы за Ленинград (1941–1944) — с Ленинградским фронтом (прокладка обходной линии через Ладожское озеро) и Карельским фронтом (прокладка через горло Белого моря специального морского бронированного телеграфного кабеля).

Ключевые слова: Генеральный штаб, Ленинградский фронт, Карельский фронт, проводная связь, бронированный кабель связи, Ладожское озеро, Белое море.

The article highlights the activities of the Main Directorate of Communications of the Red Army to increase the stability of wired communications of the General Staff during the Battle of Leningrad (1941–1944) — with the Leningrad Front (laying a bypass line through Lake Ladoga) and the Karelian Front (laying a special marine armored telegraph cable through the throat of the White Sea).

Keywords: General Staff, Leningrad Front, Karelian Front, wired communication, armored communication cable, Lake Ladoga, White Sea.

С Ленинградским фронтом (1941 год)

Связь Ленинградского фронта с Москвой в начальный период войны поддерживалась по магистральным линиям через Бологое — Калинин. Когда эта магистраль была перерезана противником, и город оказался в блокаде, возникла необходимость прокладки обходной линии через водную преграду (Ладожское озеро), Шугозеро — Андронниково — Михалево — Череповец — Вологду.

Неоднократно предпринимавшиеся попытки обеспечить надежную проводную связь через

Ладожское озеро при помощи обычного полевого телеграфного кабеля ПТГ-19, а также телеграфного кабеля с усиленной изоляцией и даже специального речного телеграфного кабеля (которые в этот период неоднократно прокладывались), успеха не имели. Проводная связь с осажденным Ленинградом работала крайне неустойчиво [1].

Для обеспечения устойчивой проводной связи Генерального штаба со штабом Ленинградского фронта было решено проложить через Ладожское озеро подводный бронированный кабель (емкостью в 14 пар) [2].

В соответствии с Постановлением Военного совета Ленфронта от 3 октября 1941 года № 00316 «О прокладке подводного кабеля через Ладожское озеро на участке м[ыс] Осиновец — Белозерка»¹, эта задача была возложена на фронтной комплект войск связи Ленфронта (14 озпс — отдельный запасный полк связи). К экспедиции также привлекались специалисты Военной электротехнической академии связи, завода «Севкабель» и водолазы ЭПРОНА (ЭПРОН — экспедиция подводных работ особого назначения. Создана в 1923 году; с 1942 года в составе ВМФ). Техническое руководство работами по прокладке кабеля было поручено старшему инженеру Научно-исследовательского морского института связи и телемеханики (НИМИ-СиТ) военинженеру 2 ранга Анисимову П.А.² (рис. 1). В его распоряжение от Военной электротехнической академии (ВЭТАС) были направлены: военинженер 2-го ранга Н.Е. Плешков³, военинженер 3-го ранга А.П. Удалов и воентехник 1-го ранга П.Н. Кулаков.

Выбранная трасса проходила от Ваганово на Белозерки и имела протяженность около 40 км (рис. 2). Кабель на восьми 50-тонных платформах в четырех «кусках» (строительных длинах — два по 11 км, один — 9 км и один — 10 км) был доставлен на берег Ладожского озера, где бригадой завода «Севкабель» был соединен в одно целое и после испытания уложен на специально построен-



Рис. 1. Анисимов Павел Александрович

ную эстакаду на барже. Команда баржи (в составе 130 человек), буксируемая пароходом «Буй», под прикрытием истребительной авиации, приступила к работе 29 октября 1941 года. Прокладка кабеля проходила в крайне сложных условиях. Ладогу штормило (7–9 баллов), не прекращались налеты вражеской авиации. Однако это не помешало завершить работы за 8 часов. Испытания проложенной линии связи дали положительные результаты.

Таким образом, была установлена устойчивая проводная связь Ленинградского фронта со Ставкой ВГК через Ладожское озеро — по

¹ Подлинник. «Военный совет ЛФ постановляет: Для обеспечения устойчивой связи с Москвой, 54-й армией и Карельским фронтом начальнику связи Ленинградского фронта генерал-майору т. Ковалеву к 25 октября 1941 г. проложить подводный кабель $7 \times 4 \times 1$ через Ладожское озеро на участке м[ыс] Осиновец — Белозерка; Начальнику тыла Ленфронта генерал-майору т. Лагунову предоставить в распоряжение начальника связи фронта: а) к 6.10.41 — одну 500-т [онную] баржу и место для баржи в бухте Гольцмана, сроком на 6 дней; б) к 12.10.41 — один буксир для работ по прокладке кабеля; в) 200 литров бензина для обеспечения работ по подвозке материалов; Начальнику гидрографического отдела КБФ произвести промеры по трассе, обвехование и выделить одного представителя для работы на время прокладки кабеля. После выполнения работ произвести оповещения о запрещении якорных стоянок на трассе; Зам. начальника Штаба Ленфронта генерал-майору т. Гусеву и командующему Ладожской военной флотилией капитану 1-го ранга т. Черокову — обеспечить защиту экспедиции на время работ в озере; Представленную начальником связи фронта схему трассы прокладки кабеля утвердить. Жуков, Жданов, А. Кузнецов, Исаков» [2].

² Анисимов Павел Александрович (17.03.1903, Курская губ.), военинженер 2 ранга (1938), инженер-полковник (1948). Окончил: ВМУ им. М.В. Фрунзе (1927); ВЭТА им. С.М. Буденного (1933). С 1941 по 1952 гг. работал в НИМИСиТ (г. Ленинград). Затем начальник кафедры в военно-морской академии кораблестроения и вооружения им. А.Н. Крылова. С 1958 года в запасе (проживал в г. Ленинграде). ЦАМО РФ — УПК на Анисимова П.А.

³ Плешков Николай Ефимович (14.01.1901, г. Ташкент), военинженер 1 ранга (1940), инженер-полковник (1943). Окончил Ленинградский Электротехнический институт им. В.И. Ульянова (Ленина) в 1929 году. С 1941 по 1958 г. начальник кафедры дальней связи Военной электротехнической академии связи им. С.М. Буденного. После увольнения в запас проживал в г. Ленинграде.

