



ИЗВЕСТИЯ

*Российской Академии
Ракетных и Артиллерийских Наук*



XXVIII Всероссийская научно-практическая конференция
«Актуальные проблемы защиты и безопасности»

2 (137)

2 0 2 5

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ РАКЕТНЫХ И АРТИЛЛЕРИЙСКИХ НАУК

ISSN 2075-3608

ИЗВЕСТИЯ

РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ РАКЕТНЫХ И АРТИЛЛЕРИЙСКИХ НАУК

Выпуск 2 (137)
2025

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 — 2025. Вып. 2 (137).

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, акад., д.т.н., профессор В.М. Буренок, акад., д.в.н., профессор Г.И. Горчица,
акад., д.и.н., профессор А.А. Кокошин, акад., д.э.н., профессор Г.А. Лавринов,
акад., д.т.н., профессор А.М. Липанов, акад., д.х.н., профессор Ю.М. Михайлов,
акад., д.т.н., профессор В.А. Петров, акад., д.т.н., профессор А.А. Рахманов,
акад., д.т.н. В.Л. Руденко, акад., д.ф.-м.н., профессор В.А. Садовничий,
акад., 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. E.A. Fedosov.*

Редакционная коллегия:

*акад. советник, к.т.н. А.С. Алешин (отв. секретарь), д.воен.н., д.т.н., профессор В.С. Артамонов,
акад., д.воен.н., профессор В.И. Бабенков, акад., д.т.н., профессор В.В. Василенко,
д.юрид.н., профессор В.Ю. Владимиров, чл.-корр., к.т.н. Л.С. Егоренков, акад., д.и.н. В.М. Крылов,
акад., д.т.н., профессор В.П. Кутахов, акад., д.т.н., профессор Ю.М. Милехин,
чл.-корр., д.т.н. А.И. Михайлин, акад., 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, 2025

© АО «НПО Спецматериалов», 2025

УДК 06.053; 355.232.6; 346.24

doi: 10.53816/20753608_2025_2_3

ОТ СБАЛАНСИРОВАННОГО РАЗВИТИЯ — К ВСЕОБЩЕЙ СВЯЗНОСТИ FROM BALANCED DEVELOPMENT TO UNIVERSAL CONNECTIVITY

По представлению академика РАН М.В. Сильникова

Н.М. Каранетян

Журнал «Защита и безопасность»

N.M. Karapetyan

Прошедшая в начале апреля в Санкт-Петербурге XXVIII Всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные проблемы защиты и безопасности» ознаменовала собой очередной этап в деятельности научного сообщества оборонно-промышленного комплекса России, объединившегося под руководством Российской академии ракетных и артиллерийских наук. Стоит вспомнить об этом трудном пути, чтобы понять, как отброшенная назад в своем развитии после развала СССР Россия ныне смогла противостоять военной мощи объединенного Запада.

Ключевые слова: конференция, специальная военная операция, Российская академия ракетных и артиллерийских наук, военная теория, военно-промышленный комплекс, вооруженные Силы Российской Федерации.

The XXVIII All-Russian scientific and practical conference «Current problems of defense and security» held in St. Petersburg in early April marked another stage in the activities of the scientific community of the Russian defense industry, united under the leadership of the Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences. It is worth recalling this difficult path to understand how Russia, thrown back in its development after the collapse of the USSR, was now able to withstand the military might of the united West.

Keywords: conference, special military operation, Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences, military theory, military-industrial complex, armed Forces of the Russian Federation.

СВО — проверка на прочность

В начале 90-х речь шла о том, чтобы в условиях тотального разоружения и конверсии хоть как-то сохранить уникальные разработки советских ученых и конструкторов, не дать рассыпаться научным, конструкторским школам, уберечь от разорения единственные в своем роде предприятия — иными словами, спасти, что можно. Затем, когда в свете агрессии НАТО в Югославии, Ливии, Ираке и вспыхнувших на юге России и в других бывших республиках СССР воору-

женных конфликтов стало очевидно, что всеобщего мира и благоденствия не дожидаться, встал вопрос о выборе приоритетов в развитии вооружений, ограниченном тоненьким ручейком государственного финансирования. Чтобы в главном не отстать от натовских программ перевооружения, экспертное сообщество РАН анализировало и разрабатывало современные методы ведения вооруженной борьбы; находило асимметричные ответы на возникающие угрозы; помогало восстанавливать вертикальные и горизонтальные связи между НИИ, предприятиями в рамках

оборонно-промышленных холдингов. Процесс планирования и отбора перспективных разработок по каждому направлению приобрел окончательную стройную систему после создания Совета генеральных конструкторов. Одновременно велась глубокая и всеобъемлющая работа по переосмыслению конструкторского задела, оставшегося с советских времен, и дальнейшему его развитию на новом технологическом уровне. После присоединения Крыма к России и начала борьбы жителей Донбасса за право самоопределения стало очевидно, что большой войны не избежать. Но специальная военная операция показала, что никто — ни западные, ни российские специалисты — не смогли заранее предугадать, какую форму она примет. Вопреки ожиданиям, сам характер военных действий потребовал массового использования людских ресурсов и возврата к традиционному дивизионному принципу формирования войск, зато по темпам он не шел ни в какое сравнение с Великой Отечественной войной и скорее напоминал Первую мировую. Правда, обусловлено это было не отсталостью вооружения, а наоборот насыщенностью современными его видами обеих сторон. В первую очередь речь идет о средствах разведки и артиллерии, которые в связке позволяют мгновенно обнаружить и уничтожить противника. Беспилотники и средства защиты от них, новые виды управляемых снарядов, навесную броню для техники и многое другое прихо-



*Открытие XXVIII Всероссийской
научно-практической конференции
«Актуальные проблемы защиты и безопасности»*

дилось создавать на ходу. Этому очень способствовала инициатива РАН по приданию госбронзаказу такого свойства, как адаптивность, позволяющего оперативно корректировать планы на любой фазе исполнения. А в целом СВО стала беспрецедентной проверкой буквально всех



Президиум конференции



*Члены президиума конференции:
Герой Российской Федерации генерал-полковник В.А. Шаманов
и генерал-полковник Р.У. Мурадов*



*Президент РАРАН,
академик РАРАН В.М. Буренок*

составляющих военного дела и военного строительства и в России и за рубежом — от тактики, оперативного искусства и стратегии, организационной структуры войск до испытания боем практически всех нестратегических видов и образцов вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ). И вот только сейчас, на четвертом году операции, ВС РФ перешли к методичному наступлению на всех фронтах, поражая центры принятия решений, а также тесня и выдавливая с позиций не только ВСУ, но и многочисленные подразделения, состоящие из солдат стран НАТО.

Однако успехи — совсем не повод к самоуспокоению. Как подчеркнул в своем выступлении президент РАРАН генерал-майор В.М. Буренок: «Необходимо определиться с тем, какие приоритеты и направления военного строительства, развития системы вооружения должны быть выбраны, чтобы и в ближайшем и в отдаленном будущем военный потенциал нашей страны соответствовал назревающим угрозам и вызовам. Западный мир делает ставку на технический, технологический отрыв. Формируются новые концепции войн будущего, акцент в которых делается на разработку и применение новейших



Участники конференции

роботизированных, гиперзвуковых и пр. систем вооружения, созданных с использованием искусственного интеллекта и иных сверхсовременных технологий». Но как бы натовские стратеги ни рассчитывали, что с таким арсеналом они вскоре будут способны сокрушить военную мощь нашей страны, российская военная наука, промышленность, Вооруженные силы готовятся встретить их во всеоружии. Об этом, собственно, и шла речь на конференции.

Многие насущные направления развития ВВСТ стали очевидными именно из опыта СВО. В целом их охарактеризовал В.М. Буренок, а последующие докладчики уже конкретизировали. Вот на чем сделал акцент президент РАН. Ракетные войска и артиллерия остаются ядром системы вооружения, их возможности напрямую увязаны с эффективностью ведения боевых действий — речь, прежде всего, идет о дальнобойности орудий, а также интеграции средств разведки, автоматизации управления и артиллерийских систем в единые комплексы. В условиях тотального разведывательного контроля местности со стороны космических спутников и БПЛА повысилась роль средств маскировки, физической и динамической защиты объектов. Что же до бронетанковой техники и иных транспортных средств, то, помимо упомянутых мер, требуется модернизация РЭБ-систем, устанавливаемых на них: увеличение диапазона действующих частот для излучателей помех плохо сказывается на энергетике объекта в целом. Как ни парадоксально, такие выигрышные стороны авиации, как скорость и сверхманевренность, в СВО оказались востребованы в меньшей степени, чем способность самолетов запускать дальнобойные высокоточные боеприпасы и теперь уже массово выпускаемые авиационные бомбы с управляемыми модулями планирования и коррекции (УМПК). Во весь рост встала проблема защиты территорий России от массовых налетов БПЛА (противник ныне грозит послать до 200 тыс. дронов в месяц). Для парирования угроз — наряду с развитием комплексных недорогих и эффективных систем РЭБ-ПВО-ПРО — нам необходимо сосредоточиться на адаптации под эти цели технологий, основанных на новых физических принципах. Не менее важно внедрить глобальную систему информационного обеспечения —

чтобы она в реальном масштабе времени собирала информацию от всех видов разведки и через автоматизированное управление реализовала на практике принцип: «один разведал — знают все». Спонсоры Украины уже передали ей подобные системы, и те неплохо себя зарекомендовали. И хотя в этой области мы тоже далеко продвинулись и подобные системы у нас есть, их результативности препятствуют субъективные факторы, в том числе невосприимчивость отдельных командиров к новациям, которые еще не внесены в боевой устав. В ответ на нарастание угроз и усиление интенсивности боевых действий административная и правовая системы нуждаются в большей гибкости, а то порой случается так, что устанавливать нужное оборудование на важных объектах запрещают, например, по правилам пожарной безопасности. Единство тыла и фронта должно проявляться не только в гуманитарной помощи, но и согласованности действий во всех сферах жизни общества.

Из аудитории — на передовую

Как впредь избегать расхождения реальной боевой практики с опробованными научными рекомендациями по ее усовершенствованию? Верховный главнокомандующий ВС РФ на расширенном заседании коллегии Министерства обороны призвал широко использовать опыт СВО в оперативной и боевой подготовке войск, в учебном процессе военных вузов и академий, а министр обороны РФ А.Р. Белоусов конкретизировал задачи, особо выделив необходимость обновить перечень и содержание военно-учетных специальностей и образовательных программ; модернизировать систему военных вузов, включая их материально-техническую базу; сформировать систему непрерывного дополнительного профессионального образования военнослужащих. При таком подходе государство уже на выходе из училища получит высокопрофессиональных и подготовленных к условиям фронтовой службы офицеров. Между тем, новая образовательная политика возникла не на пустом месте — в ряде военных вузов она уже отрабатывалась. Так, в Михайловской военной артиллерийской академии практика опережающего обучения курсантов принята давно, о чем и



*Член-корреспондент РАРАН,
генерал-лейтенант С.А. Баканев*

рассказал ее начальник, член-корреспондент РАРАН генерал-лейтенант С.А. Баканев.

Целью и критерием качества обучения изначально считали умение курсантов профессионально действовать в боевой обстановке, а его проверкой стало участие личного состава в специальной военной операции на Украине. Более 330 преподавателей побывали там (часто неоднократно) в боевых командировках, 241 из них награждены государственными наградами. Все без исключения слушатели академии также прошли СВО. Осмысливая и обобщая полученный на фронте опыт, преподавательский состав внес в образовательные программы более 450 изменений, скорректировал более 20 % содержания учебного материала военно-профессиональных дисциплин, разработал свыше 1000 учебно-методических материалов для проведения занятий и более 120 учебных изданий. Была создана база данных, в которой собраны сведения о тактико-технических характеристиках отечественного и используемого противником вооружения, новых методах разведки, батарейной и контрбатарейной борьбы. Доступ к ней и другим аналитическим материалам организован через единую базу данных ВС РФ. В помощь военнотружущим РВиА выпускаются «Артиллерийский бюллетень» и «Сборник боевых примеров».

Курсантов детально знакомят с тактикой действий подразделений противника, состоящими на вооружении у ВСУ средствами развед-



*Академик РАРАН,
генерал-лейтенант А.В. Топоров*

ки, управления и огневого поражения, а способы их поражения отрабатываются на учениях. Новые дисциплины, такие как «Эксплуатация и применение БПЛА» (с практическими занятиями с квадрокоптерами Mavick-2, 3), изучение вопросов искусственного интеллекта и моделирования боевых действий (с опытом пользования комплексами средств автоматизации управления артиллерийскими подразделениями «Планшет-А», а также программным обеспечением «Лис» и «Репей») — включены в образовательный курс по всем специальностям. Отечественное артиллерийское вооружение изучается во всем его многообразии — и на тренажерах, и в полевых условиях: как новейшие разведывательно-огневые комплексы, в которые входят (САО «Коалиция-СВ», «Мальва», «Гиацинт-К», РЛК «Ястреб-АВ», КББ-С, «Ирбис-СВ», «Гармонь-М», АЗТК «Пенициллин»), так и образцы, ранее считавшиеся устаревшими, но хорошо зарекомендовавшие себя в ходе боевых действий. В итоге из стен академии выходят офицеры, уверенно владеющие артиллерийским мастерством, способные самостоятельно принимать решения в боевой обстановке и действовать слаженно с другими подразделениями.

Не менее сложные задачи стоят и перед Военной академией материально-технического обеспечения им. А.В. Хрулева (ВА МТО) — их охарактеризовал академик РАРАН генерал-лейтенант А.В. Топоров. По совокупности показателей



этот вуз всегда лидирует среди военных учебных заведений. Помимо обучения курсантов, адъюнктов и слушателей в нем ведется напряженная работа по разработке новых видов военной техники. В академии зарегистрированы и успешно развиваются 23 научные школы. Из 12 научных рот, развернутых в структуре Министерства обороны, только три созданы на базе вузов, и один из этих вузов — ВА МТО. На ее базе идет апробация перспективных технических средств, которые затем поступают на фронт, а вообще ВА МТО проводит полный цикл разработки техники и ее военно-научное сопровождение, включая работу с предприятиями ОПК и воинскими частями, в том числе на линии боевого соприкосновения, — от планирования образцов до их реального применения.

Перед системой МТО в целом поставлена масштабная задача — обеспечить всем необходимым ведение военных операций не менее чем на двух стратегических направлениях. Для этого создается современная эшелонированная система хранения ВВСТ, в которой соотношение техники в боевой готовности к зарезервированной будет не менее, чем 1:5. Для того чтобы вся эта система могла оперативно и динамично реагировать на изменение ситуации, ее необходимо оптимизировать, внедряя прогрессивные технологии обработки информации. Уже к концу 2025 года органы МТО должны на 100 % обеспечить российскую группировку в зоне СВО современными видами ВВСТ, а также гарантировать надлежащую защиту арсенала

лов, баз, предприятий, провести строительство и ремонт автомобильных дорог, инфраструктуры, военных городков. Во всех этих начинаниях в первую очередь участвуют специалисты ВА МТО и трех ее филиалов, а также подконтрольных ей вузов и НИИ.

Военная теория — ключ к доминированию

В практике боевых действий уточняются, переосмысливаются на новом уровне многие положения военного искусства. Все они так или иначе связаны с ответом на вопрос, как наиболее результативно использовать свой боевой потенциал. Идея во что бы то ни стало опередить противника, которую Суворов облёк крылатую фразу «Быстрота и натиск», на языке современной науки отлита в чеканную формулу: подвижность боевой мощи оценивается импульсом боевого потенциала — произведением оперативной скорости на величину боевого потенциала. Об этом уже рассказывал на предыдущих конференциях начальник главного штаба ВМФ РФ, член-корреспондент РАН адмирал В.Л. Касатонов. В этот раз он продемонстрировал, как ее применить прикладным образом на примере управляемого, в том числе ракетного, оружия. Его развитие шло параллельно двумя путями (один — разработка систем наведения, другой — наращивание боевой мощи заряда вплоть до ядерного), пока не достигло предельных на данный момент возможностей в виде оружия, названного высокоточным. Если



Участники конференции



*Член-корреспондент РАН,
адмирал В.Л. Касатонов*

далее повышать точность наведения, цена будет зашкаливать, а если наращивать массу заряда — снизится подвижность ракеты, и противнику будет легко ее сбить. Опыт применения управляемого оружия показал, что выход — не столько в наращивании его количества, сколько в придании ему свойства избирательности. Избирательное оружие способно выделить назначенную цель среди прочих целей (например, авианосец, следующий в охранении других кораблей) или среди помех и поразить именно ее с высокой точностью. Но существует еще и внутрицелевая избирательность, когда удар осуществляется в самое уязвимое место корабля — например, в винторулевую группу, выход из строя которой лишит транспорт хода. Для этого может потребоваться всего одна ракета или торпеда, а не целая их стая, атакующая защищенный корпус. Тот же принцип работает и с наземными, воздушными целями. Оружие с внутрицелевой избирательностью не перетяжелено излишним зарядом, может иметь компактные габариты и с легкостью перемещается одним носителем небольшого размера. Оно должно быть наделено не только собственной системой наведения, но и бортовым интеллектом, а в будущем оружие с внутрицелевой избирательностью должно научиться выбирать не только уязвимые элементы цели, но и оптимальное время ее поражения, последовательность воздействий на цель и характер каждого из них, то есть само

решать, как нанести гарантированный ущерб, и осуществить это. С таким оружием процесс планирования военных действий выходит на новый уровень.

Законодательная поддержка

Уже упоминалось о том, что множество устаревших законодательных и административных норм, оставшихся с мирных времен, препятствуют силовым структурам эффективно вести боевые действия на фронте, а в тылу — защищать население и особо важные объекты. Но это лишь одна из проблем, требующих разрешения в законодательном порядке. О том, какие подвижки происходят в данном направлении, рассказал депутат Государственной Думы, Герой России, член-корреспондент РАН генерал-полковник В.А. Шаманов. Он указал на то, что мир вошел в фазу турбулентности, и Россия, по большому счету, оказалась один на один с коллективным Западом. В итоге образовалось множество направлений в деятельности государственных структур, которые требуют урегулирования, в том числе правового. Прежде всего, это, конечно, связано с ситуацией на Украине и вокруг нее. Но есть еще Ближний Восток, где тысячи жизней уносят агрессия Израиля и международный терроризм. Есть «взорванная» изнутри Сирия и перспективы России наладить диалог с ее новыми властями. Есть



Выставка спецсредств



*Член-корреспондент РАН
Герой России В.А. Шаманов*

интересы России в Ливии, на которую давно облизываются США и Турция, а в конечном счете все эти проблемы завязаны на позиции России в переговорах с США, которые рано или поздно должны привести к какому-то долгосрочному результату — и он будет тем больше в нашу пользу, чем значительнее мы продвинемся на Украине.

Но победа в СВО трудно представима без решения множества вопросов внутренней политики страны — в первую очередь, касающихся поддержки защитников Отечества и их семей. С начала СВО был значительно «усовершенствован» военный пакет законов — принято или обновлено 120 из них. Так, расширены трудовые гарантии для участников СВО; уточнен механизм предоставления им льгот, в т.ч. земельных участков; установлены выплаты ветеранам боевых действий, а тем, кто получил инвалидность, — порядок предоставления автомобиля с ручным управлением; родителям и супругам раненых отныне будет предоставляться оплачиваемый отпуск. Семьи военнослужащих тоже оказались в фокусе внимания законотворцев: имеющим детей-инвалидов в первоочередном порядке будет предоставляться жилье, и они получают право на две пенсии, а дети погибших бойцов и офицеров — льготы на образование. Это далеко не полный перечень нововведений, которые касаются и налоговых вычетов, и поддержки бизнеса, и других льгот.

Законодательное регулирование коснулось и работы оборонно-промышленного комплекса. Военный конфликт получился затяжным, а расход техники, вооружения, боеприпасов — высоким. Расчет на поставки из других стран себя не оправдал. Пришло понимание: надо рачительнее относиться к тем производственным мощностям, что имеем. Ранее приватизированные частные предприятия, которые срывают поставки, постепенно обращают в государственную собственность. Против руководителей предприятий, не выполняющих гособоронзаказ, прокуратурой вводятся меры наказания вплоть до уголовного преследования. С 2022 года в собственность государства вернули более ста предприятий стоимостью около триллиона рублей, так как их собственники «наносили ущерб обороноспособности страны».

В 2024 году было проведено 50 заседаний Комитета Государственной Думы по обороне, на них обсуждено и выдвинуто более 150 законопроектов, призванных отвечать вызовам времени, обеспечить юридическую защиту всем гражданам, рискующим жизнью и здоровьем, поддерживая СВО. Так, согласно поправкам, внесенным в Закон «О благотворительной деятельности и добровольчестве (волонтерстве)», и Указу Президента РФ от 11.03.2024 № 181 «О дополнительных социальных гарантиях отдельным категориям лиц», священники-добровольцы, работающие в зоне СВО, будут обеспечены

социальными гарантиями наравне с волонтерами. Законотворческая работа, включающая меры защиты для тех, кто находится на переднем крае борьбы за истинный суверенитет России, урегулирование ряда остро стоящих вопросов (преступность, миграционная политика и т.д.) — важный и нужный этап в консолидации общества вокруг целей СВО, и эта работа будет продолжаться вплоть до внесения поправок в Конституцию, — заверил собравшихся Владимир Шаманов.

Новые отечественные материалы

Несмотря на отдельные недостатки в деятельности предприятий ОПК, абсолютное их большинство проявили чудеса мобилизации сил, средств, научного потенциала, уже четвертый год работают в режиме постоянного трудового подвига, удовлетворяя и даже упреждая нужды фронта. В условиях международных санкций против РФ в области передачи передовых технологий СВО дала мощный толчок к интенсификации собственных изысканий и внедрению их результатов в производство. Это хорошо видно на примере российского лидера в области выпуска средств индивидуальной и коллективной защиты АО «НПО Спецматериалов». Его генеральный директор — генеральный конструктор академик РАН М.В. Сильников в своем выступлении обрисовал ситуацию 2022 года: нужно было экипировать десятки тысяч бойцов, а средств индивидуальной бронезащиты (СИБ) катастрофически не хватало. Нарастивать производство мешал дефицит защитных материалов, особенно так называемой мягкой брони — арамидных тканей (в России их выпускали в очень ограниченном количестве) и высокомолекулярного полиэтилена (отечественные его аналоги отсутствовали, а китайская продукция не удовлетворяла по качеству). И в НПО Спецматериалов решились самостоятельно восполнить этот пробел, создав с нуля или усовершенствовав многие технологии. Начать с арамидной ткани: для обеспечения нужного уровня защиты требуется множество ее слоев, что делает конечное изделие громоздким и тяжелым, ограничивая подвижность человека. В НИИ Спецматериалов при объединении была разработана технология, основанная на пропитке баллистических тканей



Академик РАН М.В. Сильников

жидкими химическими составами различных рецептур: они вступают в слабые химические связи с полимерными цепями волокон ткани, склеивая их между собой, и в итоге прочность материала повышается при сохранении его гибкости. В 2023 году в АО «НПО Спецматериалов» было запущено первое и единственное в России производство нетканого полотна из нитей сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) под торговой маркой «РУССИЛ». Прочностные характеристики СВМПЭ намного выше, чем у арамидных тканей, а структура — более однородна и поэтому способна выдерживать многократные пулевые воздействия. Это делает его наиболее предпочтительным материалом для создания тыльных слоев композитных защитных структур при изготовлении гибких защитных элементов бронежилетов, СИБ конечностей, противоскольных накидок, оболочек бронешлемов и др. изделий. Жесткие и гибкие защитные элементы из «РУССИЛа» используются для защиты транспортных средств на суше, воде и в воздухе.

Параллельно в объединении работают над созданием и развитием новых типов броневых керамик. Так, из обычного силикатного сырья путем контролируемой кристаллизации был получен дешевый и технологичный вид стеклокерамики — бронеситалл. Вместе с тыльным слоем из СВМПЭ он входит составной (лицевой) частью в разработанный композитный образец, который в результате испытаний при обстреле из АК-103 пулями калибра 7,62 мм подтвердил

класс защитной структуры Бр 4 — как у более трудозатратной и дорогой корундовой керамики. Также совместно с академиком РАН В.Я. Шевченко были разработаны броневые структуры на основе композитной алмазосодержащей карбидокремниевой керамики «Идеал». Образцы бронепанелей на основе керамики «Идеал» и СВМПЭ успешно прошли испытания по классам защитной структуры Бр 4, Бр 5 и Бр 6, выдерживая попадания пуль калибра 7,62 мм и 12,7 мм даже в самый край панели. Наилучшие защитные свойства композитной алмазосодержащей карбидокремниевой керамики «Идеал» сочетаются с выигрышем по массе до 20–25 % в отдельных классах защитной структуры. И, наконец, в НПО Спецматериалов не прекращается работа по оптимизации броневых сталей и многослойных конструкций из них. Полученные броневые стали используются не только для изготовления противопульных защитных элементов в бронжилетах, но и для бронирования мобильных объектов. Все это в комплексе позволило существенно нарастить выпуск продукции, повысить ее качество, надежность и эргономичность.

Из фантастических блокбастеров

Исследователи отмечают изменение характера вооруженной борьбы во время войн последней волны во всех средах: на суше, на море, в воздухе. Хуситы атакуют ракетами и дронами непотопляемые американские авианосцы и вытесняют их из Красного моря. Украина, фактически потеряв свой флот в первые месяцы 2022 года, при военной помощи коллективного Запада перешла к тактике атак «волчьими стаями» безэкипажных катеров по кораблям ВМФ России. О том, как робототехника заявляет о себе на театре военных действий и какие принципы лежат в основе ее применения, рассказал заместитель начальника ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия им. Н.Г. Кузнецова», член корреспондент РАРАН вице-адмирал А.В. Карпов.

К морским робототехническим комплексам (МРТК) относят необитаемые аппараты: автономные подводные (АНПА) и надводные — автономные или телеуправляемые безэкипажные корабли (водоизмещением более 500 тонн) и катера (до 500 тонн). Эти средства используются для выполнения задач самостоя-

тельно или в составе тактических групп. В перспективе их собираются объединять в морские робото-технические системы. В России тоже разрабатывают МРТК, которые могут выполнять задачи на достаточном удалении от района запуска, особенно при использовании средств спутниковой связи, и, при минимальных затратах на их создание, нанести противнику значительный ущерб. Среди других преимуществ МРТК — способность создавать и поддерживать угрозу нанесения ущерба противнику до получения сигнала о начале действий, избирательно наносить поражение; универсальность и адаптивность при изменении задачи; малозаметность (корпуса, сделанные по стелс-технологии, и малая скорость при разворачивании затрудняют обнаружение и распознавание МРТК). Судя по этим возможностям, в среднесрочной и долгосрочной перспективе объем задач МРТК будет только возрастать.

Между тем, принципы их применения уже сложились на практике и изучены. Первый и наиболее важный из них — это «массирование»: когда для перенасыщения системы обнаружения противника запускается многочисленная группа МРТК, нацеленная на поражение наиболее важных объектов. Так, в период с 2022 по 2024 год ВСУ перешли от атак группами в составе двух — пяти БЭК к одновременному приме-



Член-корреспондент РАРАН,
вице-адмирал А.В. Карпов

нению 12–16, а иногда до 25 БЭК против одного корабля. Второй принцип — «многосферность»: например, одновременное применение АНПА и БЭК. И примыкающий к нему третий — «межсредность» — это когда один МРТК способен переходить из одной среды в другую и применять свою целевую нагрузку. Следующие два принципа связаны с вариативностью применения средств. Так, «многозадачность» подразумевает использование разнотипных МРТК в одной атаке, а «гибридность» — одновременное применение МРТК, традиционных сил и их оружия. Эффективность атак возрастает от использования принципа «упрощения», когда в ход идут недорогие, быстро построенные, даже на 3D-принтерах, МРТК-камикадзе одноразового применения. Принцип «переназначения» предусматривает переоборудование в военных целях гражданских МРТК. Под «резервированием управления» понимают использование открытых глобальных информационных сетей с высокоскоростной и широкополосной связью для управления МРТК и контроля их работы. Отдельно рассматривают такой принцип, как «активность применения», когда МРТК создают проблемы и отвлекают на себя силы противника — например, ограничивая судоходство, задерживая выход кораблей из пункта базирования, срывая оперативность действий. Конечно, никуда не уйти от принципа «скрытности» применения МРТК, а путей достижения ее множество: использование маскирующих свойств погоды, строгое соблюдение режима секретности, противодействие разведке противника. Из скрытности вытекает следующий принцип — «отвлечение»: здесь в ход идет дезинформация об ожидаемом появлении и имитация ложных МРТК, демонстрация действий их возможных носителей. И для полной дюжины осталось упомянуть два последних принципа: «распределения выделенного ресурса», суть которого понятна из названия, и «подскока», допускающего применение кораблей, подводных лодок, авиации и даже гражданских судов для доставки МРТК в районы применения. Каждый принцип по-своему уникален, однако ни один из них еще не гарантирует победу. Только комплексное использование всех принципов ведет к достижению цели. Поэтому, как эти принципы изменят содержание вооруженной борьбы на море, военной науке еще



Участники конференции

предстоит сформулировать законы, описывающие применение МРТК в операциях ВМФ.

В следующем докладе, который прочел директор проектного комплекса «Роботизированные авиационные системы» ФГБУ «НИЦ «Институт имени Н.Е. Жуковского», академик РАН генерал-лейтенант В.П. Кутахов, речь шла о совместном боевом применении беспилотных и пилотируемых аппаратов, но логикой поднимаемых проблем он чем-то перекликался с предыдущим докладчиком. В частности, уверенностью в том, что новые изделия в этой области надо конструировать, заглядывая далеко вперед — минимум на 5–10 лет, а не пытаться угнаться за вызовами текущего момента. Да, уже сейчас БПЛА проявили



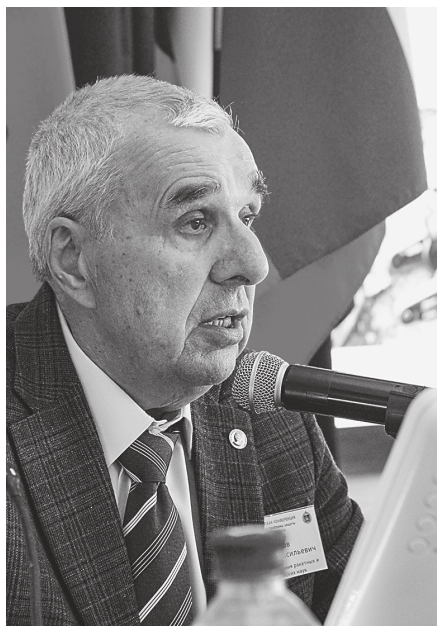
*Академик РАН,
В.П. Кутахов*

себя как очень серьезная и эффективная сила, по сути, изменили картину боевых действий. Но в вооруженных конфликтах значение огневой мощи понемногу начинает уступать мощи информационной. Критически вырастает роль связи, разведки, оценки боевой ситуации в реальном масштабе времени, следом за которыми мгновенно следует наведение средств огневого поражения или радиоэлектронного воздействия. Так что завтрашние боевые действия — за группами взаимодействующих беспилотников. Переход будет постепенным: от одиночного применения к групповым, коллективным действиям. Если вначале каждым БПЛА управлял отдельный оператор, то вскоре в его ведении окажется группа (малочисленная) однородных летательных аппаратов, преимущественно входящих в состав одного и того же комплекса. На повестке дня появление групп однородных БПЛА с интеллектуальным групповым управлением: оператор должен не управлять, а «руководить» группой БПЛА, формулировать для нее общие задачи, для чего тем необходима значительная степень автономности. Ну а затем уже настанет очередь смешанных авиационных группировок с использованием пилотируемых летательных аппаратов в роли лидеров. Дальнейшим витком этой эволюции станет формирование многоэшелонных групп взаимодействующих разнородных аппаратов, решающих совокупность разноплановых задач и объединенных единой стратегией и замыслом. Причем речь здесь идет о сложных группировках беспилотной пилотируемой техники, которые состоят из аппаратов ближнего действия, тактической, оперативно-тактической и стратегической зон. На их основе станет возможным создавать крупномасштабные авиационные системы для выполнения сложных комплексных объединенных задач (миссий) во взаимодействии с другими распределенными (наземными, морскими) группировками. По мере того, как будет увеличиваться автономность действий авиационных группировок, поле боя станет ареной столкновений между автономными роботизированными формированиями без участия человека. Решать эти задачи надо последовательно, но с опережением реальной практики.

На данном этапе для нас (да и во всем мире) планкой, которую надо взять, становится создание единого комплекса из беспилотных и пилотируемого аппаратов. Пока еще искусственный

интеллект не способен во всем конкурировать с интеллектуальной мощью пилота, его способностью и выучкой оценивать ситуацию и планировать боевое применение, вовремя реагируя на изменения ситуации. Поэтому совместное применение беспилотных и пилотируемых летательных аппаратов дает синергетический эффект. Массово выпускаемая дешевая беспилотная техника должна действовать в зоне повышенной опасности, в то время как пилот будет держаться подальше от линии боевого соприкосновения, решая в основном интеллектуальные задачи. К пилотируемому самолету прикрепляются (в разной конфигурации) несколько БПЛА: разведчики (с оптико-электронной, радиотехнической системами, РЛС), а также БПЛА с огневými или радиоэлектронными средствами поражения. Решить задачу координации действий всего этого беспилотного эстака крайне непросто — начиная с прокладывания индивидуального маршрута для каждого к району применения. Дальше потребуется оценка боевой ситуации, которая складывается из обобщения информации, получаемой от внешних источников и от самих участников боевого применения, то есть с каждого беспилотника, а также доведение этой оценки до каждого летательного аппарата (ЛА) в группе в обход средств информационного противодействия противника. По мере сбора информации определяются не только цели поражения, но и их приоритетность, очередность — между БПЛА группы распределяются задачи конкретных воздействий на конкретные объекты с учетом их взаимного пространственного расположения, влияния среды, особенностей информационных признаков объектов. После выполнения воздействия оцениваются его результативность и техническое состояние элементов группы БПЛА, и затем они перегруппировываются для выполнения новых задач.

Под данную концепцию с переменным успехом ведутся разработки во многих странах мира: США, Китае, Индии, Турции, даже в Австралии. Американская компания Anduril работает над новыми ударными беспилотниками проекта YFQ-42A и YFQ-44A в рамках программы Collaborative Combat Aircraft. Их готовят к роли ведомых для пилотируемых самолетов. Так, F-35 планируют придавать два беспилотника, а будущему самолету шестого поколения — уже пять.



*Академик РАН,
А.В. Игнатов*

Все это встраивается в новую американскую концепцию «мозаичной войны», в которой существующие или новые системы (морские, наземные, воздушные), как отдельные плитки в мозаике, будут каждый раз по-новому объединяться для достижения поставленной цели, что значительно сократит временные циклы и повысит адаптивность военного потенциала.

Но заявить легче, чем сделать: на пути к осуществлению этих замыслов стоят целые комплексы проблем. Во-первых, военно-теоретического уровня: от военных требуется техническое обоснование для будущих комплексов, а это задача со многими неизвестными, ведь в мире вообще отсутствует опыт совмещения беспилотников и самолетов в боевом применении. непонятно, как заранее определить уровень автономности БПЛА, распределить задачи между ним и пилотируемым аппаратом. И более узко — можно ли давать беспилотнику право самостоятельно принимать решение на поражение? До сих пор большинство специалистов склонялось к отрицательному ответу на этот вопрос. Но и когда необходимые ответы будут найдены, предстоит продираться сквозь целый лабиринт научно-технических проблем: исследовательских (начиная с конфигурации систем управления и заканчивая путями применения технологий ИИ); алгоритмических, программных и аппаратных — для

реализации систем управления групповым взаимодействием ЛА; системных (все, что касается создания конфигурации группы, целераспределения, целеуказания, уровней автономизации, полномочий членов, системы информационного обмена); организационных (от разработки — к испытаниям — и до совместного боевого применения); нормативных (формирование правовой и нормативно-технической базы, создание системы стандартов по самым разным техническим аспектам). Чем глубже на старте будут осмыслены все эти вопросы, тем легче будет преодолеть весь путь.

О безэкипажной технике на море, в воздухе мы узнали, а что же на суше? Там тоже всю уже действуют робото-технические комплексы (РТК) различного функционального назначения: боевые, разведывательные, транспортные, инженерные... О них рассказал представитель АО «КБП» академик РАН А.В. Игнатов. Чтобы не усложнять классификацию, производство и ремонт роботов излишним многообразием конструкций, в мире наметилась тенденция к размещению функциональных модулей на базе универсальных платформ. Одни модули занимаются сбором первичной информации, другие — ее обработкой, третьи, интерфейсные, — обмениваются информацией с другими РТК, входящими в единую систему управления, и т.д.

Что касается боевых РТК, то, по мировому опыту применения, наиболее распространенным вооружением для них являются пулеметы и гранатометы. Как по отдельности (например, пулемет калибра 12,7 мм плюс значительный боекомплект к нему), так и вместе (в дополнение к пулемету 40-мм гранатомет). На более массивных платформах размещают пусковые установки с управляемыми ракетами или БПЛА, действующие на больших дальностях.

В отечественной практике в зоне СВО используется многоцелевой комплекс «Депеша», разработанный предприятиями из состава холдинга «Высокоточные комплексы» (входит в госкорпорацию «Ростех»). Это дистанционно управляемая по радиоканалу многоцелевая платформа с грузоподъемностью 100 кг, пригодная для разного целевого назначения — на фронте ее уже всю используют, в основном в транспортной конфигурации, — для подвоза продуктов, боекомплекта, эвакуации раненых и т.п.

Но в другом оснащении «Депеша» может поражать живую силу противника, подавлять доты, дзоты, уничтожать «зубы дракона» и прочие заграждения, минировать местность.

Все большее распространение получают и необитаемые безэкипажные боевые модули, задача которых усилить огневые возможности бронированной техники и защитить личный состав. Сейчас в процессе модернизации боевых машин на их бронебашне начали устанавливать боевой модуль «Бережок». Помимо 30-мм пушки, автоматического гранатомета и пулемета, он включает в себя сразу четыре установки противотанкового ракетного комплекса «Корнет» разработки Тульского конструкторского бюро приборостроения. У «Бережка» уникальная система управления огнем: комбинированная с визирным, тепловизионным, лазерным дальномерами система прицеливания, а также автоматическая система наведения на цель и управления огнем. Боевое отделение «Бережок» успешно прошло апробацию и в борьбе с безэкипажными катерами. Им могут оснащаться сторожевые корабли и береговые фортификационные сооружения.

Все для фронта, все для победы

Без сомнения, за новыми наукоемкими направлениями развития ВВСТ — будущее воору-

женных сил. Но пока оно еще не наступило — и вооруженные конфликты разрешаются здесь, на земле, часто традиционными методами, так что даже разархивируют устаревшее оружие, потому что его потенциала достаточно для решения каких-то задач. При том что в день тратятся десятки тысяч боеприпасов, выходит из строя военная техника, а оборонная промышленность работает на износ для восстановления их запасов, вопросы рачительного расходования средств и сил при исполнении военного бюджета выходят на первый план. Как удовлетворить нужды фронта, не забывая кредитовать перспективные разработки? Как наиболее эффективно использовать имеющиеся резервы и всегда ли новое и дорогое предпочтительнее старого и дешевого? Об этом тоже шла речь на конференции.

В условиях проведения СВО непрерывно идет совершенствование системы управления созданием ВВСТ. О том, как строится этот процесс, аудитория узнала, можно сказать, из первых рук — из доклада, авторами которого являются заместитель министра промышленности и торговли К.А. Лысогорский и двое заместителей генерального директора ФГУП «ВНИИ «Центр» А.Ю. Мушков (на фото) и Я.И. Терехов. Нормативной базой для наращивания производства и поставок особо востребованных образцов ВВСТ, в дополнение к основополагающим документам — государственной программе вооружения



На заседании симпозиума
«Военно-морской флот Российской Федерации: настоящее и будущее»

А.Ю. Мушков

(ГПВ) и государственному оборонному заказу (ГОЗ), стали Указ Президента Российской Федерации от 21 октября 2022 года № 763 «О Координационном совете при Правительстве Российской Федерации по обеспечению потребностей Вооруженных Сил Российской Федерации, других войск, воинских формирований и органов», постановления Правительства РФ, решения коллегии Военно-промышленной комиссии РФ и поручения Минпромторга России. Сроки и объемы разработок и выпуска образцов ВВСТ, увязанные с необходимым расширением и модернизацией производственно-технологической базы ОПК, прописаны в государственной программе «Развитие оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации» (ГП ОПК). И хотя требования многократного наращивания в сжатые сроки объемов производства ВВСТ и обеспечения ритмичности поставок формулировались с учетом угроз и рисков для ОПК из-за санкционного давления, возможных атак на предприятия отрасли, вызовы оказались крайне серьезными. Кратное увеличение объемов заказов выявило недостаточность производственных мощностей организаций ОПК, даже при их полной загруженности, а также дефицит квалифицированных кадров. Ускоренными темпами росли стоимость основного сырья и материалов, сроки поставок комплектующих и электронно-компонентной базы, особенно иностранного производства. При этом создание их отечественных аналогов, а также полностью российского программного обеспечения при автоматизации технологических процессов требовали существенного времени и вложений.

В систему планирования и управления производством ВВСТ потребовалось оперативно вносить качественные изменения. Для решения оперативных задач созданы новые органы: Координационный совет при Правительстве РФ по обеспечению потребностей Вооруженных сил, совместные рабочие группы коллегии Военно-промышленной комиссии, Минобороны, Минпромторга, других федеральных органов исполнительной власти и организаций ОПК. Для отладки механизмов поставок на площадке Минпромторга России созданы три оперативных штаба: по поставкам комплектующих изделий, узлов и агрегатов; по комплектованию электронной компонентной базой; по обеспечению

сырьем и материалами. Эффективным методом стало формирование новых видов краткосрочных плановых документов и графиков производства по всей цепочке производства ВВСТ.

На основе работы оперативных органов определялись меры государственной поддержки предприятий. В частности, по технологическому перевооружению и капитальному строительству им оказывается приоритетное финансирование, в том числе в рамках сверхлимитной контрактации; предоставляются льготные условия кредитования, субсидии на ускоренную подготовку производства к увеличенному объему выпуска. Предпринимаются усилия по обеспечению предприятий профессиональными кадрами.

С другой стороны, шел процесс оптимизации организации труда на самих предприятиях и организациях ОПК: вводился круглосуточный режим работы, был организован видеомониторинг основных производственных площадок, упрощен порядок организации работ и технологических процессов изготовления продукции. В изделия ВВСТ вносились конструктивные изменения, направленные на сокращение производственного цикла, снижение норм расхода материалов или использование их аналогов.

Для внедрения новых межведомственных механизмов управления поставками ВВСТ было создано новое научно-методическое обеспечение с использованием технологий искусственного интеллекта Big data. Оно позволяет проводить углубленную оценку промышленной реализуемости графиков производства, прогнозировать угрозы и риски срывов их выполнения, оценивать эффективность расходования субсидий и т.д. В совокупности все эти меры помогли стабилизировать обстановку и выстроить планомерную работу с учетом изменяющихся политических, экономических и фронтовых обстоятельств.

Председатель Научно-технического комитета (развития вооружений) МО РФ, генерал-майор С.Н. Смолинский в своем выступлении также сделал упор на совершенствовании военнотехнического обеспечения войск. В Министерстве обороны к этому делу относятся рачительно. Налажена многоступенчатая система ремонта неисправной техники: в основном в самих соединениях или с выездом ремонтных бригад, а при надобности — с привлечением гражданских



Генерал-майор С.Н.Смолинский

специалистов. Лишь незначительную ее часть отправляют для восстановления на предприятия. Одновременно, с набором статистики, в технике выявляют и устраняют конструктивные и эксплуатационные недостатки. Так, определенные трудности вызывало налаживание массового использования дронов, улучшение проходимости техники и другие моменты, но они были преодолены.

В строй ставят и трофейную иностранную технику. Но основной мотив для ее добычи — найти слабые уязвимые места и скопировать удачные конструкторские решения, а также изучить опыт боевых действий с ее участием. Для этого налажено межведомственное взаимодействие между МО, военно-промышленными корпорациями, конструкторскими бюро — уже исследовано несколько сот образцов военных трофеев.

Но на старых запасах, даже при условии бережного с ними обращения, долго не проживешь. Модернизационный потенциал и ресурс техники в войне быстро заканчивается, однако у Минобороны накоплен задел перспективных образцов вооружения. В течение последних двух лет сложилась система оценки его научно-технической готовности. На заседаниях Научно-технического комитета принимаются решения о постановке и корректировке задач по вопросам создания и совершенствования ВВСТ. При оценке ОКР в первую очередь ориентируются на то, получилось ли достичь результата с минимальными рисками. И такой подход себя оправдывает: практически по всем позициям российское вооружение

выходит намного дешевле иностранного (в среднем в 9 раз), но по тактико-техническим характеристикам не уступает, а часто даже и превосходит его.

В целом же, как отметил, выступая 25 мая 2024 года на совещании с руководством организаций ОПК в г. Королев, Президент России В.В. Путин, рост объемов производства составил: по ракетно-артиллерийскому вооружению — более чем в 22 раза; по средствам радиоэлектронной борьбы и разведки — в 15 раз; по боеприпасам и средствам поражения — в 14 раз; по автомобилям — в 7 раз; по средствам индивидуальной бронезащиты — в 6 раз; по авиационной технике и беспилотным летательным аппаратам — в 4 раза; по бронетанковому вооружению — почти в 3,5 раза.

Война и мир — размывание границ

Мир стремительно меняется, теряют влияние прежние центры силы, но, не желая смириться с потерей былой значимости, они уповают на то, что вернут ее через военное превосходство. Поэтому даже когда мы достигнем целей СВО, расслабляться точно не придется. Эти, пока будущие, но уже сейчас понятно, что системные угрозы были проанализированы в докладе, подготовленном специалистами АО «НИИ ТП».