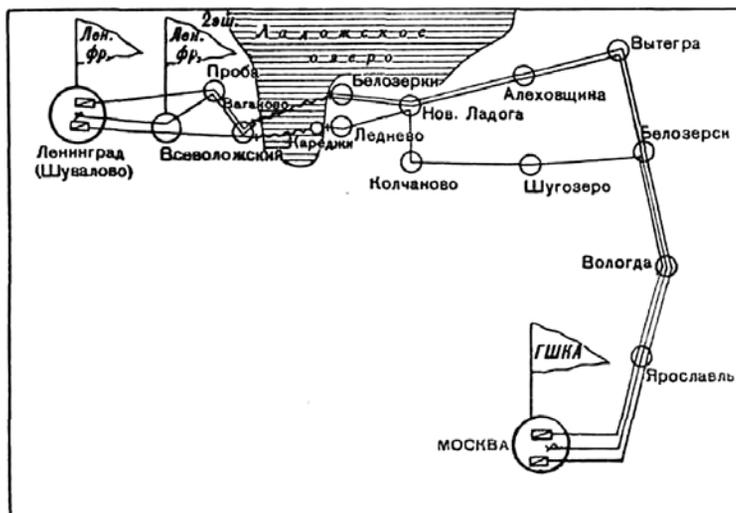


Рис. 2. Проводная связь Ставки со штабом Ленинградского фронта по кабелю, проложенному по дну Ладожского озера

подводному тяжелому кабелю и далее по вновь построенной постоянной воздушной линии связи (ПВЛС). По этому же кабелю от штаба Ленфронта поддерживалась проводная связь с войсками, действовавшими на восточном берегу Ладожского озера. Чтобы избежать прерывания связи с Ленинградом в случае выхода из строя этого кабеля, позднее было принято решение проложить через Ладожское озеро второй подводный кабель. Бронированный морской «кордельный» кабель емкостью 6 пар был проложен в июне 1942 года от пункта Ваганово на косу Кореджи (юго-восточный берег Ладожского озера), где находилась в то время станция снабжения Ленинградского фронта (рис. 2). С прокладкой второго кабеля общая емкость подводных кабельных линий через Ладожское озеро увеличилась до 20 пар. Таким образом, устойчивость проводной связи Ленинградского фронта с Генеральным штабом, с соседним Волховским фронтом и Ладожской военно-морской флотилией значительно возросла [3].

Большое значение в обеспечении устойчивой связи также имело развертывание в Ленинграде подземного защищенного узла связи, который был построен силами 26 отдельного полка связи. Защищенный узел связи был расположен на глубине 10–15 м и состоял из телеграфного креста (120 линий), аппаратного зала (6 аппаратов Бодо, 15 аппаратов СТ-35 и 3 аппарата Морзе), радиобюро (8 рабочих мест слухового приема с приемниками типа КТФ и УС), телефонной

станции (емкостью 400 номеров), аккумуляторной и генераторной аппаратурных.

Связь со штабом Карельского фронта и Мурманском (1942 год)

Позднее (летом и осенью 1942 года) создавалось тяжелое положение с обеспечением проводной связи штаба Карельского фронта (Беломорск) со штабами подчиненных ему 14-й и 19-й армий, которые располагались в районе Мурманска и Кандалакши. В это время авиация противника особенно сильно воздействовала на Мурманскую железную дорогу и вместе с этим систематически разрушала единственную на этом направлении постоянную воздушную линию связи, построенную вдоль железнодорожной магистрали [4].

Попытка начальника связи Карельского фронта своими силами решить задачу постройки обходной линии связи через Кандалакшский залив и далее по Кольскому полуострову на Мурманск окончилась неудачей, так как был использован обыкновенный, небронированный кабель, имевший очень низкую изоляцию, что не обеспечивало прохождения связи по аппарату Бодо.

Надежная телеграфная связь штаба Карельского фронта со штабами 14-й и 19-й армий была установлена только после прокладки в декабре 1942 года через горло Белого моря специального морского бронированного телеграфного кабеля.

Работы по прокладке этого кабеля, проводившиеся в условиях суровой полярной зимы, потребовали проведения сложных организационно-технических мероприятий. Для работ была специально прислана из Москвы команда. Общую организацию и руководство прокладкой кабеля осуществляло управление связи Карельского фронта.

Морской кабель длиной 87 км доставили в Северодвинск (зап. Архангельска) и там погрузили на специальное судно. Вследствие того, что в это время Белое море на значительном протяжении от берега было покрыто льдом, потребовалось привлечь ледокол «Литке», чтобы вывести судно с кабелем на чистую воду.

Трассу выбрали на участке Инцы — Пулонга (рис. 3). Направление прокладки кабеля корректировали представители Военно-Морского Флота. Во время работ, в 18 км от берега, кабель соскочил с барабана, оборвался и упал в море. Потребовалось значительное время и самоотверженная работа водолазов и других участников экспедиции, чтобы найти и поднять затонувший кабель. Только на сращивание оборвавшегося конца кабеля потребовалось более шести часов.

Успешная прокладка кабеля через горло Белого моря, а также оборудование трансляции в Онеге, Архангельске и Пулонге, дали возможность установить надежную прямую телеграфную связь штаба Карельского фронта с 14-й и 19-й армиями [4]. В то же время прокладка этого кабеля позволила Генеральному штабу иметь прямую телеграфную связь со штабом Северного флота и с Мурманским портом, который играл в то время особенно важную роль.