Военное командование США и их союзников разрабатывают концепцию многодоменного противостояния — одновременного ведения войны в различных физических средах (доменах): на поверхности, на воде и под водой, в воздухе, в космосе и в киберпространстве, в ходе чего достигается синергетический эффект от комплексирования их преимуществ. Для перехода к многогосферному превосходству все силы и средства должны быть информационно настолько сильно увязаны между собой, чтобы мгновенно перейти к действию в соответствии с ситуацией и общим замыслом. Такая феноменальная связанность, причем в реальном масштабе времени, требует глобальных изменений парадигмы информационной составляющей ведения боевых действий. Автоматизированный (автоматический) обмен данными между разнородными платформами, датчиками и потребителями невозможен без формирования облачной среды, обеспечивающей адресность и своевременность получения

нужной информации. Для этого уже сейчас ВС стран НАТО внедряют у себя единые требования к информационному обеспечению: унифицированные средства связи, единые стандарты разработки ПО, интерактивные информационные платформы. Создание единой информационно-разведывательной управляющей среды — самый наукоемкий этап подготовки к многодоменным войнам. Здесь воедино увязаны космические технологии (связь, навигация, синхронизация, отслеживание ракетных угроз, мобильных целей, поддержка наземной и стартовой инфраструктуры и в целом контроль миссии); роботизированные платформы, способные действовать в составе «роя», «стаи»; искусственный интеллект; квантовые и нано-технологии; новые источники и беспроводная передача электроэнергии и многое другое. Основой вооружения станет оружие высокоточное и гиперзвуковое, а также нелетальное и основанное на новых физических принципах (СВЧ, лазеры, инфразвук), средства ведения борьбы в электромагнитном спектре. И не надо думать, что у нас есть время на раскачку. США уже приступили к перевооружению армии, созданию новой системы ПРО «Золотой купол», для чего осуществляют перезагрузку своего ВПК. На Украине НАТО практически отрабатывает способы междоменной конвергенции. И не будем забывать: против нас никогда не переставали вести гибридную войну, которая все больше приобретает высокотехнологичный характер.

На необходимости стратегического информационного сдерживания, особенно когда комплексным информационно-техническим и информационно-психологическим воздействиям подвергаются объекты критической информационной инфраструктуры, сделал акцент в своем докладе представитель 4 ЦНИИ Минобороны России член-корреспондент РАН С.М. Климов. Арсенал средств противника на этом поле велик: фейки, слухи и прочая дезинформация, ложные интернет-звонки и сообщения в мессенджерах, массовые интернет-сообщения, сбор персональных данных для создания угрозы специалистам и членам их семей, навязывание морально-разлагающих сайтов и агрессивной и криминализированной рекламы и многое другое. К информационно-техническому воздействию на объекты критической информацион-



Член-корреспондент РАН С.М. Климов

ной инфраструктуры можно отнести: хакерские атаки на информационно-телекоммуникационные сети, автоматизированные системы управления; использование данных, полученных из космоса, — от космических аппаратов дистанционного зондирования Земли (делающих снимки с разрешением до десятков сантиметров), систем спутниковой связи (например, на базе космических аппаратов (КА) Starlink и OneWeb), глобальных навигационных спутниковых систем (например, GPS) и, наконец, непосредственно удары высокоточным оружием большой дальности и БПЛА. Словом, для того чтобы вывести из строя любую систему «человек-машина», воздействие оказывается на обе ее составляющие, что для противника облегчается наличием в них уязвимостей, обусловленных использованием зарубежного программного обеспечения и элементной компонентной базы, а также сложившейся зависимостью части населения РФ от зарубежных деструктивных интернет-ресурсов.

Чтобы обеспечить противодействие этим комплексным воздействиям на объекты критической информационной инфраструктуры, надо решить ряд задач. Создать систему раннего прогнозирования, выявления и предупреждения подобных угроз на основе идентификации их источников, для чего разработать специальные аппаратно-программные комплексы. Повысить защищенность и устойчивость



*Академик РАН
А.А. Рахманов*

функционирования единой сети электросвязи РФ, российского сегмента сети «Интернет» для недопущения иностранного контроля за их функционированием и использования в деструктивных целях. Обеспечить системное противодействие использованию информационной инфраструктуры РФ и электронных средств массовой информации экстремистскими и террористическими организациями, специальными службами и пропагандистскими структурами иностранных государств. С этой заразой надо бороться системно и на корню — прежде всего потому, что воздействие ее неочевидно, но оттого не менее губительно.

В некотором роде обобщающим стало выступление академика РАН генерал-лейтенанта А.А. Рахманова. Подводя промежуточные итоги специальной военной операции, он отметил ее глобальное воздействие на жизнь страны и развитие ее Вооруженных сил. Не сбылось много прогнозов и надежд: на быстроту операции ценой «малой крови», поддержку со стороны населения Украины, невмешательство стран НАТО из-за страха ядерной эскалации, возможности нашей рыночной экономики и т.д. СВО стало проверкой всех составляющих военного дела, необходимых для обеспечения национальной безопасности России: надежности системы защиты населения

и военной и промышленной инфраструктуры; организации территориальной обороны и действий региональных властей; качества планов военного строительства и технического оснащения; прогноза новых форм и способов вооруженной борьбы; мобилизационной и технической готовности к ведению длительной крупномасштабной войны с коллективным Западом и т.д. Мы многого достигли за последние три года. Войска и системы вооружения ВС РФ адаптировались к самым продвинутым (как организационно, так и технически) западным способам вооруженной борьбы. В результате полученного опыта стали понятны направления развития, модернизации российских ВВСТ, необходимые объемы их производства. Вопреки небывалому санкционному давлению мы смогли укрепить экономику, армию, ВПК, консолидировать здоровые силы общества и избавиться от лжепарииотов, получить международную поддержку среди развивающихся стран. Объединенный Запад понес большие физические и репутационные потери: в мире упал престиж их вооружения, в противостоянии с Россией практически исчерпались запасы техники на их складах, а по объему выпуска основных видов вооружения Россия кратно опережает всех их вместе взятых. Там, наконец, поняли, что на поле боя Россию не победить и всерьез задумались о мирных переговорах.

Но полностью признать свое поражение, отказаться от глобального лидерства Запад, конечно, не готов — под его реваншистские планы уже перестраивается экономика ведущих стран. В силу технологического преимущества Западной коалиции (особенно в области цифровизации войск, космических систем военного и двойного назначения, производства дальнобойных высокоточных ракет, интеграции войск на поле боя и др.) новые вызовы для России будут на порядок опаснее нынешних. Вся система военной безопасности страны требует значительного пересмотра, основанного на тщательном научном анализе. В силу того, что система ядерного сдерживания не смогла остановить эскалацию боевых действий на Украине (по объему оказываемой помощи она фактически уже является членом НАТО), особого внимания требуют вопросы развития стратегических неядерных вооружений, систем разведки и предупреждения о нападении на РФ, средств



Участники конференции

противодействия космическим системам, противовоздушной и противоракетной обороны на театре войны и в глубине территории страны. Для этого необходимо повышать мобилизационную готовность оборонной промышленности, снижать ее зависимость от западных комплектующих, сырья и промышленного оборудования, искоренять лоббизм и некомпетентность части государственных чиновников высокого уровня. Много проблем сохраняется в военной науке, которая давно уже стала движущей силой раз-

вития ВС РФ — ее надо активно поддерживать, стимулировать, а к ее рекомендациям — прислушиваться. Достижение баланса в развитии Вооруженных сил, систем их вооружения, подготовки войск всегда будет временным и непродолжительным, потому что скорости, с которой сейчас происходит гонка вооружений, внедрение новых технологий в практику боевого применения, не было аналога в истории.

© журнал «Защита и безопасность»

УДК 378.4

doi: 10.53816/20753608_2025_2_22

**ОСОБЕННОСТИ ВОСПИТАТЕЛЬНОЙ И ВОЕННО-ПАТРИОТИЧЕСКОЙ
РАБОТЫ В ВОЕННЫХ УЧЕБНЫХ ЦЕНТРАХ
ПРИ ФЕДЕРАЛЬНЫХ ГОСУДАРСТВЕННЫХ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПЫТА СПЕЦИАЛЬНОЙ ВОЕННОЙ ОПЕРАЦИИ**

**FEATURES OF EDUCATIONAL AND MILITARY-PATRIOTIC WORK
IN MILITARY TRAINING CENTERS AT FEDERAL STATE EDUCATIONAL
INSTITUTIONS OF HIGHER EDUCATION USING THE EXPERIENCE
OF A SPECIAL MILITARY OPERATION**

Чл.-корр. РАРАН В.А. Шаманов^{1,2}, В.В. Кулаков^{1,2}, Е.И. Каширина³, О.Ю. Каширина¹

¹Государственная дума РФ, ²Финансовый университет при Правительстве РФ,

³Кубанский государственный технологический университет

V.A. Shamanov, V.V. Kulakov, E.I. Kashirina, O.Yu. Kashirina

Статья посвящена анализу организации и проведения воспитательной и военно-патриотической работы в военных учебных центрах при образовательных учреждениях высшего образования на современном этапе и призвана обозначить проблемы в деле планирования и проведения мероприятий учебно-воспитательной и военно-патриотической работы и предложить соответствующие решения с учетом опыта специальной военной операции. Работа может быть использована руководителями научных и учебных подразделений для организации воспитательной и патриотической работы в военных учебных центрах и военных вузах.

Ключевые слова: военный учебный центр, организация, личный пример, воспитание, политическое информирование, профессия, специальная военная операция, боеготовность, общественно-политический процесс, политические события, боевой опыт.

The article is devoted to the analysis of the organization and conduct of educational and military-patriotic work in military training centers at educational institutions of higher education at the present stage and is intended to identify problems in planning and conducting educational and military-patriotic work and propose appropriate solutions based on the experience of a special military operation. The work can be used by the heads of scientific and educational departments to organize educational and patriotic work in military training centers and military universities.

Keywords: military training center, organization, personal example, education, political awareness, profession, special military operation, combat readiness, socio-political process, political events, combat experience.

На современном этапе вопрос патриотизма и воспитания молодого поколения приобретает особое значение. В первую очередь это связано с проведением специальной военной операции (СВО). При этом важно учитывать те изменения в идеологической работе и пропаганде, которые произошли с 1991 года на Украине.

С практически безвозмездным получением независимости на Украину со всех окраин бывшего Советского Союза хлынул поток граждан, имеющих к тому времени хоть какое-либо отношение к Украине и не только. Их привлекало прекрасное образование, современные научные и промышленные предприятия, крепкое сельское хозяйство, мощный военно-промышленный комплекс, выпускающий современные самолеты, корабли, ракетные системы.

Украина была самой благополучной в экономическом отношении республикой СССР, а стала одной из богатейших стран Европы и на момент отделения от СССР занимала 5 место в Европе по уровню благосостояния.

Уже тогда, в начале 90-х годов приоритет в получении работы, службы (особенно в вооруженных силах), различных проектов отдавался людям, одобряющим бандеровскую идеологию. В военкоматах, среди прочих, призывникам задавали вопрос: «Готовы ли вы воевать с Россией?».

К 1992 году до 50 % от общего числа школ Украины вели обучение на русском языке. В сентябре 2017 года президент Украины Петр Порошенко подписал закон, согласно которому с 1 сентября 2018 года в стране полностью прекращалось издание учебников на русском, а к 2020 году — планировалось полное прекращение преподавания на русском языке в школах. В начале 2018 года всего 7 % школьников (622 школы, 277 512 детей) учились в русскоязычных школах [1].

Вместе с тем демократические преобразования, особенно те, которые были выгодны для молодого государства и нарождающегося класса капиталистов, проходили успешно и споро. Народ ждал перемен к лучшему и поддерживал курс на западную интеграцию. Процесс разворывания активов самой богатой республики СССР начался незаметно, этому как раз и способствовал громадный массив ресурсов и средств производства.

После государственного переворота на Украине в 2014 году открытое военное столкновение

между Россией и Украиной становилось вопросом лишь времени. Одна из сторон (Россия) использовала его для закрепления статус-кво, а другая — Украина при поддержке США и других стран — в целях накопления потенциала для силового решения территориальных и других политических проблем [2].

Большие обороты набирает процесс политической обработки населения. При этом искажаются исторические факты, превозносится роль Украины и украинцев в мировом политическом процессе, в человеческой цивилизации в целом. Молодежь, получающая информацию на самых низовых уровнях своего развития, воспринимает ее как данность. Старшее поколение встраивается в ситуацию, так как иные взгляды не поощряются, вплоть до уголовного преследования. Со временем новое поколение само становится родителями и воспитывает своих детей в духе националистических идей, превосходства над другими народами и ненависти к России. И это уже приносит соответствующие результаты. Военнослужащие вооруженных сил Украины (ВСУ) мотивированы, по своей инициативе в плен сдаются редко, верят в свою победу. На Украине не создано какого-либо организованного подполья, не взлетают на воздух военные объекты, не идут под откос эшелоны с техникой и вооружением, только незначительная часть военнослужащих ВСУ переходят на нашу сторону для борьбы с украинскими нацистами. Кроме того, такое положение дел обусловило их нечеловеческую, ничем не объяснимую жестокость по отношению к русскому миру.

Так, в конце января 2025 года в прессе появились свидетельства зверств военнослужащих ВСУ по отношению к мирному населению. В этот раз сразу несколько источников в подробностях сообщили об издевательствах, насилии, пытках и убийствах населения села Русское перечное [3].

Однако до сих пор у нас принято считать украинцев своими братьями и немало наших граждан задаются вопросом: «зачем нам это было нужно?..» и желают скорейших с ними переговоров.

Надо констатировать, что за 30 лет «самостийности» бандеровская верхушка полностью парализовала и подчинила себе все государственные институты Украины. В эти годы проводилась

соответствующая пропаганда, вырабатывалась и укреплялась в сознании народа профашистская идеология.

В СССР было гораздо меньше времени, чтобы сплотить народ вокруг коммунистической партии и ее идей. После революции 1917 года Советскому Союзу 20 лет удавалось избегать большой войны. Этот период в исторической науке называется «межвоенный». И именно тогда появилось понятие «советский народ», именно он разгромил европейский фашизм. Оказалось, не до конца, слишком рано были помилованы и реабилитированы фашистские прихвостни, метастазы нацизма остались в среде наших не перевоспитанных в заключении украинских братьев.

В Конституции Российской Федерации (ст. 13) закреплено положение, по которому наше государство не может иметь какой-либо идеологии. Этот вопрос часто поднимается и обсуждается различными слоями общества. По словам президента Российской Федерации В.В. Путина, произнесенным на ежегодной большой пресс-конференции в 2019 году: «Наша идеология — это патриотизм». Президент считает его единственной возможной идеологией современного демократического общества. Динамика мировых геополитических событий показывает справедливость такого мнения.

Наши военнослужащие в ходе решения различных государственных задач по защите интересов и конституционного строя Российской Федерации показывают образцы мужества, отваги, героизма и горячей любви к Родине в ходе специальной военной операции (СВО).

Обучение и воспитание — это единый процесс. Он начинается в школе и продолжается практически всю жизнь. Сегодня необходимо уделять больше внимания, ресурсов и возможностей для реализации потенциала в рамках выполнения задач, поставленных Верховным главнокомандующим Вооруженными Силами Российской Федерации В.В. Путиным в ходе СВО. Ключевым аспектом воспитательного воздействия на учащихся в военных учебных центрах является использование знаний и опыта, полученных в ходе боевых действий на территории Украины, идти дальше, рассматривать возможности использования систем, завязанных на искусственный интеллект.

В настоящее время многие, но не все преподаватели и студенты военных учебных центров (ВУЦ) непосредственно участвуют в выполнении задач по достижению целей СВО. 26–29 января 2024 года президент Российской Федерации В.В. Путин встретился в Санкт-Петербургском государственном морском техническом университете со студентами вузов — участниками специальной военной операции. В.В. Путин подчеркнул: «Здесь все-таки не обычный контингент, прежде всего люди, которые сами, добровольно... в большинстве своем молодые люди... самостоятельно приняли решение направиться в зону боевых действий. Многие не воспользовались возможностью продолжить учебу, а, наоборот, прервали учебу для того, чтобы Родине послужить в особо сложных, тяжелых условиях» [4].

Как отмечалось, значительная часть преподавателей военных учебных центров с 2022 года принимают активное участие в проведении СВО. Другая часть проводит мероприятия по подготовке мобилизованных военнослужащих для военной службы в зоне боевых действий. В рамках проведения данной работы выявилось множество тактических и технологических проблем, связанных со средствами управления, поражения и различных видов обеспечения боевых действий. Превосходство противника в поставленных странами Европы и Соединенными Штатами Америки средствах ведения боевых действий, а также технического оснащения в целом, недооценка нашим военным командованием этих новейших сил и средств, следование укоренившимся догмам и установкам на начальном этапе СВО не мешали нашим войскам добиться значительных успехов. Это, наоборот, способствовало внедрению новых методов и средств в боевую работу подразделений всех уровней, а также принятию ситуативных решений, отвечающих реальным условиям.

В современном мире, где молодые люди, призванные на службу по контракту или пришедшие добровольно, окружены новой информационной средой, происходит изменение их представлений о современности и мировоззрения в целом. Это оказывает ключевое влияние на воспитательный процесс, так как именно жизненные ценности формируют убеждения и взгляды на мир. Поэтому при разработке методов и подходов к

воспитанию молодежи важно учитывать этот фактор, чтобы обеспечить их гармоничное развитие и успешную интеграцию в общество. Что особенно важно в свете задачи, поставленной президентом Российской Федерации — сформировать новую элиту нашего общества из участников СВО.

«Думаю, что все вы, вернувшись из зоны боевых действий, наверняка сами это все уже осознали, вернетесь совсем уже другими людьми. Потому что одно дело — смотреть в интернете, смотреть чьи-то выступления, а другое дело — оказаться в окопах, где падают снаряды, где пули свистят, где мины, где беспилотники, как мухи летают, где холодно и опасно. Это совсем другая история. Это не может не влиять на человека, на его мировосприятие в целом», — отметил президент на встрече со студентами — участниками СВО [4].

Боевые действия и боевые порядки частей и подразделений на карте обозначены четко определенными границами соприкосновения войск, боевыми позициями подразделений, разграничительными линиями, огневыми средствами, командными пунктами и задачами войск в различных видах боя. На практике военнослужащие большинство времени проводят в полевых условиях, постоянно подвергаясь обстрелам противника.

Руководство военных учебных центров при образовательных учреждениях высшего образования должно четко информировать студентов о тех мероприятиях, что проводятся в зоне СВО. Это не только данные о технике и вооружении, но и порядок расположения войск, обустройство быта и организация боевых действий. Для этого существует необходимость практической отработки соответствующих навыков на военных сборах, проводимых в рамках учебного плана, что поможет будущим защитникам лучше подготовиться к возможным чрезвычайным ситуациям и повысит их уровень военной подготовки. При этом важно ни о чем не умалчивать, нигде ничего не скрывать, говорить правду — только так можно воспитать настоящего защитника Родины. Пока что, особенно во время проведения первого этапа СВО, некоторые руководители ВУЦ рекомендуют, иногда и требуют, дозированно доводить информацию на фронтах до обучающихся («они же дети»), формально подходят

к политическому информированию. В этой связи было бы целесообразно систематически проводить работу с офицерами, преподающими в ВУЦах, а тем, кто по состоянию здоровья готов к защите Родины, рекомендовать отправиться на СВО (с сохранением места работы). Кроме того, всем офицерам запаса предусмотреть плановые командировки в район боевых действий для обучения поступающего в войска пополнения, в штабы и на командные пункты для оказания помощи в работе и оформлении боевых документов. Такая практика уже существует в высших военных учебных заведениях.

В ВУЦ все офицеры должны быть участниками боевых действий. Только такие командиры могут научить курсантов, показать личный пример, а при необходимости — повести их в бой.

Немаловажное значение имеет и прохождение службы преподавателями в рядах Российской армии. В этой связи Приказ Министра обороны недостаточно четко определил отдельные вопросы комплектования офицерами запаса. «П. 2 Должности преподавательского состава военного учебного центра замещаются военнослужащими, направленными в образовательную организацию <...>... и офицерами запаса, имеющими уровень военной подготовки и квалификацию, соответствующие коду военно-учетной специальности по замещаемой должности, установленной организационной структурой» [5].

Если офицер не прошел должностные категории командира роты, батальона, а руководители ВУЦ — командира полка, бригады, то они не в полной мере будут способны обеспечить организацию и проведение учебного процесса. Например, иногда необходимо и помочь, и потребовать от командира части, который обеспечивает учебные сборы, выделения соответствующей администрации, техники, вооружения, боеприпасов, экипировки, учебных полей, стрельбищ и многое другое. Кадровые органы, командиры и руководители всех степеней обязаны подбирать в ВУЦ именно таких офицеров, что, безусловно, соответствует требованиям Верховного главнокомандующего Вооруженными Силами Российской Федерации. Только они, вместе с молодежью и составят будущую элиту страны.

В процессе обучения и воспитания курсантов как в стенах ВУЦ при высших учебных заведениях, так и в зоне проведения специальной

военной операции необходимо предоставлять им полную информацию не только в военно-политической сфере, но и обо всех аспектах жизни общества. В современном информационном пространстве существует огромное количество сведений и в них порой сложно разобраться — где правда, а где ложь.

В то время как наши герои, отважные защитники Родины, выполняют боевые задачи по демилитаризации и денацификации Украины, отдельные социальные группы сознательно или из-за своей неосведомленности и «недопонимания» ситуации призывают прекратить операцию. Обычно это делают бывшие чиновники, потерявшие свои должности в период распада СССР, многие деятели культуры и искусства, отдельные ученые и педагоги, а также другие граждане (например, получающие гранты, деньги и другие привилегии от стран Европы и Соединенных Штатов Америки).

Некоторые из них имеют недвижимость и счета в зарубежных банках. Они получают деньги от нашего государства, но тратят их за границей. Необходимо не вестись на провокации, пресекать эти разговоры, терпеливо разъяснять курсантам истинное положение вещей, напомнить, что в июне 2002 года президент России В.В. Путин предупреждал бизнесменов о том, что рано или поздно все они потеряют все свои сбережения, размещенные в иностранных банках [6]. Надо открыть для молодого поколения подлинную историю родного государства, добиться того, чтобы они гордились своей Родиной и отдавали все свои знания и силы на ее защиту, развитие и процветание. Подобную работу можно проводить в различных формах.

В сфере политического просвещения следует сделать акцент на самостоятельном обучении курсантов военных учебных центров. Как известно, в российских вузах все программы бакалавриата и магистратуры ориентированы на будущую профессиональную деятельность, в рамках которой выпускники будут принимать самостоятельные решения в различных областях, таких как экономика, социология, право, военное дело и другие аспекты общественной жизни.

Следует помнить, что человек формируется как личность в первую очередь в семье. Именно от родителей дети получают большую часть знаний и представлений об окружающем его мире.

Мировоззрение молодежи сформировалось в период после распада Советского Союза, когда идеи либерализма были доминирующими. Важно проявлять терпение, объяснять усвоенные положения с различных позиций, подкрепляя их примерами. После начала СВО таких примеров стало достаточно.