Таким образом, в ходе битвы за Ленинград связистам для повышения устойчивости функционирования проводной связи Генерального штаба с Ленинградским и Карельским фронтами, пришлось решать неординарные задачи (по прокладке тяжелых кабелей связи по Ладожско-

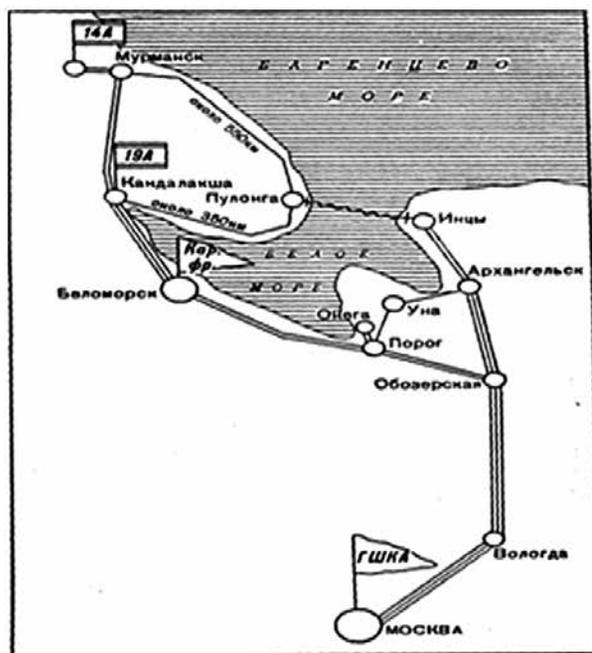


Рис. 3. Проводная связь штаба Карельского фронта со штабами 14-й и 19-й армий (декабрь 1942 года) по кабелю, проложенному по дну Белого моря

му озеру и «горлу» Белого моря), которые накануне войны даже в теоретическом плане военным руководством страны не рассматривались.

Литература

1. Пересыпкин И.Т. Связь в начальный период войны. М.: Воениздат, 1960. С. 68–69.
2. Постановление Военного совета Ленфронта 3 октября 1941 года № 00316 «О прокладке подводного кабеля через Ладожское озеро на участке м[ыс] Осиновец — Белозерка». ЦАМО РФ. Ф. 217. Оп. 1258. Д. 6. Л. 107–108.
3. Архив ВИМАИВиВС. Ф. 60Р. Оп. 1. Личн. фонд маршала войск связи Пересыпкина И.Т.
4. Евдаков М.В. Краткий обзор состояния связи 14 армии (август 1942 года). Архив ВИМАИВиВС. Ф. 10Р. Оп. 1. Д. 64.

УДК: 330.101

DOI: 10.53816/20753608_2024_1_168

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«КОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»**

SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE «SPACE TECHNOLOGIES»

Чл.-корр. РАРАН С.И. Бокон^{1,2}, У.А. Пестун^{1,2}

¹46 ЦНИИ Минобороны России, ²МИРЭА — Российский технологический университет

S.I. Bokov, U.A. Pestun

В сообщении приводится обзор тем докладов и сообщений, сделанных на 1-й Международной межведомственной научно-технической конференции «Космические технологии», посвященной вопросам развития космической отрасли. Особо необходимо отметить приведенные предложения, изложенные в решении по итогам конференции.

Ключевые слова: научно-техническая конференция, космические технологии, радио-электронные системы и комплексы, системные вопросы планирования.

The article reviews the topics of reports and communications made at 1st international interdepartmental scientific and technical conference «Space Technologies», dedicated to the development of the space industry. It is especially necessary to note the above proposals set out in the decision following the conference.

Keywords: scientific and technical conference, space technologies, radio-electronic systems and complexes, systemic planning issues.

26 октября 2023 года в МИРЭА — Российском технологическом университете (далее РТУ МИРЭА) под эгидой Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос» и при участии Федерального государственного бюджетного учреждения «46 Центральный научно-исследовательский институт» Министерства обороны Российской Федерации (ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России) была проведена 1-я Международная межведомственная научно-техническая конференция «Космические технологии» (рис. 1).

Цель конференции была определена в создании платформы по обмену знаниями и опытом в части развития космических технологий, а также способствованию подготовке высококвалифицированных кадров для космической отрасли.

Задачи конференции:

развитие и углубление научных, образовательных и деловых связей с российскими и зарубежными партнерами в космической отрасли, а также рассмотрение проблемных научно-технических вопросов в части развития космических технологий с целью создания космических систем нового поколения.

В программный комитет конференции вошли авторитетные ученые, представляющие различные академические школы и направления:

Александр Витальевич Блошенко — исполнительный директор по перспективным программам и науке Госкорпорации «Роскосмос»;

Станислав Алексеевич Кудж — ректор РТУ МИРЭА;

Александр Сергеевич Сигов — президент РТУ МИРЭА, академик РАН;



Рис. 1. Космические технологии

Андрей Георгиевич Васильев — директор института радиоэлектроники и автоматики;

Сергей Иванович Боков — главный научный сотрудник ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России;

Анастасия Николаевна Мыльникова — директор института технологий управления (рис. 2).

Конференцию открыли президент РТУ МИРЭА академик РАН А.С. Сигов, исполнительный директор по перспективным программам и науке Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос» А.В. Блошенко, главный научный сотрудник ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России С.И. Боков.

На конференции приняли участие сотрудники следующих организаций:

ФГБУ «46 ЦНИИ» Министерства обороны Российской Федерации;

ФГБУ «РАРАН»;

АО «Российские космические системы»;

АО «Корпорация «Комета»;

АО «ЦНИРТИ имени академика А.И. Берга»;

АО «Концерн радиостроения «ВЕГА»;

АО «НПК «НИИДАР»;

ПАО «МАК «Вымпел»;

ПАО «НПО «Алмаз»;

ООО «КосмоЛаб»;

ООО «ВСКАМ»;

Институт общей физики имени А.М. Прохорова;

Московский авиационный институт;

Московский политехнический университет;

Национальный исследовательский университет «МЭИ»;

Universidade Federal de Minas Gerais — UFMG (рис. 3).

Приведенные задачи обусловили название и тематику секций конференции:

Секция 1. Радиоэлектронные системы и комплексы локации и навигации и дистанционного зондирования Земли;

Секция 2. Проектирование космической аппаратуры с длительным сроком активного функционирования;

Секция 3. Радиоэлектронные технологии космических систем и СВЧ-модулей;

Секция 4. Геоинформационные системы и технологии;

Секция 5. Системные вопросы планирования развития космических систем.



Рис. 2. Сопредседатели конференции



Рис. 3. Соорганизаторы конференции

Конференция проводилась в два этапа.

На первом этапе проведено пленарное заседание, а также работа по секциям с определением лучших докладов.

Второй этап (планируемый) предполагает награждение лучших докладчиков представителями Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос».

Рассматривается вопрос участия лучших докладчиков (из числа студентов РТУ МИРЭА) в запуске первого в истории РТУ МИРЭА малого космического аппарата под названием RTU MIREA1. Запуск планируется в начале 2024 года с космодрома Восточный.

Были отмечены и представлены к поощрению следующие докладчики:

Семина А.В., Ксендзук А.В. — доклад на тему «Мультимодальные нейронные сети в задачах классификации объектов по данным систем ДЗЗ»;

Иванов В.С., Увайсов С.У. — доклад на тему «Комплексирование спутниковой и транкинговой систем связи»;

Демин О.А., Иванцов М.О., Корчагин А.С., Никашин А.К. — доклад на тему «Прототипирование широкополосной антенны для системы космической связи в S-диапазоне»;

Чухарев Е.С., Ануфриев С.О. — доклад на тему «Использование геоинформационных систем в современных вооруженных конфликтах. Влияние на характер боевых действий и особенности взаимодействия с общественностью»;

Астафьев С.С., Герасимов Д.С., Казакевич М.В., Костин К.Д., Кутуев Е.Е., Скоропупов А.К. — доклад на тему «Прогнозирование расходов Государственной корпорации по кос-

мической деятельности, в рамках Федеральной космической программы»;

Пестун У.А., Кобозев Д.С., Уланова А.А. — доклады на темы: «Анализ экономических, социальных и военных потенциалов стран по наиболее значимым геополитическим направлениям»; «Рупорная антенна в космической связи и связующих системах».

Отдельно необходимо выделить доклад Черемисина М.В. на тему «Проекты компании «КосмоЛаб». В рамках доклада была обоснована актуальность и востребованность создания группировок малых космических аппаратов формата Кубсат для отработки новых технических решений. В рамках доклада было отмечено, что компания «КосмоЛаб» в инициативном порядке разработала и произвела транспортно-пусковые системы необходимые для запуска требуемых космических аппаратов, а также имеет задел по разработке малых космических аппаратов (КА) необходимого формата.

По итогам конференции подготовлено и одобрено решение, в соответствии с которым предлагается:

– ежегодно проводить Международную научно-техническую конференцию «Космические технологии» под эгидой Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос» и при участии в организации ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России (по согласованию), на базе РТУ МИРЭА;

– материалы выступлений участников конференций, отражающих наиболее значимые вопросы космической отрасли, рекомендовать к опубликованию.

РТУ МИРЭА по эгидой Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос» отметить и поощрить лучших докладчиков.

АО «НПО Лавочкина» и ПАО «РКК Энергия» рассмотреть вопрос сотрудничества с ООО «КосмоЛаб» в части адаптации и применения технических решений и проектов ООО «КосмоЛаб».

Рекомендовать АО «РКС» совместно с ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России инициировать научно-исследовательскую работу, направленную на развитие методологии долгосрочного планирования развития космических систем в соответствии с требованиями Указа Президента РФ от 08.11.2021 № 633.

СОДЕРЖАНИЕ

ЮБИЛЕЙ

<i>Буренок В.М., Ивкин В.И.</i> Российская академия ракетных и артиллерийских наук: 30 лет воссоздания	3
--	---

ГЕОПОЛИТИКА И ОБОРОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

<i>Шаманов В.А., Кулаков В.В., Каширина О.Ю., Иванас В.Н.</i> Основные принципы применения и классификация автономных необитаемых аппаратов вероятного противника.....	12
--	----

<i>Гурьянов А.В., Пан А.В., Жаринов И.О.</i> Экономическое управление диверсификацией продуктового портфеля государственных корпораций в процессах конверсии ОПК и трансфера технологий.....	20
--	----

<i>Бельский А.Б., Ефремов А.А., Парненков А.Е., Сизов А.В., Якимов В.Г.</i> Научно-методический подход к формированию смешанных группировок боевых вертолетов и БПЛА для решения задач армейской авиации	31
--	----

<i>Пронин А.Ю.</i> Целевая подготовка специалистов на базовых кафедрах в интересах оборонно-промышленного комплекса России	39
--	----

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ, РАСЧЕТЫ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ

<i>Дурнев Р.А., Свиридок Е.В., Попов А.В.</i> Интеллектуальные минные поля: к вопросу об оценке эффективности.....	44
--	----

<i>Кутахов В.П., Настас Г.Н., Титов А.Е., Смолин А.Л.</i> Методика оценки эффективности группового применения беспилотных летательных аппаратов	51
---	----

<i>Коваленко А.Ю., Кульвиц А.В., Винокуров Р.А., Нечаев И.Ю.</i> Обоснование показателя эффективности функционирования разнородной орбитальной группировки малых космических аппаратов дистанционного зондирования Земли	58
--	----

<i>Гришин Ф.А., Знаменский Е.А., Ковалев А.П.</i> Обоснование предельных рациональных энергетических параметров гиперзвукового ствольного стрелкового комплекса	64
---	----

<i>Морозов А.В., Панамарев Г.Е.</i> Методика портирования программного обеспечения в режим безопасных вычислений аппаратно-программной платформы «Эльбрус»	72
--	----

<i>Борзов А.Б., Павлов Г.Л., Каракулин Ю.В., Тимощенко М.А.</i> Анализ влияния ошибки угла визирования на вероятность поражения цели зенитной ракетой	80
<i>Самойлов Д.В.</i> Многофакторный расчетно-имитационный метод оценки сложности учебных упражнений, выполняемых на тренажере зенитного ракетного комплекса ближнего действия	85
<i>Алешин А.С., Чубасов В.А.</i> Актуальность применения Таблиц внешней баллистики при проектировании современных артиллерийских орудий и боеприпасов к ним	90