В истории нашей страны было много великих побед, значимых событий и достижений. Важно не только чествовать ветеранов в памятные даты, но и отмечать успехи студентов, давать возможность молодым людям проявить себя, выступать с поздравлениями, рассказывать о своей деятельности и планах на будущее. На подобных мероприятиях студенты всегда узнают очень многое о нашей славной истории посредством полученных сведений из выступлений ветеранов войн и военных конфликтов, военнослужащих, преподавателей и, конечно, участников СВО. Это расширяет картину мира обучаемых, способствует взвешенному и трезвому формированию взглядов на общественные военные и политические процессы, и в целом позволяет определить приоритеты мировоззренческого уровня.

О важности истории и формировании грамотной и взвешенной точки зрения говорил президент России В.В. Путин на заседании Совета Безопасности, проходившем 20 сентября 2024 года. Он отметил: «В последние годы история очень часто используется в современной политике как средство достижения определенных политических целей в отношении нашей страны. Причем делается это зачастую весьма недобросовестным способом. А это, конечно, уже касается сегодняшней текущей политики и отношения к этому со стороны официальных властей нашей страны» [7].

Президент специально акцентировал свое внимание на проблеме изучения и доведения истории молодому поколению. Большинство учебников, по которым учились люди, которым сейчас 25–35 лет, были написаны в рамках «Культурной инициативы» Фонда Джорджа Сороса [8]. Под видом помощи, страну, начиная уже с 80-х годов XX века, наводнили специалисты и эксперты из Америки, которые напрямую участвовали в разработке образовательных программ, в частности программ по изучению истории. Исказив и извратив исторические факты на свое усмотрение так, чтобы граждане России,

и в первую очередь сами русские, стали каяться и просить прощения за свою историю, стыдиться ее. К сожалению, данные процессы были поняты и осознаны в массе граждан и руководства страны довольно поздно. Наша молодежь чаще всего не проявляет интереса к отечественной истории и, самое плохое, не знает ее. Данная проблема стала решаться относительно недавно, когда по поручению В.В. Путина был разработан единый учебник по истории для старших классов, а затем и для средних. И постепенно это начинает давать результаты. Так, средний балл ЕГЭ по истории медленно, но верно растет: в 2019 — 55,3; в 2020 — 56,4; в 2021 году — 54,9; в 2022 году — 57,95; в 2023 году — 56,37 [9].

В вопросах о СВО и Великой Отечественной войне ошибок в ответах не было в принципе. Это показатель того, что образование встает на верный путь, однако это лишь начало и необходима систематическая поддержка, дабы закрепить и приумножить полученные результаты [10]. Как отметил президент России: «Нам всегда, особенно в этот период нашего развития, нашей истории, нужен успех, нам нужна победа. А победа не может быть без прочной основы, морально-этической, духовной основы. А эту основу как раз и создает наша история, наши традиции и гордость за то, что было сделано нашими предками по укреплению Отечества. Это и сегодня в известном смысле наше оружие» [11]. В этой связи можно отметить, что развитие Вооруженных сил задача важная, но без осознанных и фундаментальных знаний по истории использование любого, даже самого мощного оружия становится нецелесообразным, непонятным. У некоторых неподготовленных к восприятию действительности людей появляются сомнения в этом: «А стоит ли защищать свою страну?», что категорически недопустимо.

В демократическом обществе информация должна быть доступна и свободно распространяться. Важно осознавать, что каждое государство, будь то Россия, европейские страны или США, живет и развивается в соответствии со своими законами и традициями. То, что хорошо для одного государства, может быть неприемлемо для другого, и наоборот. В последнее время Россия активно заявляет о себе. В центре внимания находятся собственные интересы. Мир стремительно меняется, и Россия занимает в нем

свою уникальную нишу, основанную на тысячелетней культуре, ценностях, традициях справедливости и чести. С этим уже нельзя не считаться.

Информация должна быть доступна для всех. Однако стоит учитывать, что на Западе она трансформируется в угоду мировому олигархическому капитализму. Страны, которые живут за счет других народов и используют их основные ресурсы — материальные, энергетические и человеческие, — считают себя демократическими государствами. Но именно там власть фактически не принадлежит народу. Люди не могут в полной мере пользоваться своими конституционными правами и получать правдивую информацию. Там все подчинено «национальным интересам». Олигархат стран Европы и Америки тесно связан с властью, контролирует ее, и уровень коррупции из-за этого довольно высок. Поэтому руководство этих стран не заинтересовано в предоставлении открытой, доступной и объективной информации. Она обычно предоставляется в искаженном виде, особенно когда речь идет о России.

Показательно, что интервью президента Российской Федерации В.В. Путина журналисту и политическому обозревателю Такеру Карлсону вызвало на Западе бурную волну обсуждений. Один из самых влиятельных сторонников президента США Дональда Трампа был удивлен прочитанной ему президентом Российской Федерации лекцией об истории России, увиденным и услышанным в нашей стране. Но главное — мировое внимание, которое было приковано к данному интервью. Однако западные политики мало уделили внимания словам президента России и вернулись к своей парадигме мироустройства, не желая осознавать необходимость сотрудничества с Россией и построения взаимовыгодных отношений.

Нашей стране надо идти своим путем и наращивать свой экономический, интеллектуальный и человеческий капитал. Это отмечал В.В. Путин в рамках встречи с участниками образовательной программы «Время героев» в Мастерской управления «Сенеж». Президент сказал, что во время встречи в Санкт-Петербурге со студентами вузов, принимавших участие в СВО: «... в голову пришла самая простая мысль: если не на таких людей, как эти, опираться, то на кого? Ясно, что у нас страна большая и людей

много, и талантливых очень много. Но среди всех, кто есть, среди талантливых есть еще и такие, которые не жалеют своей жизни, здоровья и служат Родине в самых опасных условиях» [12]. В этой связи, следует заметить, что продвигаемая программа «Время героев» ориентирована на подготовку государственных и муниципальных служащих из участников СВО для формирования профессиональных кадров и будущей элиты страны, о которой много раз говорил президент России [12].

В развитие идей В. В. Путина стоит подчеркнуть значимость улучшения такого школьного предмета, как «Разговоры о важном». Для студентов высших учебных заведений, обучающихся в военных учебных центрах, этот предмет будет особенно полезен и важен. Студенты — будущие специалисты во всех сферах жизни общества, и те, кто имеет военную подготовку в ВУЦ, представляют особую ценность как профессионалы. В связи с этим важно «не упустить» молодое поколение, постоянно объясняя им, почему происходят те или иные события в стране и мире, как их понимать и каковы их причины. Необходимо научить студентов анализировать события и делать выводы. Подобную программу можно назвать «Уроки истории» или «Уроки политических знаний». Помимо разбора политической, экономической и социальной стороны жизни общества, на таких занятиях стоит рассматривать и военные вопросы, для чего приглашать участников боевых действий в горячих точках СССР, России и нынешней СВО. Такая работа уже налажена. Примером может послужить мероприятия, проводимые Российской Ассоциацией Героев в рамках занятий «Уроки мужества».

Интересным представляется инициатива Валерия Александровича Фадеева, члена Общественной палаты Российской Федерации, советника президента Российской Федерации. Он выдвинул предложение о возвращении системы выставления оценок за поведение для учащихся школ.

Еще в 1970 году министром просвещения СССР Михаилом Прокофьевым была утверждена «Инструкция о выставлении оценки поведения учащимся средней общеобразовательной школы», по которой оставалось только три оценки за поведение: «примерное», «удовлетворительное» и «неудовлетворительное». В Совет-

ском Союзе при оценке «неуд» аттестат о среднем образовании не выдавался. Ученики с неудовлетворительным поведением выходили со школы только с соответствующей справкой [13]. Данная мера позволит отойти от принципа — «образование — это услуга». Ведь важно не только дать человеку знания по разным дисциплинам и научить его грамотно ими пользоваться, но и оставаться человеком чести, уважать людей вокруг себя и соблюдать общепринятые нормы. Внедрение подобной практики станет важной составляющей в процессе формирования профессиональных кадров и будущей элиты страны. Усвоив азы поведения и умения держать себя в обществе, школьники выйдут в жизнь полноценными гражданами — достойными представителями своей страны.

Для формирования чувства патриотизма у студентов большое значение имеет практическое освоение учебной программы во время военных сборов. В ходе сборов они работают с реальной боевой техникой и взаимодействуют с военнослужащими воинской части, на базе которой проводятся сборы. Особенно значимы и продуктивны встречи с участниками специальной военной операции. Студенты активно задают вопросы, анализируют события и опыт ветеранов СВО, представляют себя на их месте и размышляют над идеями и принципами, которыми руководствуются наши герои — защитники Родины. Такие встречи надолго вдохновляют будущих офицеров и сержантов, наполняя их энтузиазмом и решимостью выполнить свой воинский долг. Важно дополнять информацию, получаемую студентами, и делать этот процесс непрерывным. По результатам подобных встреч и полученной в течение дня информации необходимо предусматривать политическое информирование, которое будут проводить сами курсанты в своих подразделениях перед началом занятий [14].

Достаточно важным является изучение курсантами ВУЦ общевоинских Уставов, несение внутренней и караульной службы, положения Дисциплинарного, Строевого уставов и других документов. Это основополагающие моменты в военной службе. Как будущие командиры они должны понимать, что в полной мере отвечают за строгое и точное соблюдение военнослужащими установленных законов, уставов и правил, обязаны заботиться о личном составе, своевременно

принимать меры по предупреждению правонарушений и подготовке к возникновению различных нештатных ситуаций. Это позволит подготовить профессиональных и мотивированных защитников Отечества и сделать первый, но важный шаг в становлении их, как будущей элиты.

И, конечно, обучающиеся в военных учебных центрах при гражданских вузах могут стать волонтерами в медицинских учреждениях разного уровня и оказывать помощь пострадавшим военнослужащим, медицинскому персоналу. Такая практика уже существует во многих вузах. Этот опыт и навыки будут полезны молодым людям в будущем, независимо от их профессиональной деятельности. Бывая в госпиталях, курсанты не только помогают ухаживать за ранеными военнослужащими, наводить порядок в палатах, убирать территорию, но, главное, получают важную информацию от солдат и офицеров. Раненые герои говорят о своих ратных делах и подвигах солдат и офицеров подразделения, в котором служили, об особенностях боевых действий в ходе СВО. Кроме того, они почти всегда рассказывают о том, какие они допустили ошибки, как необходимо действовать в той или иной ситуации, анализируют боевые эпизоды и события. Это и есть передача опыта молодому поколению. Курсанты, побывавшие в госпиталях и пообщавшиеся с героями СВО, на занятиях в ВУЦ дополняют политическое информирование полученными сведениями, фактами, знаниями и делятся впечатлениями [15].

Воспитание, которое включает в себя комплекс разноплановых мероприятий, помогает молодым людям развиваться, расширяет их кругозор, учит ориентироваться в ситуации и принимать решения самостоятельно. Оно формирует личность будущего молодого специалиста, его точку зрения на все процессы и явления, происходящие в обществе, помогает освоить необходимые навыки, определяет политическую позицию и понимание направлений развития и сути национальной политики России. Это особенно важно для офицера (сержанта) запаса. В случае необходимости военнослужащие запаса будут призваны защищать свою Родину — Российскую Федерацию. Офицеры — это основа армии и флота. От их боеготовности и способности качественно выполнять поставленные задачи зависит успех военных действий.

В настоящее время у России появилась возможность в полной мере отстаивать свои интересы, выстраивать отношения с внешним миром на паритетной основе. Для этого нашей стране нужны могущественные вооруженные силы и защитники Родины, четко осознающие важность и необходимость построения сильного государства. В переломные, значимые моменты нашей истории это ощущается особенно остро. Так было накануне и в ходе Великой Отечественной войны (1941–1945 гг.), Первой мировой войны (1914–1918 гг.), Русско-японской войны (1904–1905 гг.). «В трудный и сложный период горячей подготовительной работы по переустройству армии после Русско-японской войны вышел журнал «Офицерская жизнь». Программа его складывалась из следующих отделов: 1) правительственные распоряжения; 2) известия о деятельности экономического общества; 3) военная публицистика; 4) военно-научный отдел; 5) военно-кооперативный отдел; 6) хроника; 7) библиография; 8) спорт; 9) театр и искусство; 10) справочный указатель» [16].

Подобные издания и сегодня выходят во множестве. Кроме того, разрабатываются новые виды оружия, действующего на новых физических принципах. Только в последние два года всему миру неоднократно было продемонстрировано такое вооружение.

Таким образом, вопросы патриотической работы, поддержания высокого морального духа, воспитания военнослужащих в духе преданности Родине, народу, национальным традициям, идеологическим и нравственным идеалам во все времена были и остаются важными задачами. В условиях СВО они имеют определяющее значение. Для этого необходимо:

- неустанно проводить воспитательную работу, при этом руководствоваться накопленным опытом и личным примером командиров всех степеней;
- распространять передовой опыт;
- своевременно поощрять военнослужащих за проявленную инициативу, отвагу, мужество, доблесть, включая представления к различным наградам;
- усилить работу по подбору и подготовке кадров на должности командиров среднего звена (рота — батальон);

- делегировать ветеранов СВО в военные учебные центры (ВУЦ) при высших учебных заведениях для проведения патриотической работы;
- постоянно разъяснять политику государства и цели выполняемых боевых задач;
- отправлять курсантов ВУЦ в медицинские учреждения для помощи медицинскому персоналу;
- вести профилактическую работу в подразделениях по недопущению правонарушений;
- сплачивать воинские коллективы, добиваться взаимозаменяемости на уровне отделений и расчетов;
- подбирать кадры для комплектования руководящего и преподавательского состава ВУЦ офицерами, имеющими боевой опыт.

Список источников

1. Украина.ру. Путь вниз. Какой была Украина-1991 и во что превратилась к 2018 году. <https://ukraina.ru/20180824/1020911928.html> (дата обращения: 21.12. 2024).
2. Чумиков А.Н. Российско-украинское противостояние 2022 г: конфликтологическая экспертиза // Журналист. Социальные коммуникации. 2022. № 3 (47). С. 20–31.
3. Пленный боевик ВСУ признался в зверских преступлениях в селе Русское Поречное. <https://ren.tv/news/v-rossii/1303458-plennyi-boevik-vsu-priznalsia-v-zverskikh-prestupleniakh-protiv-kurian> (дата обращения: 31.01.2025).
4. Встреча со студентами — участниками специальной военной операции // [Электронный ресурс] URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/73328> (дата обращения: 26.09.2024).
5. Приказ Министра обороны РФ и Министерства науки и высшего образования РФ от 13 февраля 2020 годп. № 66/212. 58 с.
6. Ирина Алкснис «Замучаетесь пыль глотать»: а ведь Путин предупреждал // [Электронный ресурс] URL: <https://topwar.ru/130640-zamuchaetes-pyl-glotat-a-ved-putin-preduprezhdal.html?ysclid=m1ntk3d7zt726064974> (дата обращения: 26.09.2024).
7. Путин обсудил с Совбезом проблему искажения истории извне // [Электронный ресурс] URL: <https://tass.ru/politika/21915911> (дата обращения: 25.09.2024).
8. Анатолий Арзамасцев. Джордж Сорос и начало конца российского образования // [Электронный ресурс] URL: <https://proza.ru/2019/04/08/1795?ysclid=m1nqfqycyr331609011> (дата обращения: 24.09.2024).
9. ЕГЭ-2023 в цифрах: средний балл по разным предметам, стобалльники, двоечники и не только // [Электронный ресурс] URL: <https://mel.fm/blog/mikhail-lantsman/69758-yege-2023-v-tsifrakh-sredny-ball-po-raznym-premetam-stoballniki-dvoyechniki-i-ne-tolko?ysclid=m1nqpfegb3992217956> (дата обращения: 26.09.2024).
10. Итоги ЕГЭ: как выпускники ответили на вопрос об СВО? // [Электронный ресурс] URL: https://tsargrad.tv/news/itogi-egje-kak-vypuskniki-otvetili-na-vopros-o-svo_1051967 (дата обращения: 26.09.2024).
11. Встреча с участниками программы «Время героев» // [Электронный ресурс] URL: http://www.kremlin.ru/events/president/transcripts/community_meetings/74292 (дата обращения: 23.09.2024).
12. Путин: РФ нужна победа, а она невозможна без духовной основы [Электронный ресурс] URL: <https://tass.ru/politika/21464561?ysclid=m2bvr7pcjg682810818> (дата обращения: 23.09.2024).
13. «А голову не забыл?»: школы могут вернуть оценки за поведение // [Электронный ресурс] URL: <https://www.mk.ru/social/2024/04/01/a-golovu-ne-zabyl-shkoly-mogut-vernut-ocenki-zapovedenie.html> (дата обращения: 25.09.2024).
14. Мелькова С.А., Ткаченко Т.Е. Зачем будущему чиновнику политическое информирование? // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. Химки: Академия гражданской защиты МЧС России. 2012. № 3. С. 66–67.
15. Кулаков В.В. Привилегия — Родине служить! // Вестник военного образования. М. 2024. № 3. С. 103–107.
16. В. Короткевич // Офицерская жизнь. 1910. № 4. СПб. С. 2.

УДК 504.05

doi: 10.53816/20753608_2025_2_31

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПЕРЕХОД В РОССИИ

ENERGY TRANSITION IN RUSSIA

Академик РАН В.Б. Коновалов¹, С.В. Саркисов², Н.П. Казаков²

¹Штаб МТО ВС РФ, ²Военный институт (инженерно-технический) ВА МТО им. А.В. Хрулева

V.B. Konovalov, S.V. Sarkisov, N.P. Kazakov

В статье рассматриваются проблемы, которые могут возникнуть в российской экономике при осуществлении энергетического перехода в глобальном масштабе. В качестве превентивных мер предложен ряд эффективных механизмов. В частности, введение рынка «зеленых» сертификатов по международному стандарту I-REC, низкоуглеродную модернизацию национального ТЭК, реализацию механизма «углеродных единиц». Предполагается также гармонизация российских норм углеродного регулирования с европейскими стандартами.

Ключевые слова: энергетический переход, зеленые сертификаты, углеродный налог, углеродные единицы.

The article discusses the problems that may arise in the Russian economy during the implementation of the energy transition on a global scale. A number of effective mechanisms have been proposed as preventive measures. In particular, the introduction of a market for «green» certificates according to the international standard I-REC, low-carbon modernization of the national fuel and energy complex, and the implementation of the «carbon units» mechanism. It is also planned to harmonize Russian carbon regulations with European standards.

Keywords: energy transition, green certificates, carbon units.

Введение

В глобальном масштабе энергетические источники подразделяются по значимости, состоянию освоенности и изученности ресурсов, на следующие группы.

1. Невозобновляемые ископаемые — горючие и радиоактивные:

- традиционные: нефть, газ, уголь, уран;
- нетрадиционные: высоковязкие нефти, природные битумы, сланцы.

2. Возобновляемые (альтернативные).

Первая, и основная группа обеспечивает 93 % в производстве первичной энергии в мире. Однако основной недостаток традиционных углеводородов — истощаемость. Оценки сроков

исчерпаемости в основном совпадают и сходятся на том, что легкодоступных мировых запасов нефти, хватит еще на 40 лет, то есть во второй половине XXI века запасы нефти в таких регионах, как Западная Сибирь, Персидский залив или район реки Ориноко, будут истощены.

На освоение нетрадиционных видов ископаемого топлива требуется в 2 раза больше затрат по сравнению с их традиционными аналогами. Нефть из битуминозных песков может оказаться неконкурентоспособной.

Вторая группа источников энергии включает возобновляемые их виды, ресурсы которых почти не ограничены. Потенциал возобновляемых источников в настоящее время оценивается в 20 млрд тонн условного топлива в год, что в

2 раза больше объема годовой добычи всех видов органического топлива.

Такие факторы, как истощаемость и удорожание ископаемых источников, стремление стран к энергетической безопасности и решению экологических проблем вынуждают производителей расширить освоение альтернативных и нетрадиционных видов энергии. Таким образом, мировое сообщество на пути к энергетическому переходу. Рассмотрим, какие проблемы могут сопровождать этот процесс.

Термин «энергетический переход» был предложен чешско-канадским ученым В. Шмилом в 2010 году. Под «энергетическим переходом» он понимал постепенную трансформацию системы энергообеспечения мира. Главной особенностью текущего перехода является то, что во главу угла ставится не экономические и технологические, как это было раньше, а экологические приоритеты. Как следствие — огромные разведанные и неразведанные нефтегазовые и угольные запасы планеты фактически могут быть не востребованы с точки зрения их негативного влияния на климат и окружающую среду. Главная задача

современного «энергетического перехода» — декарбонизация мировой энергетики. Среди ведущих экспортеров углеводородов в наибольшей степени от такого подхода пострадают страны ОПЕК, Канада и Казахстан. Затронет это также Россию, США, Бразилию и Норвегию [1].

Мировая добыча углеводородов колеблется на уровне 3–3,5 миллиарда тонн нефти и примерно 2,3 триллиона кубометров газа в год. Крупнейшие нефтегазовые компании мира приведены в табл. 1.

В июле 2023 года объем извлекаемых запасов нефти в мире оценивался в 1,62 трлн баррелей. Мировым лидером по объему запасов топлива остается Саудовская Аравия с 271 млрд баррелей. На втором месте США с 192 млрд баррелей. Топ-3 замыкает Россия с 143 млрд баррелей (1 нефтяной баррель = 158,988 литра. Международное обозначение: bbls).

В современных условиях отказ западных стран от российских углеводородов усиливает актуальность энергетического перехода и делает его проведение необходимым для российской экономики.

Таблица 1

Мировые промышленные запасы нефти и газа [4]

Запасы нефти	Млрд тонн	Запасы газа	Трлн куб. м
Саудовская Аравия	35,6	Россия	48,1
Ирак	15,3	Иран	23,0
ОАЭ	13,3	Катар	11,1
Иран	12,2	Саудовская Аравия	6,0
Венесуэла	10,5	Алжир	4,5
Россия	8,2*	Нигерия	3,5
США	4,0	Ирак	3,1
Ливия	4,0	ОАЭ	3,0
Мексика	3,8	Туркменистан	2,9
Китай	3,3	Малайзия	2,3
Нигерия	3,1	Индонезия	2,0
Норвегия	1,3	Азербайджан	1,2
Алжир	1,2	Узбекистан	1,1

*Доказанные запасы нефти в России составляют 12,4 млрд т.

Примечание: промышленными называют запасы полезных ископаемых, разведанные и подготовленные к разработке.

Энергетический переход как угроза русской экономике. Пути решения проблемы

В ноябре 2021 года была утверждена Стратегия социально-экономического развития России с низким уровнем эмиссии парниковых газов до 2050 года. Стратегия закрепляет цели по сокращению выбросов диоксида углерода к 2030 году до уровня 70 % от его значения в 1990 году и полному достижению углеродной нейтральности к 2060 году [8].

Вместе с тем на данный момент в России не существует полноценных государственных механизмов регулирования, которые могли бы ускорить процесс низкоуглеродного перехода. Ситуацию усугубляет тот факт, что в ЕС с 2023 года запущен механизм трансграничного углеродного налога (ТУН) на импорт товаров, произведенных с высоким выбросом CO₂ в атмосферу [9].