ВООРУЖЕНИЕ, ВОЕННАЯ И СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕХНИКА

<i>Бобков С.А., Торгун И.Н., Устинкин А.И., Иванов И.В.</i> Адаптация управляемых реактивных снарядов наземного базирования к применению с кораблей.....	95
<i>Баскаков В.Д., Калугин В.Т., Розанов Л.А., Сидняев Н.И.</i> Использование снарядов с прямоточным двигателем для повышения дальности стрельбы артиллерийских систем за рубежом	101
<i>Абросимов В.К., Гладкий А.В.</i> Интеллектуальность боевых свойств перспективных робототехнических комплексов наземного базирования	109
<i>Кулемин В.Ю.</i> К вопросу формирования замысла и описания при создании изделий высокой степени технологической сложности вооружения, военной и специальной техники на основе цифровых двойников.....	116
<i>Борзов А.Б., Павлов Г.Л., Артюшкин М.В., Копейкин Р.Е.</i> Алгоритм получения пространственной пеленгационной характеристики радиолокационного координатора боеприпаса для системы вооружения самолетов-носителей	122

ЭКСПЕРИМЕНТЫ, ИССЛЕДОВАНИЯ И МАТЕРИАЛЫ

<i>Сильников М.В., Гук И.В., Долгобородов А.Ю., Михайлин А.И., Сильников Н.М.</i> Защитные структуры на основе механоактивированных энергетических композитов	126
<i>Андрющенко М.С., Голик А.М., Сахнов С.А., Терешин С.Н.</i> Обнаружение беспилотных летательных аппаратов с помощью микрофонных решеток.....	131
<i>Пучков А.С., Гук И.В., Спивак А.И., Васильева С.Н.</i> К вопросу применения цифровых измерителей скорости ударных волн для регистрации уровня избыточного давления во фронте воздушной ударной волны при полигонных испытаниях устройств для защиты от взрыва	139

ИСТОРИЯ

- Коновалов В.Б., Саркисов С.В., Казаков Н.П.* У истоков создания носителей ядерного оружия. Часть II. Ракеты 149
- Ерохин В.В., Долганов М.Е., Авотынь Б.А.* Способы стабилизации реактивных снарядов РСЗО (ретроспектива; объективные и субъективные факторы, повлиявшие на способ стабилизации реактивных снарядов РСЗО). Часть 1 (к 60-летию принятия на вооружение РСЗО «Град») 154
- Жарский А.П., Сазыкин А.М., Шептура В.Н.* Решение проблемы повышения устойчивости опорной сети проводной связи Генерального штаба в ходе битвы за Ленинград (1941–1944 гг.) 164

СООБЩЕНИЯ

- Боков С.И., Пестун У.А.* Научно-техническая конференция «Космические технологии» .. 168

СПИСОК АВТОРОВ СТАТЕЙ НОМЕРА

Абросимов Вячеслав Константинович, д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник Главного научно-исследовательского испытательного межвидового центра перспективного вооружения Министерства обороны РФ. Тел. +7 (916) 815-35-12. E-mail: avk787@yandex.ru

Авотынь Борис Андреевич, д-р техн. наук, главный специалист АО «НПО «СПЛАВ» им. А.Н. Ганичева. E-mail: splav@tula.net

Алешин Александр Сергеевич, канд. техн. наук, заместитель начальника Научно-методического центра АО «НПО Спецматериалов», доцент кафедры ЕЗ «Средства поражения и боеприпасы» БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова. E-mail: aleshin@npo-sm.ru

Андрющенко Михаил Сергеевич, д-р техн. наук, профессор кафедры военно-научных исследований Санкт-Петербургского Военного ордена Жукова института войск национальной гвардии Российской Федерации. Тел.: +7 (911) 961-97-37. E-mail: 125msa@mail.ru

Артюшкин Максим Владиславович, лаборант НИИСМ СМ2-7 МГТУ им. Н.Э. Баумана. Тел.: +7 (927) 437-75-77. E-mail: amv19m144@student.bmstu.ru

Баскаков Владимир Дмитриевич, д-р техн. наук, профессор кафедры «Технологии ракетно-космического машиностроения» (СМ-12) МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: baskakov_vd@bmstu.ru

Бельский Александр Борисович, чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, заместитель исполнительного директора по науке и инновационному развитию, заместитель генерального конструктора вертолетных комплексов специального назначения, комплексов авиационного вооружения вертолетов АО «НЦВ Миль и Камов», заведующий кафедрой «Проектирование вертолетов» ФГБУ «Московский авиационный институт». E-mail: abelskiy@mi-helicopter.ru

Бобков Сергей Алексеевич, академик РАН, д-р техн. наук, генеральный директор АО «ЦНИИХМ». Тел.: +7 (499) 611-51-29. E-mail: mail@cniihm.ru

Бокос Сергей Иванович, чл.-корр. РАН, д-р экон. наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России, заведующий кафедрой «Базовая кафедра менеджмента в сфере систем вооружений», ФГБОУ

ВО «МИРЭА — Российский технологический университет». E-mail: bokov.s.i@mail.ru

Борзов Андрей Борисович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Автономные информационные и управляющие системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Тел.: (499) 263-68-60. E-mail: borzov@bmstu.ru

Буренок Василий Михайлович, академик РАН, д-р техн. наук, профессор, президент Российской академии ракетных и артиллерийских наук. E-mail: raran@bk.ru

Васильева Светлана Николаевна, младший научный сотрудник научно-исследовательского института специальных материалов АО «НПО Спецматериалов». Тел.: +7 (812) 542-87-70, доб. 2268. E-mail: VasilyevaSN@npo-sm.ru

Винокуров Роман Александрович, заместитель начальника Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. Тел.: +7 (812) 230-2815. E-mail: vka@mil.ru

Гладкий Анатолий Васильевич, научный сотрудник Главного научно-исследовательского испытательного межвидового центра перспективного вооружения Министерства обороны РФ. Тел. +7(909) 928-44-03. E-mail: anatozgladk@yandex.ru

Голик Александр Михайлович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой военно-научных исследований Санкт-Петербургского Военного ордена Жукова института войск национальной гвардии Российской Федерации. Тел.: +7 (911) 293-27-96. E-mail: metr1956@yandex.ru

Гришин Федор Александрович, заместитель главного конструктора ОКБ 159 ОАО «МЗ «Арсенал». Тел.: +7 (921) 652-35-93. E-mail: f.grishin@mvsystem.ru.