Положение об углеродном налоге было опубликовано 14 июля 2021 года в составе пакета законопроектов Fit for 55. Помимо самого углеродного налога страны ЕС планируют к 2035 году остановить производство и эксплуатацию автомобилей, работающих на бензиновом топливе, включить судоходство в европейскую систему торговли квотами, лишить авиаперевозчиков бесплатных квот на выбросы, увеличить долю возобновляемых источников энергии до 40 % [2].

Под новое налоговое регулирование попадает самая экспортно ориентированная продукция России — сталь, алюминий, цемент, удобрения и электроэнергия. Очевидно, что при принятии законодательства, позволяющего вводить такого рода заградительные пошлины, российские экспортеры, а значит и русская экономика, страдают в первую очередь.

Так, Минэкономразвития России оценило потери русского экспорта в 7,6 млрд долларов, посчитав убытки в результате уплаты углеродного налога при поставках в ЕС перечисленной русской продукции.

В целом эти потери коррелируют с данными, полученными аналитическими группами KPMG,

BCG, VYGON Consulting, представленными в более развернутом виде в табл. 2.

Одним из механизмов снижения углеродного следа продукции и уменьшения ТУН являются «зеленые» сертификаты [3]. Это документы, выпускаемые генератором низкоуглеродной энергии, которые может купить юридическое и физическое лицо для подтверждения использования «зеленой» энергетики в производственных или личных целях.

В России получил распространение международный сертификат I-REC¹. Стоимость цифрового сертификата зависит от средней цены единицы сокращения выбросов на европейском углеродном рынке за неделю, предшествующую его приобретению. В 2021 году стоимость эмиссии одной тонны CO₂ достигла 52 евро за тонну, и до 2030 года прогнозируется ее интенсивный рост.

Кроме зеленых сертификатов можно выделить другие направления адаптации русской экономики к вызовам ТУН, включая: гармонизацию русских норм углеродного регулирования с европейскими стандартами (в том числе и воздействие на развитие европейских стандартов), «низкоуглеродную» модернизацию национального топливно-энергетического комплекса (ТЭК), а также развитие продуктовой и географической структуры экспорта промтоваров, сырья и материалов.

Настройка русских норм опирается на возможности гармонизации с правилами ЕС. Сейчас введение ТУН в наименьшей степени повлияет на страны, которые в той или иной мере интегрированы с системой торговли выбросами ЕС. Так, статья 25 Директивы СТВ ЕС позволяет увязать ее с другими системами торговли выбросами при условии, что они обязательны, имеют абсолютный предел выбросов и совместимы. Но в России несформированная система учета парниковых газов и отсутствие прямого налогового регулирования или квотирования выбросов не позволяют пока говорить о соответствии европейским нормам. При этом уже несколько лет планируется внедрение системы учета низкоуглеродной энергии. В департаменте развития электроэнергетики Минэнерго

¹ I-REC — система отслеживания происхождения электроэнергии, разработанная международной некоммерческой организацией International REC Standard Foundation. Сертификат содержит информацию о происхождении электроэнергии из возобновляемых источников (солнца, ветра, воды и др.).

Таблица 2

Оценка потерь российской экономики от введения трансграничного углеродного налога

Аналитические компании	Потери российской экономики, евро, долл.	Соответствие сценария реальному проекту
KPMG	Пессимистичный сценарий: 47 млрд евро за 2022–2030 годы (ТУН распространяется на прямые и косвенные выбросы CO ₂ , действует с 2022 года)	Базовый сценарий ближе всего к реальности, но потери рассчитаны для избыточного числа секторов. При объявленном составе секторов в Базовом сценарии потери составили бы от 1,1 млрд до 1,8 млрд евро в год; с учетом нефтепродуктов и нефтехимии — от 2 до 3,3 млрд евро в год
	Базовый сценарий: 33 млрд евро за 2025–2030 годы (ТУН распространяется только на прямые выбросы CO ₂ , действует с 2025 года)	
	Оптимистичный сценарий: 6 млрд евро за 2028–2030 годы (плата ТУН взимается с разницы между фактическими выбросами CO ₂ при производстве и эталонным объемом ЕС)	
BCG	Нефтегазовый сектор — 1,4–2,5 млрд долл. в год Черные металлы и уголь — 0,6–0,8 млрд долл. в год Цветные металлы — 0,3–0,4 млрд долл. в год Другие секторы (цемент, удобрения, бумага, целлюлоза, химические товары) — 0,8–1,1 млрд долл. в год	Нефтегазовый сектор, уголь и ряд других отраслей пока за пределами ТУН
VYGON Consulting	Ввозная пошлина на прямые выбросы CO ₂ при цене 40 евро/т CO ₂ : нефтепереработка — 0,14 млрд евро в год; нефтегазохимия — 0,06 млрд евро в год; электроэнергетика — 0,08 млрд евро в год Расширение системы торговли выбросами (СТВ) ЕС с учетом прямых и косвенных выбросов CO ₂ при цене 40 евро/т CO ₂ : нефтепереработка — 0,78 млрд евро в год; нефтегазохимия — 0,29 млрд евро в год	Реализована комбинация сценариев: расширение системы торговли квотами на выброс (СТВ), но с учетом пока только прямых выбросов. При этом нефтепереработка и нефтегазохимия пока за пределами ТУН

Источник: KPMG, BCG, VYGON Consulting, Аналитический центр

РФ доработанный законопроект будет внесен в Госдуму в 2025 году.

Говоря, о снижении углеродного следа в экономике страны нельзя не сказать о роли в этом нашего национального достояния — лесных массивов.

Россия располагает крупнейшей в мире лесосырьевой базой объемом 82 млрд куб. м древесины — около четверти мировых лесных ресурсов (76 % запасов составляет древесина хвойных пород) при площади лесов более 1,1 млрд га (примерно 69 % территории страны) [4].

Согласно Киотскому протоколу [5, 6], страна, промышленность которой выделяет большое количество углерода, может субсидировать того, кто его депонирует. Расчет субсидий основывается на количестве выделенных/поглощенных углеродных единиц. За углеродную единицу принимается одна тонна депонированного углерода. При этом один кубометр древесины депонирует примерно полтонны углерода.

Каков механизм получения и реализации углеродных единиц?

Предположим, в какой-то тропической стране в наличии большие мангровые заросли, которые активно поглощают углерод. Этой стране необходимо определить: какое количество углерода депонируется этими зарослями? После этого разрабатывается климатический проект, определяющий перечень мер и инвестиций, которые гарантировано будут давать увеличение поглощения над базовым уровнем. Эта дельта фиксируется в проекте, после регистрации которого выдается сертификат. Именно этот сертификат может быть активом, дающим право продавать углеродные единицы. Существует несколько международных органов, выдающих сертификаты. Они не аффилированы с бизнесом и государством и обладают безупречной репутацией. Стоимость углеродной единицы в таких сертификатах до 70 евро.

В целом в российских условиях первым шагом к смягчению эффекта от «углеродного

налога» должно стать снижение выбросов при производстве продукции, что по расчетам аналитиков окажется выгоднее уплаты пошлин [7]. Так, в угольной отрасли больше всего выбросов генерируется не при самой добыче угля, а при его использовании в других отраслях промышленности. Например, замена 1 млн тонн металлургического кокса на 1 млн тонн антрацита позволяет снизить выбросы парниковых газов по всей производственной цепочке от добычи угля до выплавки чугуна на 20–40 %, или на 0,4–0,8 млн тонн в CO_2 эквиваленте. Таким образом замена кокса на антрацит существенно снижает углеродный след металлургической промышленности.

Вторым значимым шагом в этой проблеме является реализация углеродных единиц.

В условиях тренда на декарбонизацию получение объективной и достоверной информации об углеродном следе отечественной продукции и принятие мер к его снижению должно стать решающим аргументом для достижения конкурентного технологического преимущества на этапе энергетического перехода.

Заключение

Представляется, что в течение нескольких десятилетий «энергетический переход» может снизить значимость «углеродной парадигмы», которая определяет политику государств в области энергетической безопасности. Рост потребления энергии из возобновляемых и иных низкоуглеродных источников может привести к снижению ключевых рисков, с которыми сегодня сталкиваются импортеры нефти, газа и угля, и, возможно, позволит им стать энергетически независимыми. Однако рано говорить об эффективности альтернативной энергетики. До сих пор она субсидированная, так как стоимость кВт/ч традиционных источников значительно ниже возобновляемых. Тем не менее за ней будущее. Уместно привести мнение нашего отечественного лауреата Нобелевской премии академика Ж. Алферова: «...если КПД фотопреобразования поднять до 50 %, то мощность всех солнечных станций может достичь 140 ГВт, что равняется нынешней

мощности всех электростанций России» [4]. И прогресс в этой области есть — российские ученые освоили гетероструктурные технологии, обеспечивая КПД солнечной ячейки до 23,5 %.

Список источников

1. Боровский Ю.В. Проблема энергетической безопасности мирового энергетического перехода // Вестник РУДН. Серия «Международные отношения». 2021. № 4. Т. 21. С. 772–784.
2. Суверенная декарбонизация: геополитика изменила подход к «очищению» электричества // Деловой Петербург, 22.04.2022. URL: https://www.dp.ru/a/2022/04/22/Suverennaja_dekarbonizaci (дата обращения: 20.02.2025).
3. Кашеев Р.Л., Казаков Н.П. Зеленые облигации как инструмент ответственного инвестирования // Сборник науч. тр. «Актуальные проблемы военно-научных исследований». СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2021. Вып. 5 (17). С. 107–111.
4. Казаков Н.П. Основы экономики и технологии важнейших отраслей народного хозяйства России: учебник. СПб.: ЛГУ им. А.С. Пушкина, 2013. 140 с.
5. Орлова Н. Garboneum по имени углерод // Санкт-Петербургские ведомости, 4.05.2022.
6. Киотский протокол к рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата. ООН, 1998.
7. Бизнес переходит на «зеленую» энергию: тренд или необходимость. URL: <https://nsk.rbc.ru/nsk/21/10/2021/6170b0549a79478a82513ffb> (дата обращения: 23.12.2024).
8. Распоряжение Правительства РФ от 29 октября 2021 года. № 3052-р «Об утверждении Стратегии социально-экономического развития РФ с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г.».
9. Кашеев Р.Л., Саркисов С.В., Казаков Н.П. Трансграничный углеродный налог как стимул решения проблемы обращения твердых коммунальных отходов // Сборник статей IV НПК «Развитие систем водоснабжения и водоотведения, энергосбережение и охрана окружающей среды». СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2022. С. 24–32.

УДК 355.53; 358.1; 358.3

doi: 10.53816/20753608_2025_2_36

**ДОСТИЖЕНИЕ ТРЕБУЕМОГО УРОВНЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
СИСТЕМЫ ВООРУЖЕНИЯ СУХОПУТНЫХ ВОЙСК — ОСНОВНОЙ СПОСОБ
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РОССИИ**

**ACHIEVING THE REQUIRED LEVEL OF EFFICIENCY
OF THE GROUND FORCES' WEAPON SYSTEM IS THE MAIN WAY
TO ENSURE RUSSIA'S MILITARY SECURITY**

Академик РАН И.Б. Шеремет¹, В.Л. Комольцев², В.А. Потанов¹

¹АО «Маневр-21», ²ГНИИИ ВМ Минобороны России

I.B. Sheremet, V.L. Komoltsev, V.A. Potapov

В статье обсуждается возможное направление развития системы вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) Сухопутных войск (СВ) России. Предлагается способ повышения эффективности огневого поражения противника (ОПП) в условиях массового применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) за счет создания перспективных систем связи и автоматизированных систем управления (АСУ) СВ, интегрирующих имеющиеся и перспективные средства в сбалансированную систему ВВСТ с учетом изменившихся форм и способов ведения военных действий.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, система связи, беспилотный летательный аппарат.

The article discusses a possible direction of development of the system of weapons, military and special equipment (WME) of the Russian Ground Forces (Army). It proposes a way to improve the effectiveness of enemy fire defeat (EFD) in the conditions of mass use of unmanned aerial vehicles (UAVs) by creating advanced communication systems and automated control systems (ACS) of the Army, integrating the existing and prospective means into a balanced system of military and special equipment, taking into account the changed forms and methods of warfare.

Keywords: automated control system, communication system, unmanned aerial vehicle.

Прошло почти 20 лет с начала опубликования в отечественной печати идей развития отечественных систем вооружения с использованием сетевых технологий, предложенных в статье [1, 2]. Сама концепция «сетевцентрической (network-centric)» войны [2] была разработана вице-адмиралом флота США Артуром Себровски и экспертом комитета начальников штабов Джоном Гарстка. Применительно к ракетным войскам и артиллерии (РВиА) СВ эта теория была

детально рассмотрена и доведена до практических рекомендаций не только в статьях, но даже и в монографиях. К настоящему времени концепции уже более 30 лет. Тем не менее она имеет самое непосредственное отношение к анализу проблем, возникших в ходе специальной военной операции (СВО).

Согласно проведенным исследованиям, состояние и перспективы развития подсистемы связи и АСУ СВ определяют текущий уровень

развития системы ВВСТ. Кроме того, согласно [4, 5], перспективы достижения требуемой для обеспечения военно-технического превосходства эффективности системы вооружения СВ определены этими же подсистемами.

Практические предложения по «сетцентрической» трансформации единой системы управления тактического звена (ЕСУ ТЗ) для реализации тогда еще достаточно новых взглядов [1, 2] на построение системы управления и разведывательно-огневые действия СВ состояли в следующем.

Согласно [7] «Основной идеей «сетцентрической войны» является интеграция всех сил и средств в едином информационном пространстве, что позволяет многократно увеличить эффективность их боевого применения за счет синергетического эффекта. Внедрение сетевых технологий в военную сферу стало действительно революционным шагом, направленным на повышение боевых возможностей вооруженных сил... в первую очередь за счет сокращения цикла боевого управления».

В контексте [1, 2, 10] сущность (основная идея) «сетцентрической войны» состоит в том, что повышение «боевых возможностей» достигается «за счет сокращения цикла боевого управления», то есть связана не столько с топологией системы управления, как со временем ее реакции. В последующих исследованиях [4, 7] было показано, что реализация «сетевых технологий» ведет к увеличению информированности должностных лиц, существенно увеличивает устойчивость подсистемы управления, что в итоге позволяет существенно повысить эффективность боевого применения войск (сил) [5].

Собственные проведенные исследования [4, 8], показали, что применительно к РВиА идея «многократного увеличения эффективности» предполагает радикальное повышение информированности о действиях противника.

Так, например в [8], вместо координат центра групповой цели, ее фронта и глубины необходимо знать координаты всех объектов техники из ее состава. В обязательном порядке необходимо обслуживать огонь на поражение (корректировать огонь по цели), учитывать результаты огня (удара) для возможного повтора огневого воздействия. В результате корректирования огня, в том числе и с применением адаптивных

алгоритмов на основе фильтра Калмана [8], возможно существенно повысить точности огня, что сопровождается многократным ростом эффективности огня. При применении высокоточного оружия (ВТО) по объектам противника совершенно обязателен контроль результатов огня (удара). Это означает, что для повышения эффективности огня и обеспечения своевременной передачи требуемых объемов информации в перспективной АСУ РВиА необходимо создать многоканальную систему управления, позволяющую комплексировать средства поражения, разведки и боевого обеспечения для выполнения потоков огневых задач с максимально возможной производительностью, в том числе и при воздействии РЭБ и в условиях ведения противником радио-разведки. В данном случае под «производительностью» системы огневого поражения противника (ОПП) понимается количество типовых огневых задач, выполняемых в единицу времени, например за 1 час боя [5].

Ход СВО не только подтвердил высказанные идеи [1–7], но и выявил существенные изменения в тактике действий подразделений СВ, вызванные реализацией противником соответствующих изменений системы вооружения. Основные из этих изменений сводятся к следующему.

Взрывной рост эффективности огня (ударов) полевой артиллерии противника, обеспеченный применением систем разведки, связи и АСУ, основанных на космической группировке, массовое применение ВТО и БПЛА привели к тому, что все объекты техники, как правило, размещают под укрытием леса, в населенных пунктах или прячут от ударов в складках местности. Оборонительные позиции (то есть «оборудованные в инженерном отношении места размещения батальонов» [9]) трансформировались в совокупность «опорных пунктов», в которых размещено, как правило, несколько пехотинцев (отделение мотострелков). Основой обороны стали укрепленные города (населенные пункты). Имеющаяся на начало СВО подсистема управления огнем (ударами) РВиА, предполагавшая в качестве объекта управления дивизион (батарею) [8], в результате творческого подхода войсковых офицеров, была трансформирована в «поорудийные» контуры управления. Базовый способ определения установок для стрельбы — «полная подготовка» [9] был повсеместно

заменен на пристрелку и перенос огня от репера (цели), в том числе и для боевых машин (БМ) РСЗО. Для обслуживания огня артиллерии были применены БПЛА, как принятые на вооружение к началу СВО, так и поставляемые в войска по линии Министерства обороны и через добровольческие организации. Танки и БМП подразделений СВ были применены как маневренные орудия, ведущие огонь с закрытых огневых позиций (ЗОП). При комплексировании с БПЛА их огонь с ЗОП оказался достаточно эффективным. В результате противник потерял преимущества в эффективности огня (нанесения ударов). Он также существенно изменил тактику действий, поскольку маневренные действия его подразделений в зоне досягаемости нашей артиллерии и ударных БПЛА стали приводить к неадекватно большим потерям.

Обратим внимание, что в рамках старых подходов [9, 10] достаточно долго не удавалось решить проблему контрбатареи борьбы. Превосходство в дальности ведения огня орудий (БМ РСЗО) противника, невысокая скорость реакции на открытие огня нашей артиллерией позволяли ему почти безнаказанно вести огонь по нашим войскам. Ситуация резко изменилась, когда для уничтожения дальнобойной артиллерии противника (РСЗО) стали применять удары дальнобойных РСЗО, РК «Искандер», скомплексированных с разведывательными БПЛА или пассивными средствами артиллерийской разведки типа «Пенициллин». Также необходимо отметить, что в войсках практически отказались от системы командно-наблюдательных пунктов, заменяя непрерывным ведением разведки с использованием БПЛА и отдельными наблюдателями. Командно-штабные машины и командно-наблюдательные машины в звене дивизион практически не используются.

Значительно повысилась роль проводимой противником радиоразведки, позволяющей фактически полностью с достаточной точностью вскрывать места работающих радиостанций, проводить доразведку с применением БПЛА и огневое воздействие артиллерией.

В ходе СВО пришлось отказаться от «классической» системы управления ОПП, предполагающей централизацию управления, заблаговременное планирование, отсутствие контроля за результатами огневого воздействия. Средства

разведки и боевого обеспечения, в полном соответствии с [4, 5] были объединены во временные контуры управления со средством поражения. При этом такое объединение, как правило, выполнялось для обеспечения стрельбы отдельного орудия (БМ РСЗО). Реализованные мероприятия существенно повлияли на точность огня артиллерии [8]. Эти мероприятия многократно (не менее чем в 8 раз! [9]) сократили требуемый на поражение типовой цели расход артиллерийских снарядов, по сравнению с классическим способом определения установок для стрельбы, привлечения для выполнения типовой задачи дивизиона и ведения огня по всей площади групповой цели [9]. Это может быть условно принято за почти восьмикратное увеличение количества артиллерии РВиА.

Безусловно, изменения в структуре управления СВ, реализованные в ходе СВО, привели к многократному росту эффективности имевшихся на начало СВО наших огневых средств. Это позволило ликвидировать преимущества группировки войск ВС Украины, достигнутых за счет реализации сетевых технологий управления, основанных на созданной НАТО космической группировке, обеспечившей устойчивую интернет связь.

При анализе свойств АСУ важно учитывать не только «длительность циклов управления», «количество каналов управления», но и устойчивость подсистемы связи в условиях РЭБ. Как следует из проведенного краткого анализа опыта СВО, старая система управления ОПП не выдержала испытания. В ходе военных действий она претерпела существенные изменения в сторону уменьшения времени реакции и увеличения количества каналов управления. Отметим, что вынужденная трансформация топологии системы управления (из иерархической в совокупность «временных контуров управления с максимальной возможной децентрализацией управления») позволяет только частично компенсировать преимущества имеющихся в армиях НАТО сетевых АСУ, поскольку она не обеспечивает своевременное поступление объективной информации должностным лицам (штабам), осуществляющим управления боем (тем более — операцией).

Следует отметить, что основной «методологический» недостаток современной ВВСТ СВ, объективно не позволивший начать СВО

исходя из концепции «военно-технического превосходства» [5], был частично устранен в ходе СВО. Он сводится к следующему. «Концепция «военно-технического превосходства» [4, 5] предполагает завоевание и удержание сначала информационного, а потом огневого превосходства нашей группировки войск (сил). Для этого требуется так организовать разведку и уничтожение огневыми средствами (подавление средствами РЭБ) подсистем разведки и управления противника, чтобы предотвратить поражение наших подсистем. Это означает, что требуется не только упредить противника в поражении, но и обеспечить существенно большую производительность системы ОПП, что может позволить избежать значимых боевых потерь наших войск. Для устранения неопределенности в планировании и реализации операции наши войска (силы) не должны в ходе боя существенно уменьшать свои боевые возможности [5].

Обычно при анализе роли БПЛА (и массового применения FPV-дронов) в современном бою авторы исходят из нанесения ими потерь противоборствующей стороне, то есть обращают основное внимание на ударные БПЛА. Однако массовое применение БПЛА в качестве ретранслятора подсистемы связи и носителя средств технической разведки (оптической, радиотехнической, радиолокационной и т.д.) и непосредственное замыкание информационных каналов на органы управления дальнобойных огневых средств (артиллерию, огневые средства общевойсковых подразделений, армейскую авиацию) позволило существенно сократить циклы управления в тактическом звене. Это значительно повлияло на оперативность открытия огня (ударов), позволило корректировать огонь на поражение и контролировать результаты воздействия огня (удара). Как было отмечено, именно применение БПЛА для обслуживания огня артиллерии радикально повысило своевременность и точность, а значит и эффективность ОПП [8]. При этом, выросший трафик каналов управления (вместо речевого сообщения или циклограммы АСУ потребовалось передавать видеофайлы) привел к необходимости децентрализации системы управления.

Кроме того, в анализе причин изменения тактики войск в СВО следует учитывать массовое применение дистанционно устанавливаемых, в том числе с помощью БПЛА, минно-взрывных

заграждений (МВЗ). В совокупности с возможностью контроля маршрутов движения при применении БПЛА позволили радикально сократить возможности противоборствующих сторон совершать маневр в тактической глубине обороны. Это заблокировало пути подвоза боеприпасов, исключило возможность передвижения боевых подразделений в колоннах (в ближней тактической зоне на отдельных объектах техники).

Следовательно, основными причинами, повлиявшими на необходимость изменения тактики действий войск, стали комплексирование с БПЛА огня артиллерии, применение ударных БПЛА, а также установка дистанционно МВЗ, что резко ограничило маневр войск. Кроме того, массовое применение БПЛА в ходе СВО оказало существенное воздействие на рост информированности сторон, оперативности и эффективности ОПП огнем (ударами) артиллерии и авиации. Еще более заметные изменения в тактике ведения военных действий СВ в ходе СВО произошли в результате массового применения FPV-дронов. Эти дроны — по существу «новейший подвид ВТО тактического звена», применение которых в системах управления сетевого типа дало взрывной рост эффективности.

На первом этапе СВО войска (силы) России вели активные наступательные действия, примерно соответствующие наступательной операции, характерной для середины XX века [10]. Достигнутые результаты этих действий невозможно переоценить — практически все последующие военные действия ведутся на новых территориях.

В последующем, из-за очевидной недопустимости боевых потерь, характерных для такого способа разгрома противника (огневое поражение; удар войсками, выдвигающимися из глубины; маневр войск в глубине обороны противника; окружение части группировки противника, разгром этой части действиями войск), войска (силы) России перешли к построению сплошной линии фронта, подчеркнуто медленному продвижению войск, огневому разгрому наземной группировки противника огнем (ударами) огневых средств СВ, преимущественно с закрытых огневых позиций, перенесению ударов военно-космических сил (ВКС) и ВТО большой дальности на инфраструктурные объекты Украины.

Основным преимуществом, обеспечивающим продвижение наших войск (сил), на современном, заключительном этапе СВО стало достигнутое в результате огневого поражения наземной группировки противника исчерпание его возможностей по восполнению боевых потерь живой силы. Массовое применение ВКС бомб с унифицированным модулем планирования и коррекции (УМПК) и суточный расход боеприпасов артиллерии СВ, в несколько раз больший, чем это смогли обеспечить все страны НАТО, привели к критическому уровню потерь живой силы группировки противника. Именно боевые потери живой силы, в первую очередь блокируют возможность дальнейшей мобилизации населения Украины, ведут к резкой демотивации войск и потере управления ими. Капитуляция группировки ВСУ совершенно неизбежна даже без занятия всей территории Украины.

Однако имеющееся на нашей стороне достаточно заметное количественное преимущество в средствах огневого поражения и расходе боеприпасов не может считаться «военно-техническим превосходством» [6, 7], аналогичном тому, что было достигнуто в результате совместных действий ВКС России, применения ракетных комплексов большой дальности, средств ПВО и РЭБ. В результате этих совместных действий ВКС России получили необычайно важное для хода СВО господство в воздухе.

Следует заключить, что тактика действий наших войск, применяемая в ходе СВО в настоящее время, единственно возможна при условии ограничения наших боевых потерь. Сущность этой тактики состоит в неуклонной реализации огневого преимущества наших войск за счет средств ОПП, огневых средств общевойсковых подразделений СВ, армейской авиации и ВКС. Существенным изменением тактики следует считать то, что в зоне досягаемости FPV-дронов вынужденно обеспечивается минимально возможная плотность подразделений мотострелковых подразделений, объекты техники которой размещают не в опорных пунктах, а под укрытием лесополос, городской застройки, в складках местности. Наши наступательные действия реализуются после огневого поражения укрытой пехоты противника в опорных пунктах. Для дальнего огневого поражения применяют огонь (удары) РВиА, армейской авиации (АА), ВКС.

Наступление реализуют в составе штурмовых групп при задействовании для ведения разведки и огневого поражения БПЛА.

Таким образом, тактика действия войск (изменившаяся в результате роста информированности сторон, внедрения современных сетевых систем управления, массового применения ВТО, частью которого следует рассматривать ударные БПЛА) позволяет сформулировать тактико-технические требования (ТТТ) к перспективной подсистеме связи и АСУ СВ. Эта система, применительно к наземным силам, должна быть построена на сетевых миниатюрных средствах разведки и БПЛА, что при оперативном задействовании данных от ВВС и ВКС обеспечивает контроль всей территории и зоны действия БПЛА над нею для обеспечения действий наземных сил. Такой контроль поля боя и прилегающих к нему высот действия БПЛА является основой для создания разведывательного превосходства и обязательным условием для последующего завоевания информационного превосходства, что обеспечивает последующий контролируемый разгром противника, исключая случайности в ходе операции (боя) [4, 5]. Необходимость своевременной обработки и передачи предполагаемых объемов информации, только применительно к данным о противнике, приведет к совершенно иным общим техническим требованиям (ОТТ) к подсистеме связи, чем это было характерно для войн XX века. Функционировать вся группировка наземных сил, в том числе и входящие в нее СВ, может только на основе единого межвидового информационного пространства, что обеспечивает требуемую динамику ведения операции (боя). Передача команд и донесений должна осуществляться только в электронном виде в рамках АСУ.

Следовательно, требуется радикальная трансформация перспективной системы управления, вслед за изменением взглядов на формы и способы боевого применения наземных сил в перспективных боях (операциях). Это приводит к совершенно иным ОТТ к перспективной АСУ ВС, по сравнению с теми, что были заданы для ЕСУ ТЗ в 90-х гг. прошлого века [8].

Основным выводом из проведенного анализа предлагается считать то, что только создание перспективной системы управления и разведки обеспечит требуемый прирост потенциальной

эффективности действия войск (сил) наземной группировки в локальных войнах и вооруженных конфликтах. В результате становится бессмысленным рассматривать существующую парадигму операции (боя) — дуэльное противоборство сторон. Группировки противоборствующих сторон в таких войнах (конфликтах) будут различаться на качественном уровне. В данном случае полностью реализуется идея «многократного увеличения эффективности боевого применения» [1–4, 7], что и становится «революционным шагом» в применении имеющегося оружия.

В этом контексте, для обозначения основных направлений в изменении подходов к формированию ОТТ к перспективной АСУ (для дальнейшего совершенствования ЕСУ ТЗ), необычайно полезно мнение, высказанное в статье [1, 2]. Его сущность сводится к следующему:

«Парадигма сетецентрической войны продуцирует совершенно иной путь развития системы вооружения на основе перехода к массовому созданию... существенно более дешевых средств, изначально ориентированных на сетевое (системное, коллективное, кооперативное) применение»;

«Концептуальное отделение платформы (носителя) от полезной нагрузки, само по себе, должно дать импульс процессам конструирования универсальных носителей, пригодных для транспортировки различных боевых элементов и образцов вооружений».

Применительно к АСУ СВ эти тезисы означают, что материальная часть технических средств перспективной АСУ должна состоять из «существенно более дешевых средств, изначально ориентированных на сетевое применение». «Платформа» (транспортная база) должна быть отделена от аппаратуры АСУ. Эти выводы также относятся к перспективным средствам разведки и связи СВ.

Для осуществления требуемого качественного рывка в совершенствовании отечественных АСУ и значительного многократного сокращения расходов в [7] был предложен подход, сущность которого сводится к следующему.

В рамках программы модернизации материальной основы систем управления всех силовых министерств и ведомств РФ предлагается провести унификацию комплексов средств автоматизации (КСА) до единственного типового эле-

мента замены — автоматизированного рабочего места должностного лица (АРМ ДЛ), «оторванного» от транспортной базы.

В состав АРМ ДЛ (носимый КСА, размещаемый в полевой офицерской сумке, или в ее современном габаритном аналоге, или в качестве элементов экипировки ДЛ, или в «карманном» варианте — при минимальной комплектации) включить следующие основные элементы (вариант):

- планшет (нетбук) с установленными допустимыми характеристиками: быстродействие, оперативная память, потребляемая мощность, массо-габаритные характеристики, приемник ГЛОНАС;

- специальное программное обеспечение (СПО), позволяющее управлять в масштабе реального времени;

- носимая радиостанция с функцией приоритета передачи данных и ретрансляции передаваемых сообщений;

- набор носимых аккумуляторов;

- гарнитура (наушники/ларингофон);

- модем, обеспечивающий соединение всех основных элементов и подключение любого из них к внешним устройствам и дополнительному оборудованию.

В этом переходе самое главное — это построение единого информационно-коммуникационного пространства всех силовых структур РФ, привлекаемых в состав наземных сил для ведения военных действий.

Конкретные ОТТ к канальной емкости, пропускной способности, оперативности, скрытности, устойчивости, своевременности и достоверности информации в рамках перспективной АСУ могут быть сформулированы только на основе оценки реальных потоков информации, циркулирующей в системе управления СВ. Это означает, что конкретизировать ТТХ к перспективной АСУ и ее элементам целесообразно только после построения и исследования функционирования макета всей системы управления. В этом смысле предложенный на основе интерпретации общего подхода [1, 2] способ создания сетевых подсистем управления и разведки позволяет получить макет будущей сетевой системы управления.

Таким образом, отечественную практику, предполагающую, что «требования» на уровне

ТТХ элементов изделий закладываются в ТЗ на многолетние ОКР, в последующем определяющие облик СВ, не из реальных потребностей операции (боя), а исходя из имеющихся технологических возможностей отечественных предприятий, тем более когда системные требования вообще не оговариваются в ТТЗ, следует считать недопустимой. Именно это приводит к тому, что в результате даже успешного завершения этих многолетних ОКР на вооружение принимаются комплексы, предназначенные для «давно прошедших войн».

Достижение требуемого уровня эффективности системы ВВСТ СВ в предстоящих войнах и вооруженных конфликтах обязательно для обеспечения военной безопасности России. Основой для качественного роста эффективности боевого применения нашей группировки войск (сил) следует считать построение подсистем разведки, связи и АСУ, соответствующих современной отечественной системе вооружения, что обеспечит требуемый рост эффективности действий войск (сил) наземной группировки в локальных войнах и вооруженных конфликтах.

Список источников

1. Шеремет И.А. Компьютеризация как путь к победе в вооруженном борьбе. // Независимое военное обозрение от 11 ноября 2005 года. URL: https://nvo.ng.ru/concepts/2005-11-11/4_computers.html?ysclid=mab4x8x45b336604178 (дата обращения: 24.01.2025).
2. Шеремет И.А. «Концепция «сетевцентричной войны» и особенности её практической реализации» // Независимое военное обозрение от 11 ноября 2005 г. URL: http://nvo.ng.ru/concepts/2005-11-11/4_computers.html (дата обращения: 24.01.2025).
3. David S. Network centric warfare: developing and leveraging information superiority / David S. Alberts, John J. Garstka, Frederick P. Stein // CCRP, 1999. 284 p.
4. Шеремет И.Б. Предложения по «сетевцентрической» трансформации единой системы управления тактического звена для реализации новых взглядов на боевые действия Сухопутных войск // Вооружение. Политика. Конверсия. М.: РАРАН, 2011. № 3. С. 17–26.
5. Шеремет И.Б., Чернов И.Р. Практические аспекты построения разведывательно-ударной сети на основе развития системы вооружения и военной техники Сухопутных войск // Вооружение. Политика. Конверсия. М.: РАРАН, 2012. № 6. С. 13–16.
6. Потапов В.А. АСУ специального назначения. Стратегия развития информационного общества в РФ. СПб.: МВАА, 2007. 94 с.
7. Буренок В.М., Ивлев А.А., Корчак В.Ю. Развитие военных технологий XXI века: проблемы, планирование, реализация: монография. Тверь: Изд-во «Купол», 2009. 624 с.
8. Комольцев В.Л. Методология расчетно-экспериментального определения поражающего действия боеприпасов для обоснования основных направлений развития системы вооружения ракетных войск и артиллерии Сухопутных войск: монография. СПб.: ГНИИИ ВМ, 2023. 233 с.
9. Оценка эффективности огневого поражения ударами ракет и огнем артиллерии: военно-теоретический труд; под ред. А.А. Бобрикова. СПб.: «Галлея Принт», 2006. 424 с.
10. Усиков А.В., Бурутин Г.А., Гаврилов В.А. и др. Военное искусство в локальных войнах и вооруженных конфликтах (вторая половина XX–начало XXI века); под ред. Рукшина А.С. М.: Воениздат, 2008. 263 с.

УДК 004.896

doi: 10.53816/20753608_2025_2_43

**РОЕВЫЕ СИСТЕМЫ БЕСПИЛОТНЫХ ОБЪЕКТОВ:
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ
ГРУППЫ МОБИЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ**

**SWARM SYSTEMS OF UNMANNED OBJECTS:
MATHEMATICAL DESCRIPTION OF THE BEHAVIOR
OF A GROUP OF MOBILE OBJECTS**

Чл.-корр. РАРАН А.Э. Соловьев, О.А. Кравченко, А.Н. Ивутин, М.Ю. Шишлов

Тульский государственный университет

A.E. Soloviev, O.A. Kravchenko, A.N. Ivutin, M.Yu. Shishlov

Данная статья продолжает цикл работ, посвященных исследованиям в области обеспечения предсказуемого и энергорационального описания поведения группы мобильных объектов (роя беспилотных аппаратов/роботов), основанного на принципах классической физики. Рассмотрена математическая модель описания поведения группы мобильных объектов, основанная на принципах классической физики. Приведены математические зависимости и результаты моделирования для пространственной задачи.

Ключевые слова: групповое взаимодействие, динамические процессы, слабосвязанные объединения, физические законы, биомиметика, роевые системы.

This article continues the series of papers dedicated to research into providing a predictable and energy-rational description of the behavior of groups of mobile objects (swarm of drones/robots), based on classical physical principles. A mathematical model for describing the behavior of such a group of objects is presented. Mathematical dependencies and simulation results for a spatial problem are provided.

Keywords: group interaction, dynamic processes, loose coupling, physical principles, biomimetics, swarm systems.

Роевые системы (рои) беспилотных аппаратов представляют собой совокупность однотипных объектов (членов роя — агентов), взаимодействующих друг с другом, окружающей средой и внешними объектами/факторами. Некоторые основы физического подхода к описанию взаимодействий показаны в [1]. При этом следует отметить, что для ряда работ, развивающих физические подходы к описанию взаимодействия [2, 13, 14] свойственно существен-

ное усложнение процесса описания взаимодействия, где используются уравнения, схожие с уравнениями Навье — Стокса для простой сжимаемой жидкости, либо, как в работах [3, 4], существенное влияние уделяется хаотическим и случайным факторам когерентных движений. В работе [5] предлагается простая модель, соответствующая частицам, движущимся в противоположных направлениях и взаимодействующим посредством потенциала отталкивания.

Рассматриваемые зависимости и подходы либо тяготеют к излишней теоретизированности, либо рассматривают частные случаи взаимодействия. Мы в своем исследовании ставим целью разработать описание взаимодействия, способное с допустимой долей допущений описывать групповое взаимодействие большого количества материальных объектов с использованием принципов классической физики.

При рассмотрении агентов как материальных точек, движение каждого из них (в общем случае) рассматривается с учетом следующих факторов:

- инерционности, которая характеризуется массой m_i i -го агента роя;
- рассеивания энергии при движении агента, которое характеризуется функцией h_i , зависящей от скорости i -го агента роя;
- взаимодействия агентов, которое зависит от расстояния между соседними агентами и позволяет им стремиться сохранять определенные расстояния между собой. Характеризуется функциями вида r_{ij} от расстояния между i -м и j -м членом роя;
- внешних факторов F_a , действующих на окружающих их членов роя — например, статические факторы (препятствия).

Рассмотрим простейшую модель взаимодействия, описывающую одномерную задачу. В данной ситуации считается, что каждый агент может двигаться только вдоль одной оси X . Схематическое описание данной модели взаимодействия приведено на рис. 1.

В данном случае все N_x членов роя (то есть $i = 1, \dots, N_x$) расположены вдоль упомянутой оси. Начальное положение каждого члена роя определяется координатой $x_i(0)$, а изменение этого положения определяется величиной x_i . Тогда, текущее положение i -го члена роя определяется выражением $x_i(t) = x_i(0) + x_i$.

Связи r_{ij}^x можно представить в виде абстрактных пружин, которые характеризуются коэффициентом упругости k_{ij}^x вдоль оси X . Если считать, что при $t = 0$ рой находится в равновесном состоянии (то есть $|x_i(0) - x_{i-1}(0)| = |x_i(0) - x_{i+1}(0)|$), то при изменении этого состояния взаимодействие i -го члена роя с его соседями r_i^x будет определяться некими функциями от перемещений соседствующих членов роя:

$$r_i^x(t) = r_{i(i-1)}^x + r_{i(i+1)}^x = f(x_i - x_{i-1}) + f(x_i - x_{i+1}),$$

причем $r_{i(i-1)}^x = -r_{(i-1)i}^x$ и $r_{i(i+1)}^x = -r_{(i+1)i}^x$. Кроме того, следует учесть граничные условия:

$$r_{i(i-1)}^x = 0 \text{ при } i = 1 \text{ и } r_{N_x(N_x+1)}^x = 0 \text{ при } i = N_x.$$

На рой, по оси X может действовать ряд внешних факторов F_a^x ($a = 1, \dots, A$). Место начала действия каждого из них определяется координатой $x_{Fa}(0)$, а текущее положение этого фактора относительно роя определяется его координатой $x_{Fa}(t)$. В соответствии с координатой этого фактора определяется его позиция ai относительно агентов роя. Влияние этого фактора на соседних с ним членов роя с номерами $ai - 1$ и $ai + 1$ (для простоты будем считать, что на остальных членов роя этот фактор непосредственного действия не оказывает) определяется через силы:

$$F_{(ai-1)Fa}^x = F^x[x_{ai-1}(t) - x_{Fa}(t)],$$

$$F_{(ai+1)Fa}^x = F^x[x_{ai+1}(t) - x_{Fa}(t)].$$

Причем в процессе движения члены роя, соседствующие с фактором F_a^x ($a = 1, \dots, A$), могут меняться, то есть будут меняться номера $ai - 1$ и $ai + 1$.

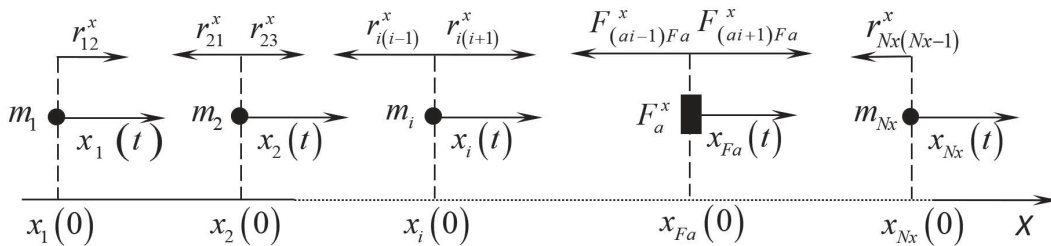


Рис. 1. Взаимодействие агентов роя при одномерной модели

Тогда уравнение движения i -го члена роя относительно его исходного положения $x_i(0)$ определяется выражением:

$$m_i \ddot{x}_i + h_i \dot{x}_i + r_i^x(t) = \sum_{a=1}^{A_i} F_a^x [x_i(t) - x_{Fa}(t)],$$

где A_i — количество внешних факторов, непосредственно влияющих на i -й агент роя.

В зависимости от знака функций $F_a^x [x_i(t) - x_{Fa}(t)]$, члены роя будут либо избегать внешнего фактора (тогда его можно интерпретировать как помеху), либо стремиться к нему (тогда его можно интерпретировать как цель).

Если рой двухмерный, то каждый его некрайний член взаимодействует с восемью другими членами роя, причем каждое это взаимодействие имеет две составляющие: по осям X и Y (рис. 2).

Тогда для m_{ij} члена роя можно записать:

$$r_{ij}^x = \sum_{e=-1,1} r_{[ij][(i+e)j]}^{x0} + \sum_{e=-1,1} r_{[ij][(i+e)j]}^{xc} + \sum_{e2=-1,1} \left(\sum_{e1=-1,1} r_{[ij][(i+e1)(j+e2)]}^{xd} \right);$$

$$r_{ij}^y = \sum_{e=-1,1} r_{[ij][(i+e)j]}^{y0} + \sum_{e=-1,1} r_{[ij][(i+e)j]}^{yc} + \sum_{e2=-1,1} \left(\sum_{e1=-1,1} r_{[ij][(i+e1)(j+e2)]}^{yd} \right).$$

Необходимо отметить, что составляющие

$r_{[ij][(i+e)j]}^{xc}$ и $r_{[ij][(i+e)j]}^{yc}$ ($e = -1, 1$) обуславливают взаимодействие между рядами роя. При их отсутствии движение членов j -го ряда относительно оси X не будет оказывать влияние на движение членов $(j-1)$ и $(j+1)$ рядов, аналогично и для членов i -го ряда при движении относительно оси Y .

Взаимодействие между членами роя, которые расположены на одной диагонали, может быть учтено двумя способами:

- опосредовано, то есть по катетам, когда m_{ij} член роя сначала взаимодействует с членами соседних рядов $m_{[ij][(i+e)j]}$ и $m_{[ij][(i+e)j]}$, а уже они передают это взаимодействие членам $m_{[ij][(i+e1)(j+e2)]}$ ($e1 = -1, 1$ и $e2 = -1, 1$);
- непосредственно, что учитывается составляющими $r_{[ij][(i+e1)(j+e2)]}^{xd}$ и $r_{[ij][(i+e1)(j+e2)]}^{yd}$ ($e1 = -1, 1$

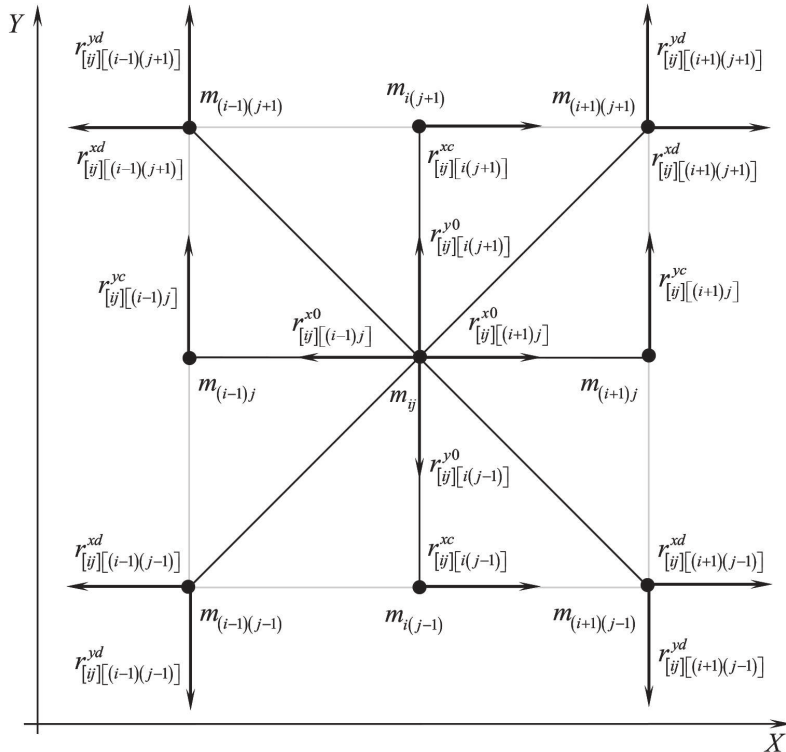


Рис. 2. Взаимодействие между членами плоского роя

и $e_2 = -1, 1$), причем в данном случае опосредованное взаимодействие сохраняется.

В качестве граничных условий для двухмерного роя необходимо учесть нулевое взаимодействие при одном из следующих условий: $i = 0$, $i = N_x$, $j = 0$, $j = N_y$.

Влияние внешних факторов будет также иметь две составляющие, действующих по соответствующим осям: $F^x[x_i(t) - x_{Fa}(t)]$ и $F^y[y_j(t) - y_{Fa}(t)]$.