Гук Игорь Владимирович, канд. техн. наук, заместитель директора научно-исследовательского института специальных материалов АО «НПО Спецматериалов». Тел.: +7 (812) 542-87-70. E-mail: guk@npo-sm.ru

Гурьянов Андрей Владимирович, академик РАН, канд. экон. наук, доцент, генеральный директор АО «ОКБ «Электроавтоматика». Тел.: +7 (812) 252-13-98. E-mail: postmaster@elavt.spb.ru

Долганов Михаил Евгеньевич, канд. техн. наук, заместитель главного конструктора по НИР,

инвестиционным проектам АО «НПО «СПЛАВ» им. А.Н. Ганичева. E-mail: splav@tula.net

Долгобородов Александр Юрьевич, д-р. физ.-мат. наук, заведующий лабораторией ударно-волновых воздействий Объединенного института высоких температур РАН, главный научный сотрудник Федерального исследовательского центра химической физики им. Н.Н. Семёнова РАН. Тел.: +7 (495) 483-22-95. E-mail: alexdol@yandex.ru

Дурнев Роман Александрович, академик РАН, д-р техн. наук, доцент, Первый вице-президент ФГБУ РАН. E-mail: rdurnev@rambler.ru

Ерохин Владимир Викторович, канд. техн. наук, заместитель генерального директора — главный конструктор АО «НПО «СПЛАВ» им. А.Н. Ганичева. E-mail: splav@tula.net

Ефремов Алексей Александрович, директор научно-конструкторского центра перспективного проектирования винтокрылых летательных аппаратов АО «НЦВ Миль и Камов». E-mail: al.efremov@kamov.ru

Жаринов Игорь Олегович, д-р техн. наук, профессор, руководитель учебно-научного центра — ученый секретарь научно-технического совета АО «ОКБ «Электроавтоматика». Тел.: +7 (921) 997-14-64. E-mail: mpbva@mail.ru

Жарский Анатолий Петрович, чл.-корр. РАН, канд. военн. наук, старший научный сотрудник Научно-исследовательского института (военной истории) Военной академии Генерального штаба ВС РФ. E-mail: galant2028@mail.ru

Знаменский Евгений Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры ЕЗ БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова. Тел.: +7 (812) 316-23-94. E-mail: znamenskii_ea@voenmeh.ru.

Иванас Вадим Николаевич, студент Финансового университета при Правительстве РФ. Тел.: +7 (977) 577-05-70. E-mail: ivans.vadimka@yandex.ru

Иванов Игорь Владимирович, канд. техн. наук, главный конструктор направления ВМФ АО «НПО «СПЛАВ» им. А.Н. Ганичева. E-mail: ivaig@rambler.ru

Ивкин Владимир Иванович, чл.-корр. РАН, канд. ист. наук, старший научный сотрудник ФГКВООУ ВО «Военная академия Ракетных войск стратегического назначения им. Петра Великого». E-mail: ivkin-v@mail.ru

Казаков Николай Петрович, д-р экон. наук, доцент, доцент кафедры систем жизнеобеспечения Военного института (инженерно-технического) Военной академии материально-технического обеспечения им. А.В. Хрулева. Тел.: +7 (911) 985-96-30. E-mail: knpdoc49@mail.ru

Калугин Владимир Тимофеевич, д-р техн. наук, заведующий кафедрой «Динамика и управление полетом ракет и космических аппаратов» (СМ-3) МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kaluginvt@bmstu.ru

Каракулин Юрий Валерьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Автономные информационные и управляющие системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Тел.: +7 (499)-263-10-17. E-mail: karakulin@bmstu.ru

Каширина Ольга Юрьевна, канд. техн. наук, профессор АВН, помощник депутата Государственной Думы Федерального Собрания РФ, старший специалист МОУ «Институт инженерной физики». Тел.: +7 (495) 692-47-58. E-mail: KashirinaOIG@duma.gov.ru

Ковалев Александр Павлович, д-р техн. наук, профессор, советник по стратегическому планированию генерального директора АО «КБ «Арсенал». E-mail: kbarsenal@peterlink.ru.

Коваленко Алексей Юрьевич, д-р техн. наук, старший преподаватель кафедры навигационно-баллистического обеспечения применения космических средств и теории полета летательных аппаратов Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. Тел.: +7(812)347-96-16. E-mail: vka@mil.ru

Коновалов Владимир Борисович, академик РАН, д-р экон. наук, профессор, заместитель начальника Военной академии материально-технического обеспечения им. А.В. Хрулева. Тел.: +7 (812) 328-54-92. E-mail: vlad.conovalow@yandex.ru

Копейкин Роман Евгеньевич, доцент кафедры СМ5 МГТУ им. Н.Э. Баумана. Тел.: +7 (917) 528-06-12. E-mail: rkopeykin@bmstu.ru

Кулаков Владимир Владимирович, д-р истор. наук, профессор, помощник депутата Государственной Думы Федерального Собрания РФ, профессор Финансового Университета при Правительстве РФ. Тел.: +7 (499) 943-98-55. E-mail: VVKulakov@fa.ru

Кулемин Владимир Юрьевич, канд. техн. наук, доцент, ведущий инженер ЦК НТИ

Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. E-mail: kulemin@compmechlab.ru

Кульвиц Алексей Владимирович, д-р техн. наук, доцент, начальник кафедры космических аппаратов и средств межорбитальной транспортировки Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. Тел.: +7(812)347-96-12. E-mail: vka@mil.ru

Кутахов Владимир Павлович, академик РАН, д-р техн. наук, профессор, директор проектного комплекса «Роботизированные авиационные системы» Национального исследовательского центра «Институт им. Н.Е. Жуковского», руководитель научного отделения № 3 РАН. E-mail: kutahovvp@nrczh.ru

Михайлин Андрей Иванович, чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, заместитель генерального директора по стратегическому развитию АО «НПО Спецматериалов». Тел.: +7 (812) 294-55-68. E-mail: mikhaylin@npo-sm.ru

Морозов Андрей Владимирович, д-р техн. наук, профессор, заместитель начальника по научной и образовательной деятельности ФГАУ «Военный инновационный технополис «ЭРА». Тел.: +7 (910) 789-11-66.