Если порядок членов роя не меняется, то такой рой будем называть упорядоченным. Очевидно, что только линейный рой будет всегда упорядоченным. Уже для двухмерного роя возможно изменение порядка его членов, то есть член m_{ij} не всегда может находиться между членами $m_{(i-1)j}$ и $m_{(i+1)j}$ по оси X или между $m_{i(j-1)}$ и $m_{i(j+1)}$ по оси Y (рис. 3).

Для многомерного случая остаются справедливыми все правила одномерного роя с учетом того, что положение агентов роя и внешних факторов, а также их взаимодействия описываются векторами соответствующей размерности. Так, для трехмерного роя движение каждого агента можно описать следующим образом:

$$m_{ijk} \ddot{q}_g + h \dot{q}_g + r_{ijk}^q = \sum_{a=1}^{A_g} F_a^q [q_g(t) - q_{Fa}(t)] - F_s^q [q_g(t) - q_{Fs}(t)],$$

где

$$q = x, y, z; \quad g = \begin{cases} i & \text{при } q = x \\ j & \text{при } q = y \\ k & \text{при } q = z \end{cases};$$

$$r_{ijk}^q = \sum_{e_3=-1,0,1} \left[\sum_{e_2=-1,0,1} \left(\sum_{e_1=-1,0,1} r_{[ijk][(i+e_1)(j+e_2)(k+e_3)]}^{qb} \right) \right] - r_{[ijk][ijk]}^{qb};$$

$$r_{[ijk][(i+e_1)(j+e_2)(k+e_3)]}^{qb} = r^{qb} \left[\sum_{e=-1,1} (q_g - q_{g+e}) \right];$$

$$b = \begin{cases} 0 & \text{при } e_1 \neq 0, e_2 = 0, e_3 = 0; \\ c & \text{при } e_1 = 0, \begin{cases} e_2 \neq 0, e_3 = 0 \\ e_2 = 0, e_3 \neq 0 \end{cases}; \\ d & \text{при остальных значениях} \end{cases}.$$

Для трехмерного роя условия изменения его структуры могут быть записаны в виде (при допущении, что линейные размеры члена роя всегда меньше расстояния между членами роя, что вполне корректно при условии пренебрежения угловыми движениями членов роя):

$$e \left[q_{ijk} - q_{(i+e_1)(j+e_2)(k+e_3)} \right] > 0; \\ g_{ijk} \neq g_{(i+e_1)(j+e_2)(k+e_3)},$$

где

$$\begin{pmatrix} q = x, y, z \\ g = x, y, z \\ q \neq g \end{pmatrix};$$

$$\begin{pmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \end{pmatrix} = -1, 0, 1;$$

$$e = \begin{cases} e_1, e_2 = e_3 = 0 & \text{при } q = x \\ e_2, e_1 = e_3 = 0 & \text{при } q = y \\ e_3, e_1 = e_2 = 0 & \text{при } q = z \end{cases}.$$

Кроме того, необходимо учесть, что при смене порядка членов роя меняется и направление сил взаимодействия между ними, тогда

$$r_{[ijk][(i+e_1)(j+e_2)(k+e_3)]}^{qb} = r^{qb} \left[\sum_{e=-1,1} \left\{ \text{sign}(q_g - q_{g+e}) \right\} (q_g - q_{g+e}) \right].$$

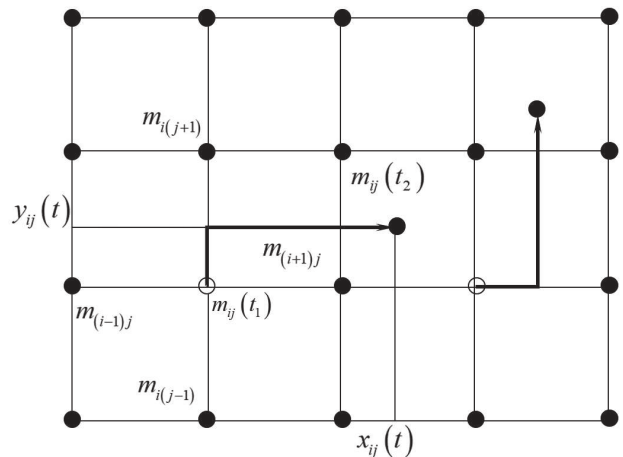


Рис. 3. Нарушение упорядоченности роя

Отметим, что в ряде случаев, взаимодействие между агентами роя, а также взаимодействие аген-

тов роя с целью и препятствиями (препятствиями), удобно представлять в виде упругих связей. Тогда:

$$r_{[ijk][(i+e1)(j+e2)(k+e3)]}^{qb} = k^r \times \begin{cases} (G_{\min}^{qb} - G_{\text{opt}}) \text{ при } \Delta G_{[ijk][(i+e1)(j+e2)(k+e3)]}^{qb} \leq G_{\min}^{qb}; \\ (\Delta G_{[ijk][(i+e1)(j+e2)(k+e3)]}^{qb} - G_{\text{opt}}) \text{ при } G_{\min}^{qb} < \Delta G_{[ijk][(i+e1)(j+e2)(k+e3)]}^{qb} < G_{\max}^{qb}; \\ 0 \text{ при } \Delta G_{[ijk][(i+e1)(j+e2)(k+e3)]}^{qb} \geq G_{\max}^{qb}, \end{cases}$$

где $\Delta G_{[ijk][(i+e1)(j+e2)(k+e3)]}^{qb}$ — расстояние между соседними агентами роя; $G_{\min}^{qb}$ — расстояние между агентами роя, дальнейшее уменьшение которого не приводит к увеличению силы взаимодействия; $G_{\max}^{qb}$ — расстояние между агентами роя, дальнейшее увеличение которого приводит к потере взаимодействия; G_{opt} — оптимальное расстояние между агентами роя, которое они стремятся сохранять при своем движении; k^r — коэффициент взаимодействия между агентами роя.

Как правило, для одного роя целесообразно одновременно задавать одну цель. Отметим, что скорость движения цели, при условии что эта скорость существенно меньше скорости движения агентов роя, не оказывает существенного влияния на их движение. Тогда функцию взаимодействия агентов роя с целью можно представить в виде:

$$F_s^q [q_g(t) - q_{Fs}(t)] = \begin{cases} k^s (G_{\max}^s - \Delta G_{[ijk]}^{qb-s}) \text{ при } \Delta G_{[ijk]}^{qb-s} \leq G_{\max}^s; \\ 0 \text{ при } \Delta G_{[ijk]}^{qb-s} > G_{\max}^s, \end{cases}$$

где $\Delta G_{[ijk]}^{qb-s}$ — текущее расстояние между агентом роя и целью; $G_{\max}^s$ — расстояние между агентом роя и целью, дальнейшее увеличение которого приводит к потере этого взаимодействия; k^s — коэффициент взаимодействия между агентом роя и целью.

В общем случае, на пути движения роя находится A препятствий, количество взаимодействий которых с агентом роя m_{ijk} по соответствующей оси определяется числом A_g . Эти препятствия могут быть трех типов:

- точечные (если размер препятствия не превышает размеры агента роя) неподвижные;
- точечные подвижные;

– протяженные,

но в любом случае взаимодействие агента роя с препятствием будет определяться кратчайшим (по соответствующей оси) расстоянием до него.

Тогда:

$$F_a^q [q_g(t) - q_{Fa}(t)] = \begin{cases} k^a (G_{\max}^a - \Delta G_{[ijk]}^{qb-a}) \text{ при } \Delta G_{[ijk]}^{qb-a} \leq G_{\max}^a; \\ 0 \text{ при } \Delta G_{[ijk]}^{qb-a} > G_{\max}^a, \end{cases}$$

где $\Delta G_{[ijk]}^{qb-a}$ — текущее расстояние между агентом роя и препятствием; $G_{\max}^a$ — расстояние между агентом роя и препятствием, дальнейшее увеличение которого приводит к потере этого взаимодействия; k^a — коэффициент взаимодействия между агентом роя и препятствием.

Используя разработанные средства моделирования поведения многоагентных систем [6, 7, 11, 12], было смоделировано поведение системы роя в соответствии с разработанной моделью. На рис. 4 (отметим, что масштабы рисунков одинаковы) показан процесс перехода трехмерного роя из неупорядоченного состояния (рис. 4, а) в упорядоченное, заданное положением цели (рис. 4, б).

При моделировании движения роя существенным является количество связей между его агентами. Количество этих связей определяется текущей конфигурацией роя и величиной $G_{\max}^{qb}$. В общем случае количество таких связей определяется выражением:

$$C = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{p_i} n_i c_i,$$

где C — общее количество связей между членами роя; n_i — количество членов роя с числом связей c_i ; p_i — количество групп в рое, обладающих уникальным числом связей (рис. 5).

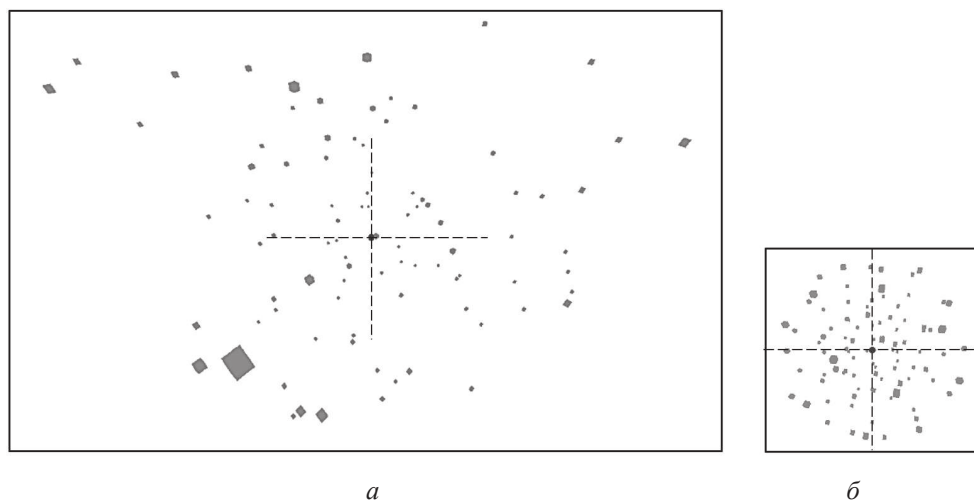


Рис. 4. Перехода трехмерного роя из неупорядоченного состояния в упорядоченное:
а — неупорядоченное состояние; б — упорядоченное состояние

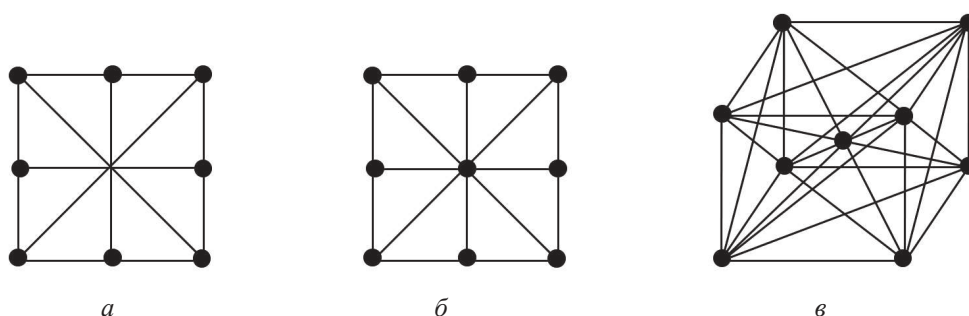


Рис. 5. Связи между членами роя:
а) $p_i = 1$, $n_i = 8$, $c_i = 3$, $C = 12$; б) $p_i = 2$, $n_i = 8$, $c_i = 3$, $n_2 = 1$, $c_2 = 8$, $C = 16$;
в) $p_i = 2$, $n_i = 8$, $c_i = 7$, $n_2 = 1$, $c_2 = 8$, $C = 32$

Если расстояния между всеми агентами роя не превышает величины $G_{\max}^{qb}$, то такой рой можно представить как полносвязный граф, размер связности в котором находится в интервале от 1 до $N - 2$, где N — число агентов в рое. Пример подобной структуры приведен на рис. 6.

Такое представление роя позволяет применить математический аппарат теории графов для анализа взаимодействий (преимущественно информационных) в образовавшихся коалициях [8], визуально оценивать наличие или отсутствие связей между элементами роя, что особенно полезно при отладке схем взаимодействия. Кроме того, при организации реальных взаимодействий внутри роя с использованием современных протоколов связи, такие представления, как правило, являются основными при решении задач многопутевой маршрутизации [9, 10, 15].

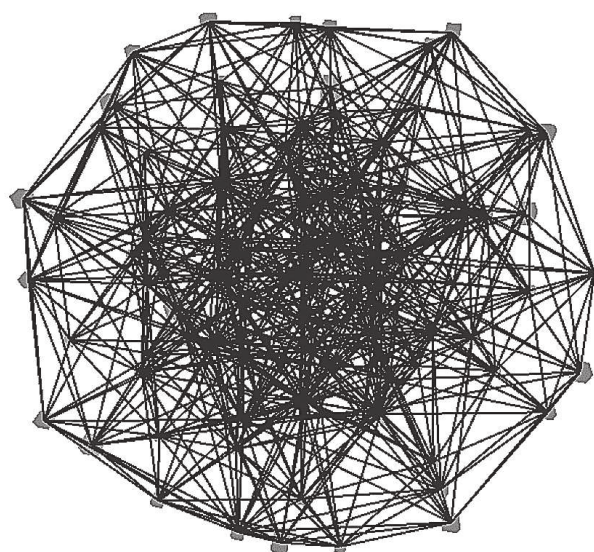


Рис. 6. Рой в представлении графа

Список источников

1. Helbing D., Farkas I., Vicsek T. Simulating dynamical features of escape panic // *Nature*. 2000. V. 407. No 6803. Pp. 487–490.
2. Toner J., Tu Y. Flocks, herds, and schools: A quantitative theory of flocking // *Physical review E*. 1998. V. 58. No 4. P. 4828.
3. Vicsek T. et al. Novel type of phase transition in a system of self-driven particles // *Physical review letters*. 1995. V. 75. No 6. Pp. 1226.
4. Czirók A., Vicsek M., Vicsek T. Collective motion of organisms in three dimensions // *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 1999. No 1–2 (264). Pp. 299–304.
5. Helbing D., Farkas I.J., Vicsek T. Freezing by heating in a driven mesoscopic system // *Physical review letters*. 2000. V. 84. No 6. Pp. 1240.
6. Модуль обработки запросов симуляции многоагентных сред: свидет. о гос. рег. прогн. для ЭВМ 2023664525 Рос. Федерация. № 2023663447; заявл. 28.06.2023; опубл. 05.07.2023, Бюл. № 7.
7. Компонент управления для интерактивной многоагентной визуализации: свидет. о гос. рег. прогн. для ЭВМ 2023664526 Рос. Федерация. № 2023663447; заявл. 28.06.2023; опубл. 05.07.2023, Бюл. № 7.
8. Карпов Д.В. Теория графов. СПб.: Санкт-Петербургское отделение Мат. института им. В.А. Стеклова РАН, 2017. 482 с.
9. Ивутин А.Н., Новиков А.С., Пестин М.С., Волошко А.Г. Децентрализованный протокол организации устойчивого взаимодействия абонентов в сетях с высокой динамикой изменения топологии // *Информатика и автоматизация*. 2024. № 3 (23). С. 727–765.
10. Новиков А.С., Ивутин А.Н., Пестин М.С. Алгоритм маршрутизации для обеспечения быстрого восстановления связи при обрывах маршрутов в сетях MANET // *Системы управления, связи и безопасности*. 2024. № 2. С. 14–42.
11. Чжу Ю. Формирование управления полетом группы беспилотных летательных аппаратов на основе алгоритма многоагентной модели роев // *Информатика, телекоммуникации и управление*. 2022. Том 15, № 4. С. 22–36.
12. Леонов А.В., Чаплышкин В.А. Роевой интеллект для управления БПЛА в FANET // *Молодой ученый*. 2016. № 12 (116). С. 314–317. URL: <https://moluch.ru/archive/116/31615/> (дата обращения: 06.06.2025).
13. Нистюк А.И., Абилов А.В., Хворенков В.В., Алексеев В.А. Разработка роевой технологии для мобильных самоорганизующихся сетей. Идентификация динамических моделей // *Вестник ИЖГТУ им. М.Т. Калашникова*. 2018. Том 21, № 4. С. 136–140.
14. Нгуа Ндонг Авеле Ж.Б. Разработка программно-алгоритмического обеспечения для управления роев беспилотных летательных аппаратов // *Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ»*. 2023. Том 16, № 1. С. 66–76.
15. Гришко А.К., Лысенко А.В., Кочегаров И.И. Логико-математические принципы мультиагентного управления интеллектуальными мобильными объектами и системами в динамической среде // *Надежность и качество сложных систем*. 2017. № 4 (20). С. 35–40.

УДК 629.7.051.5

doi: 10.53816/20753608_2025_2_50

АДАПТИВНАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА САМОЛЕТНОГО ТИПА

ADAPTIVE STABILIZATION OF UNMANNED AIRCRAFT-TYPE VEHICLE MOTION

По представлению академика РАРАН А.Г. Леонова

М.В. Палкин, М.В. Зенченко

ВПК «НПО машиностроения»

M.V. Palkin, M.V. Zenchenko

Описан алгоритм бортовой системы адаптивной стабилизации крестовидного атмосферного летательного аппарата (ЛА). Показан подход к оцениванию неизмеряемых координат вектора состояния — углов атаки и скольжения, и уточнению аэродинамических характеристик ЛА для обновления в полете настроек контура стабилизации. Алгоритм реализован на моделирующем стенде, приведены расчетные примеры.

Ключевые слова: летательный аппарат, идентификация характеристик, возмущенное движение, адаптивная стабилизация, аэродинамические характеристики.

The algorithm of the atmospheric aircraft on-board adaptive stabilization system is presented. An approach for the unmeasured coordinates estimation - the angles of attack and slip and the aerodynamic characteristics of the aircraft, during flight is specified. The algorithm is implemented on the simulation stand, calculation examples are described.

Keywords: aircraft, identification of characteristics, disturbed motion, adaptive stabilization, aerodynamic characteristics.

Введение

В настоящее время актуально использование адаптивных систем управления в системах управления беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) [1–3].

Большая часть систем управления движением ЛА строится как система управления программным движением — траектория разбивается на участки, для которых строятся отдельные математические модели движения с выбираемыми на этапе определения компоновки ЛА настройками — значениями коэффициентов стабилизации контуров [2–4]. Значения коэффициентов

стабилизации в вертикальной и горизонтальной плоскостях полета выбираются из требований обеспечения устойчивости и качества (точности и быстродействия) систем. На заключительном этапе значения коэффициентов подтверждаются по результатам статистического моделирования по полной модели движения ЛА.

Как показывает практика [6], с расширением применения БПЛА формы траекторий часто изменяются, что делает затруднительным применение подхода предполетного моделирования для удовлетворения требований обеспечения устойчивого полета. Поэтому в данной работе предлагается алгоритм адаптивной стабилизации

в процессе возмущенного полета [2, 6], основанный на пересчете в процессе полета коэффициентов стабилизации в зависимости от изменяющихся внешних условий.

Согласно предлагаемому авторами алгоритму бортовой системы адаптивной стабилизации крестокрылого атмосферного летательного аппарата на маршевом участке полета, выполненного по нормальной аэродинамической схеме, со схемой аэродинамических рулей «плюс», на первом этапе оцениваются неизмеряемые координаты вектора состояния ЛА — углы атаки и скольжения [5, 10], а также измеряемые координаты вектора состояния — угловые скорости ЛА и перегрузки. На втором этапе в процессе полета уточняются аэродинамические характеристики ЛА, заложенные при предполетном моделировании. На третьем этапе производится обновление настроек контура — коэффициентов стабилизации.

Идентификация характеристик ЛА в процессе полета

В качестве измерителей в БПЛА приняты датчики угловых скоростей и акселерометры [8]. Далее вся необходимая информация (углы ориентации, линейные скорости) получается путем интегрирования показаний этих датчиков.

Одной из существенных составляющих качества стабилизации является точность оценивания в процессе полета неизмеряемых координат вектора состояния — углов атаки и скольжения ЛА [6], а точнее — коэффициентов производных аэродинамических подъемной и боковой сил и приведенных аэродинамических коэффициентов моментов a_2 , b_3 .

Проведем идентификацию производной аэродинамической подъемной силы по углу атаки C_y^α . Выберем некоторый участок движения, на котором значение угла атаки отлично от нуля. На этом участке выделим некоторое количество точек l с равными интервалами между ними. В каждой точке зафиксируем значения оцененного угла атаки, измеренной нормальной перегрузки и угла отклонения руля высоты.

С учетом того, что нормальная перегрузка, обусловленная отклонением руля высоты, мало влияет на величину полной нормальной перегрузки, можно пренебречь влиянием допусков на

C_y^δ и q . В связи с этим из измеряемой нормальной перегрузки n_{yn} можно выделить составляющую, зависящую от угла атаки:

$$n_{yna} = n_{yn} - C_{y^\delta}^\delta \frac{qS}{mg} \delta_a.$$

Значения $C_{y^\delta}^\delta$ известны с удовлетворительной точностью из модели рулевого привода, значения скоростного напора q вычисляются в зависимости от текущей скорости полета и принятых параметров атмосферы.

Далее, в каждой рассматриваемой точке вычислим значения C_{yi}^α по формуле:

$$C_{yi}^\alpha = \frac{n_{ynai}}{\hat{\alpha}_i} \frac{mg}{qS}, \quad i = 1, \dots, l,$$

где n_{ynai} — измеряемое в полете значение перегрузки; $\hat{\alpha}_i$ — оцениваемое (восстанавливаемое) на основе фильтра Калмана — Бьюси (ФКБ) значение неизмеряемого в полете угла атаки.

Значение идентифицируемого коэффициента C_{yn}^α на выбранном участке движения вычисляется как среднее значение величины C_{yi}^α на этом участке:

$$C_{yn}^\alpha = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l C_{yi}^\alpha.$$

Также проведем оценку значений скоростного напора, который в дальнейшем будет использоваться при расчете коэффициентов a_3 и b_3 :

$$q_n = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l \frac{n_{yni} mg}{(C_{yi}^\alpha \hat{\alpha}_i + C_{yi}^{\delta_a} \delta_{ai}) S}.$$

Задача идентификации производной аэродинамического момента тангажа по углу атаки m_z^α сводится к задаче идентификации коэффициента a_2 .

Из уравнений математической модели движения можно записать выражение для определения реализованного коэффициента $\hat{a}_2$, который в дальнейшем будет необходим для пересчета значений коэффициентов стабилизации:

$$\hat{a}_2 = \frac{1}{\hat{\alpha}} (\dot{\hat{\omega}}_z - a_3 \delta_a).$$

Здесь $\dot{\hat{\omega}}_z$ — производная от оцененной угловой скорости тангажа; $\hat{\alpha}$ — оцениваемый угол атаки; δ_n — измеренный угол отклонения руля высоты.

Проведем идентификацию производной коэффициента поперечной аэродинамической силы C_z^β .