Настас Геннадий Николаевич, канд. техн. наук, начальник отделения проектного комплекса «Роботизированные авиационные системы» Национального исследовательского центра «Институт им. Н.Е. Жуковского». E-mail: nasnasgn@nrczh.ru

Нечаев Иван Юрьевич, адъюнкт кафедры космических аппаратов и средств межорбитальной транспортировки Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. Тел.: +7(812)347-96-12. E-mail: vka@mil.ru

Павлов Григорий Львович, д-р техн. наук, профессор кафедры «Автономные информационные и управляющие системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Тел.: +7 (499) 263-67-53. E-mail: pavlov_503@bmstu.ru

Пан Александр Владимирович, генеральный директор АО «КРЭТ». Тел.: +7 (495) 587-70-70. E-mail: mpbva@mail.ru;

Панамарев Геннадий Евгеньевич, д-р техн. наук, доцент, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела ФГАУ «Военный инновационный технополис «ЭРА». Тел.: +7 (918) 157-46-96.

Парненко Алексей Евгеньевич, канд. техн. наук, главный конструктор научно-конструкторского центра перспективного проектирования винтокрылых летательных аппаратов АО «НЦВ Миль и Камов». E-mail: a.parnenkov@kamov.ru

Пестун Ульян Анатольевич, канд. экон. наук, начальник лаборатории ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России, доцент кафедры «Базовая кафедра менеджмента в сфере систем вооружений», ФГБУ ВО «МИРЭА — Российский технологический университет». E-mail: Ulun2015@yandex.ru

Попов Андрей Викторович, канд. техн. наук, заместитель генерального директора по организации НИОКР АО «НИИИ». Тел.: +7 (926) 247-34-81. E-mail: a.v.popov@aoniii.ru

Пронин Алексей Юрьевич, чл.-корр. РАН, канд. техн. наук, доцент. Тел.: +7 (915) 311-55-06. E-mail: pronin46@bk.ru

Пучков Андрей Сергеевич, директор научно-исследовательского института специальных материалов АО «НПО Спецматериалов». Тел.: +7 (812) 542-87-70.

Розанов Лев Алексеевич, старший преподаватель кафедры «Ракетные и импульсные системы» (СМ-6) МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: rozanov@bmstu.ru

Сазыкин Андрей Михайлович, чл.-корр. РАН, канд. техн. наук, доцент, Михайловская военная артиллерийская академия, начальник Научно-методического центра АО «НПО Спецматериалов». Тел.: (812) 542-98-50. E-mail: sazykin@npo-sm.ru

Самойлов Дмитрий Вячеславович, канд. техн. наук, заместитель начальника подразделения по науке ФАУ «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем». Тел. +7 (499) 157-93-59. Email: dsamoylov@gosniias.ru

Саркисов Сергей Владимирович, д-р техн. наук, профессор, начальник кафедры систем жизнеобеспечения Военного института (инженерно-технического) Военной академии материально-технического обеспечения им. А.В. Хрулева. Тел.: +7 (911) 012-99-69. E-mail: ser-sark@yandex.ru

Сахнов Сергей Алексеевич, адъюнкт кафедры военно-научных исследований Санкт-Петербургского Военного ордена Жукова института

войск национальной гвардии Российской Федерации. Тел.: +7 (810) 106-52-46. E-mail: sakhnov_1992@mail.ru

Свиридок Екатерина Викторовна, чл.-корр. РАН, канд. техн. наук, заместитель руководителя секретариата Совета главных конструкторов по системе вооружения сухопутной составляющей сил общего назначения ФГБУ РАН. Тел.: +7 (926) 935-26-20. E-mail: svkate1@rambler.ru

Сидняев Николай Иванович, д-р техн. наук, заведующий кафедрой «Высшая математика» (ФН-1) МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sidnyaev@bmstu.ru

Сизов Александр Владимирович, д-р техн. наук, начальник НИО имитационного и функционального моделирования научно-конструкторского центра перспективного проектирования винтокрылых летательных аппаратов АО «НЦВ Миль и Камов». E-mail: a.sizov@kamov.ru

Сильников Михаил Владимирович, чл.-корр. РАН, академик РАН, д-р техн. наук, профессор, генеральный директор — генеральный конструктор АО «НПО Спецматериалов». Тел.: +7 (812) 542-87-70. Email: director@npo-sm.ru

Сильников Никита Михайлович, чл.-корр. РАН, канд. техн. наук, заместитель генерального директора АО «НПО Спецматериалов». E-mail: Nikita.Silnikov@npo-sm.ru

Смолин Андрей Леонидович, ведущий специалист проектного комплекса «Роботизированные авиационные системы» Национального исследовательского центра «Институт им. Н.Е. Жуковского». E-mail: smolinal@nrczh.ru

Спивак Александр Иванович, канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник научно-исследовательского института специальных материалов АО «НПО Спецматериалов». Тел.: +7 (812) 291-45-03.

Терешин Сергей Николаевич, адъюнкт кафедры военно-научных исследований Санкт-Петербургского Военного ордена Жукова института войск национальной гвардии Российской

Федерации. Тел.: +7 (926) 708-37-07. E-mail: ergeyterechin@yandex.ru

Тимошенко Мария Андреевна, студент кафедры «Автономные информационные и управляющие системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Тел.: +7 (499) 263-10-17. E-mail: tma19m451@student.bmstu.ru

Титов Андрей Евгеньевич, канд. техн. наук, старший научный сотрудник проектного комплекса «Роботизированные авиационные системы» Национального исследовательского центра «Институт им. Н.Е. Жуковского». E-mail: titovae@nrczh.ru

Торгун Иван Николаевич, академик РАН, д-р техн. наук, заместитель генерального директора АО «ЦНИИХМ». E-mail: mail@cniihm.ru

Устинкин Александр Иванович, академик РАН, д-р техн. наук, заместитель генерального директора АО «НПО «Курганприбор». Тел.: +7 (910) 701-00-68.

Чубасов Владимир Александрович, канд. воен. наук, профессор, профессор кафедры «Артиллерийское вооружение и ПТРК» Михайловской военной артиллерийской академии, профессор кафедры ЕЗ «Средства поражения и боеприпасы» БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова. Тел.: +7 (911) 710-16-67. E-mail: v.chubasov2014@yandex.ru

Шаманов Владимир Анатольевич, чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, канд. социол. наук, депутат Государственной Думы Федерального Собрания РФ, профессор Финансового университета при Правительстве РФ. Тел.: +7 (495) 692-47-58. E-mail: Shamanov@duma.gov.ru

Шептура Владимир Николаевич, канд. воен. наук, доцент, начальник 3 управления Главного управления связи ВС РФ. E-mail: sheptura_vn@mail.ru

Якимов Вячеслав Геннадьевич, канд. техн. наук, главный конструктор дирекции программы «Боевые вертолеты» АО «НЦВ Миль и Камов». E-mail: vyakimov@mi-helicopter.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, расчёт, 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 десяти. Оформление библиографических списков необходимо осуществлять по ГОСТам: ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка». Общие требования и 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 — 600–800 знаков;
- ключевые слова;
- список литературы.

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 подчеркивания. Ссылки в тексте на литературу даются в квадратных скобках.

Таблицы представляются **без использования сканирования**, цветного фона, размер шрифта — 10 пт (параметры таблицы, ширина×высота, не более 165×240 мм).

Иллюстрации (графики, рисунки) должны быть черно-белые и выполнены в форматах ***.jpeg** или ***.tif** с разрешением не менее 300 dpi для штриховых изображений (схем, чертежей, графиков) и не менее 600 dpi для полутоновых (фотографии и т.п.); иметь линейные размеры не превышающие 165×240 мм. Дополнительно каждая иллюстрация прилагается отдельным файлом. В имени файла следует указать порядковый номер иллюстрации.

Все буквенные и цифровые обозначения, приведенные на иллюстрациях, поясняются или в основном тексте, или в подрисуночной подписи.

Иллюстрации, таблицы должны иметь порядковый номер и название.

Математические формулы следует набирать **исключительно в редакторе формул MathType** (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 проставляется 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.

Плата за публикацию статей с авторов, в том числе с аспирантов не взимается.

Материалы, не отвечающие требованиям, не рассматриваются

Материалы представляются в электронном виде (CD, флеш-карта) или по e-mail: **raran@npo-sm.ru**

ИЗВЕСТИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
РАКЕТНЫХ И АРТИЛЛЕРИЙСКИХ НАУКПодписной индекс 82836
в объединенном каталоге
«Пресса России»

АО «НПО Спецматериалов»

195277, г. Санкт-Петербург, Б. Сампсониевский пр., д. 28а, литера Б

БАНКОВСКИЕ РЕКВИЗИТЫ

АО «НПО Спецматериалов»

Р/с 40702810900000000547	БИК 044030889	К/счет 30101810400000000889	
В ЗАО «Экспортно-импортный банк», г. Санкт-Петербург			
ИНН 7806125671	Код ОКОНХ 17210	Код по ОКПО 31041642	КПП 780201001

СЧЕТ № *

Дата « _____ » _____ 2024

Предмет счета	Кол-во комплектов	Цена одного комплекта (руб.)	Сумма (руб.)
Подписка на журнал «Известия РАН» На 2024 год – 4 номера (январь–декабрь)		5454-56	
НДС 10%		545-44	
Итого с учетом НДС		6000	

Всего к оплате (в т.ч. НДС): шесть тысяч рублей 00 копеек

*Счет на подписку будет выставлен после подачи заявки на эл. почту: commerce@npo-sm.ru

Начальник ЦРТИ



Бухгалтер

/В. П. Кныш/

/Г. И. Фёдорова/

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: aran@npo-sm.ru

ДЛЯ ЗАМЕТОК

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. Переписка с читателями ведется только на страницах журнала.
При перепечатке материалов ссылка на журнал «Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук» обязательна.

Запросы по материалам выпуска направлять в АО «НПО Спецматериалов» по адресу:
195277, Санкт-Петербург, Б. Сампсониевский пр., д. 28а, литера Б.
Тел. (812) 542-98-50; факс: (812) 542-75-58, E-mail: raran@npo-sm.ru
Адрес сайта: <http://www.iraran.ru>

Учредители и издатели: ФГБУ «Российская академия ракетных и артиллерийских наук»
Адрес: 107564, Москва, ул. 1-я Мясниковская, д. 3, стр. 3;
АО «НПО Спецматериалов»
Адрес: 195277, Санкт-Петербург, Б. Сампсониевский пр., д. 28а, литера Б.

**Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук.
Издание ФГБУ «Российская академия ракетных и артиллерийских наук».
Москва – 2024. Вып. 1 (131).**

Компьютерная верстка — М.В. Медведева
Корректор — Е.А. Красикова, А.К. Райхчин

Подписано в печать 06.03.2024.
Формат 60x84/8. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 16.9
Тираж 900 экз. Заказ №
Отпечатано в типографии «Любавич».
ООО «Первый издательско-полиграфический холдинг»,
Санкт-Петербург, Б. Сампсониевский пр., 60, лит. «У».
Тел.: (812) 603 25 25.
Цена свободная.