Из измеряемой поперечной перегрузки n_{zi} можно выделить составляющую, зависящую от угла скольжения:

$$n_{zi\beta} = n_{zi} - C_z^{\delta_n} \frac{qS}{mg} \delta_n.$$

Далее, в каждой рассматриваемой точке вычисляются значения C_{zi}^β по формуле:

$$C_{zj}^\beta = \frac{n_{zi\beta j} mg}{\hat{\beta}_j qS}, j=1, \dots, k.$$

Значение идентифицируемого коэффициента C_{zi}^β на выбранном участке движения вычисляется как среднее значение величины C_{zi}^β на этом участке:

$$C_{zi}^\beta = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k C_{zj}^\beta.$$

Значение скоростного напора будет вычисляться по формуле:

$$q_n = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l \frac{n_{zi} mg}{(C_{zi}^\beta \hat{\beta}_i + C_{zi}^{\delta_n} \delta_{ni}) S}. \quad (1)$$

Задача идентификации производной аэродинамического момента по углу скольжения m_y^β сводится к задаче идентификации коэффициента b_5 .

Аналогично проводится вывод для определения приведенного аэродинамического коэффициента $\hat{b}_5$, который в дальнейшем будет необходим для пересчета значений коэффициентов стабилизации:

$$\hat{b}_5 = \frac{1}{\hat{\beta}} (\dot{\hat{\omega}}_y - b_6 \delta_n).$$

Здесь $\dot{\hat{\omega}}_z$ — производная от оцениваемой угловой скорости тангажа; $\hat{\beta}$ — оцениваемый угол атаки; δ_n — измеренный угол отклонения руля направления.

Оценка координат вектора состояния, идентификация характеристик и корректировка коэффициентов стабилизации проводятся в процессе полета с тактовой частотой бортовой цифровой вычислительной машины (БЦВМ) конкретного ЛА.

При этом до старта беспилотного ЛА на борту имеется массив данных об аэродинамических характеристиках и начальных значениях коэффициентов стабилизации на «типовых» траекториях. При полете, в зависимости от изменяющихся внешних условий, аэродинамические характеристики идентифицируются (уточняются) и коэффициенты стабилизации пересчитываются. Таким образом, реализована параметрическая адаптация к априорно неизвестным условиям полета.

Результаты

Оценивание координат вектора состояния ЛА продемонстрируем моделированием на стенде возмущенного полета, с разделением движения на продольное и боковое (в вертикальной и горизонтальной плоскостях) [7–9].

Для демонстрации процесса оценивания углов атаки и угловой скорости тангажа построим переходные процессы отработки ветрового возмущения при стабилизации программного угла тангажа $\vartheta_{np} = 1^\circ$. Рассмотрим упрощенную схему контура стабилизации ЛА по углу тангажа (рис. 1).

Здесь ЛА — летательный аппарат, АС — автомат стабилизации, РП — рулевой привод.

Передаточная функция замкнутой системы имеет вид

$$\frac{g}{g_{np}} = - \frac{W_{ac} W_{rp} W_{kr}^g}{1 - W_{ac} W_{rp} W_{kr}^g}.$$

В частности, передаточная функция АС в вертикальной плоскости имеет вид:

$$W_{ac} = \frac{K_g s^2 + K_g s + K_{f_g}}{s},$$

где

$$K_g = \frac{a_{30}}{a_3} K_{g0} - \frac{a_2 - a_{20}}{a_3 D};$$

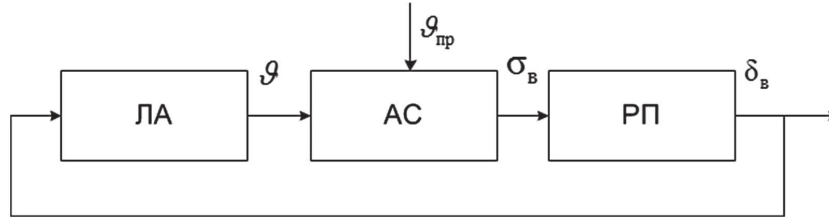


Рис. 1. Схема стабилизации ЛА по углу тангажа

$$K_{\dot{\theta}} = \frac{a_{20} - a_2}{a_3} + \frac{a_0 K_{\dot{\theta}0} - a K_{\dot{\theta}}}{a_3} + a_{30} K_{\dot{\theta}0};$$

$$K_{\int \dot{\theta}} = \frac{a_{30}}{a_3} K_{\int \dot{\theta}0} + \frac{a_0 K_{\dot{\theta}0} - a K_{\dot{\theta}}}{a_3}.$$

Для горизонтальной плоскости полета [6] имеем вид:

$$K_{\dot{\psi}} = \frac{b_{60}}{b_6} K_{\dot{\psi}0} - \frac{b_5 - b_{50}}{b_6 D};$$

$$K_{\psi} = \frac{b_{50} - b_5}{b_6} + \frac{b_0 K_{\dot{\psi}0} - b K_{\dot{\psi}}}{b_6} + b_{60} K_{\dot{\psi}0};$$

$$K_{\int \dot{\psi}} = \frac{b_{60}}{b_6} K_{\int \dot{\psi}0} + \frac{b_0 K_{\dot{\psi}0} - b K_{\dot{\psi}}}{b_6},$$

где

$$a_2 = \frac{m_z^{\alpha} q S L}{I_z}; \quad a_3 = \frac{m_z^{\delta} q S L}{I_z};$$

$$b_5 = \frac{m_y^{\beta} q S L}{I_y}; \quad b_6 = \frac{m_y^{\delta} q S L}{I_y} —$$

приведенные аэродинамические коэффициенты ЛА;

$a_{20}, a_{30}, b_{50}, b_{60}$ — начальные значения коэффициентов a_2, a_3, b_5, b_6 , вычисляемые из известных априорно (результаты продувок, результаты компьютерного моделирования) аэродинамических характеристик ЛА;

D — добротность рулевого привода;

$m_z^{\alpha}, m_z^{\delta}, m_y^{\beta}, m_y^{\delta}$ — производные коэффициентов аэродинамических моментов ЛА по углам α, β и δ ;

S, L — характерные площадь и длина ЛА соответственно;

q — скоростной напор;

I_z, I_y — моменты инерции ЛА относительно осей OZ и OY связанной системы координат.

Для идентификации значений скоростного напора при моделировании принят участок маршевого полета на высоте 10 м, при продольном движении выбраны 8 точек на участке $[0; 4]$ с интервалом между точками 0,5 с. В этих точках проведены вычисления по формуле (1).

Таблица 1

Значения идентифицируемого скоростного напора варианта продольного возмущенного движения

i	t_i, c	n_{yi}	$\hat{\alpha}_i, grad$	q_{ui}, Pa
1	0,5	−0,0978	−0,0796	272026,7
2	1,0	0,6152	0,5375	283107,1
3	1,5	0,8555	0,7455	293307,4
4	2,0	0,8712	0,7616	279745,2
5	2,5	0,8832	0,7736	291835,7
6	3,0	0,9153	0,7994	277967,8
7	3,5	0,9438	0,8255	291673,6
8	4,0	0,9617	0,8388	265934,6

Результаты приведены в табл. 1. Значения идентифицируемых коэффициентов $\hat{a}_2$ приведены в табл. 2. Для данного варианта продольного возмущенного движения: $\hat{a}_2 = 41,395$, $a_{2\text{ном}} = 40,171$, $m_z^a = 6,336 \cdot 10^{-3}$, ошибка идентификации составила 3,046 %.

На рис. 2, 3 приведены результаты применения алгоритма при стабилизации ЛА в продольном возмущенном движении.

Как видно на графиках, разработанный алгоритм позволяет осуществлять стабилизацию ЛА с повышенными показателями качества

системы управления, точность оценки находится в пределах допустимой (перерегулирование по углу атаки не более 5 %), что говорит о преимуществе использования алгоритма адаптивной стабилизации возмущенного полета перед алгоритмами стабилизации программного движения.

Заключение

Таким образом, разработан алгоритм адаптивного изменения настроек контура системы угловой стабилизации ЛА с заданной структурой на основе

Таблица 2

Значения a_2 для варианта продольного возмущенного движения

i	$t_i, \text{с}$	$\hat{a}_{2i}$
1	0,5	41,548
2	1,0	40,353
3	1,5	40,265
4	2,0	39,423
5	2,5	40,283
6	3,0	39,747
7	3,5	40,215
8	4,0	39,776

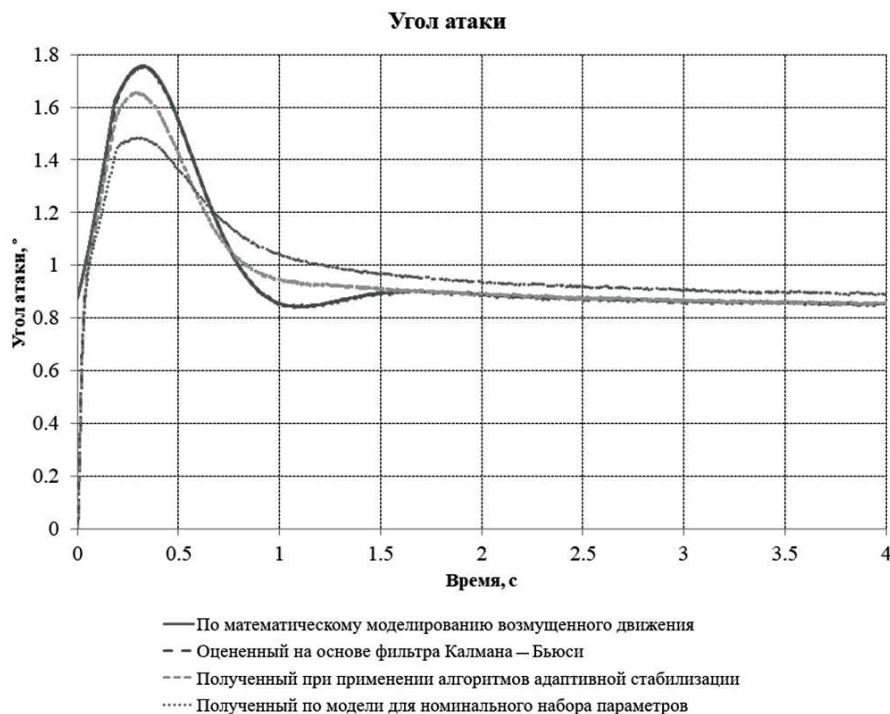


Рис. 2. Зависимости угла атаки для различных режимов варианта продольного возмущенного движения

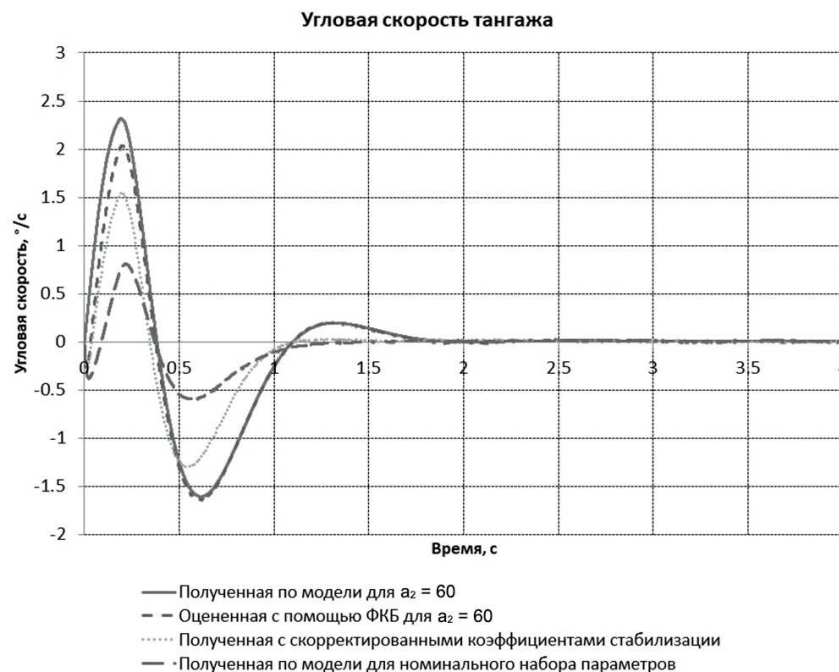


Рис. 3. Зависимости угловой скорости тангажа для различных режимов продольного возмущенного движения

подхода оперативной идентификации характеристик ЛА в процессе полета, в реальном масштабе времени. Использование разработки позволяет повысить эффективность применения комплексов с беспилотными ЛА самолетного типа.

Список литературы

1. Корсун О.Н., Стуловский А.В. Прямой метод формирования оптимального программного управления летательным аппаратом // Известия РАН. Теория и системы управления. 2019. № 2. С. 75–89.
2. Андриевский Б.Р., Фрадков А.Л. Адаптивное управление летательным аппаратом с идентификацией на скользящих режимах // Управление большими системами: сб. тр. Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. 2009. № 26. С. 113–144.
3. Первушина Н.А., Фролова А.Д. Разработка адаптивной системы стабилизации для беспилотного летательного аппарата самолетного типа // Проблемы управления. 2022. Вып. 5. С. 3–15.
4. Козлов Ю.М., Юсупов Р.М. Беспорисковые самонастраивающиеся системы. М.: Наука, 1969. 455 с.
5. Брайсон А., Хо Ю-Ши. Прикладная теория оптимального управления. М.: Мир, 1972. 544 с.
6. Зенченко М.В. Адаптивная стабилизация летательного аппарата на основе идентификации аэродинамических характеристик в процессе полета // Ракетно-космическая техника. Серия XIV. 2017. Вып. 1 (61). С. 127–133.
7. Остославский И.В., Стражева И.В. Динамика полета. Траектории летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1969. 500 с.
8. Боднер В.А. Системы управления летательными аппаратами. М.: Машиностроение, 1973. 504 с.
9. Бюшгенс Г.С. Аэродинамика, устойчивость и управляемость сверхзвуковых самолетов. М.: Наука, Физматлит, 1998. 816 с.
10. Браммер К., Зиффлинг Г. Фильтр Калмана — Бьюси. Детерминированное наблюдение и стохастическая фильтрация. М.: Наука, 1982. 200 с.

УДК 623.436

doi: 10.53816/20753608_2025_2_56

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ДЕЙСТВИЯ
ГОТОВЫХ ПОРАЖАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ОСКОЛОЧНОЙ БОЕВОЙ ЧАСТИ
БАРРАЖИРУЮЩЕГО БОЕПРИПАСА**

**METHODOLOGY FOR EVALUATING THE EFFECT
OF READY-MADE DESTRUCTIVE ELEMENTS
OF A FRAGMENTATION WARHEAD OF A BARRAGE MUNITION**

По представлению чл.-корр. РАРАН В.И. Волчихина

П.С. Суздальцев, С.А. Куканов

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

P.S. Suzdaltsev, S.A. Kukanov

В статье рассмотрен подход к оценке эффективности поражающего действия готовыми поражающими элементами различной конфигурации боевой части барражирующего боеприпаса. При моделировании высокоскоростных процессов применен метод конечных элементов, что позволило провести более точную оценку площади поражения преграды после взаимодействия с поражающими элементами.

Ключевые слова: готовые поражающие элементы, конфигурация, барражирующий боеприпас, поражающее действие.

The article considers an approach to assessing the effectiveness of a damaging effect with ready-made striking elements of various configurations of the warhead of a barrage munition. When modeling high-speed processes, the finite element method was applied, which allowed for a more accurate assessment of the area of damage to the barrier after interaction with the damaging elements. The developed technique makes it possible to increase the effectiveness of the use of barrage ammunition compared to the use of standard ready-made striking elements in the form of a ball, without loss of operational reliability and basic tactical and technical characteristics.

Keywords: ready-made striking elements, configuration, barrage ammunition, striking effect, effectiveness.

Опыт ведения боевых действий в ходе проведения специальной военной операции (СВО) показал, что наиболее перспективным и актуальным средством поражения на сегодняшний день являются беспилотные летательные аппараты ударного действия, к которым и относятся барражирующие боеприпасы [2, 12]. Боеприпасы такого типа совмещают в себе характеристики нескольких

классов вооружения, что делает их универсальными и востребованными. Развитием, созданием и усовершенствованием таких средств поражения занимаются все ведущие страны мира. Ведение маневренных боевых действий задает темп для развития и создания новых образцов вооружения, военной и специальной техники, что является толчком и для разработки новых, и усовершен-

ствования имеющихся образцов средств поражения, повышения их эффективности применения.

При разработке новых образцов барражирующих боеприпасов (ББ) или усовершенствовании уже существующих возникает необходимость в рассмотрении эффективности поражающего действия при применении такого типа боеприпаса по разному спектру целей. Разработанная методика позволяет на этапе проектирования новых или при усовершенствовании существующих ББ проводить выбор оптимальных геометрических параметров и конфигураций готовых поражающих элементов (ГПЭ), при которых поражающее действие будет эффективнее [1]. Так же методика позволяет оценивать начальную скорость ГПЭ и площадь разрушения после взаимодействия их с преградой в зависимости от конфигурации ГПЭ и площади их взаимодействия.

Для оптимизации параметров ББ с ГПЭ при дистанционном подрыве по критерию максимума приведенной площади осколочного поражения приняты следующие допущения: разрыв боеприпаса наземный; размеры боеприпаса пренебрежимо малы по сравнению с размерами осколочного поля; фугасным действием боеприпаса пренебрегаем; боевую часть боеприпаса можно заменить эквивалентной цилиндрической оболочкой с зарядом взрывчатого вещества (ВВ) (рис. 1) при равенстве полной массы Q , массы заряда C и диаметра d_0 для осколочного боеприпаса и эквивалентного цилиндра [3, 10, 11].

Осколочная оболочка изготовлена многослойной в общем случае укладкой шестиугольных призм в плане ГПЭ; осколочное поле можно рассматривать как однозонное с небольшим углом разлета ($\Delta\varphi \leq 40^\circ$) и постоянной скоростью ГПЭ внутри угла разлета; цель однокомпонентная, характеризуется постоянной уязвимой площадью S_y и стальным эквивалентом $h_{ст}^3$. На основании требований ТТЗ и анализа поражаемых целей проведен выбор состава боевой части и определены основные оптимальные параметры для ее эффективного применения (рис. 2).

Для эквивалентного цилиндра баланс масс представим в виде

$$Q = M + C + M_d,$$

где M — дробящаяся масса металла; C — масса ВВ; M_d — масса доньев. В массу доньев вклю-

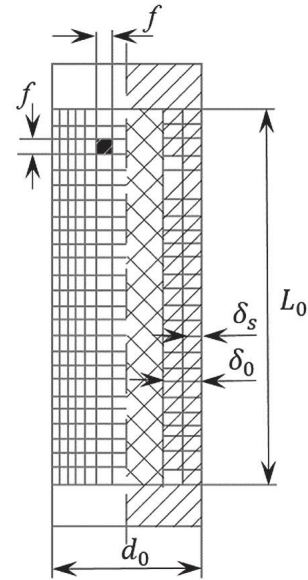


Рис. 1. Схема эквивалентной цилиндрической оболочки с зарядом ВВ

чается масса всех частей боеприпаса, не используемых для полезного осколочного образования (масса дна ОФС и его придонной толстостенной части, масса взрывателя, масса стабилизатора для ОФС к гладкоствольным системам и т.д.).

Введем безразмерные параметры

$$\alpha = \frac{C}{Q}; \quad \mu_d = \frac{M_d}{Q}; \quad \xi = \frac{C}{M + C}.$$

Условие заданного стабильного дробления $f \geq \delta_s$, откуда число слоев n_s и толщина слоя δ_s

$$n_s = E\left(\frac{\delta_0}{\sqrt[3]{Y}} + 1\right); \quad \delta_s = \frac{\delta_0}{n_s}.$$

Функция E означает взятие целочисленной части аргумента. Число ГПЭ при известной массе M равно

$$N = \frac{M\eta_\mu}{m},$$

где η_μ — коэффициент выхода массы дробящегося металла в заданные ГПЭ.

Физический смысл параметров μ_d и η_μ различен. Относительная масса доньев μ_d является характеристикой конструкции снаряда, выход массы в осколки η_μ — физико-механической характеристикой способа заданного дробления, свойств металла и ВВ.

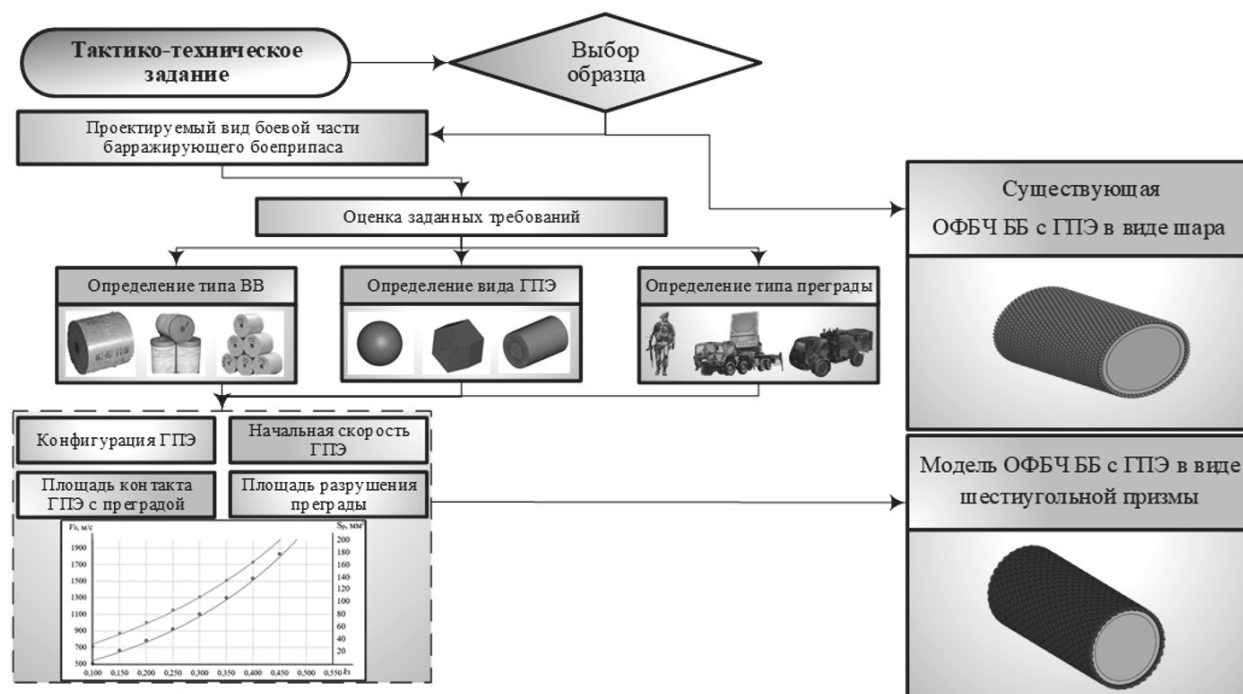


Рис. 2. Блок-схема выбора боевой части и оптимальных параметров ГПЭ

Используя также введенные ранее соотношения для характеристик формы осколка $\langle S \rangle$, Φ , A , запишем 10 уравнений, определяющих конструктивно-геометрические параметры оболочки и ГПЭ.

1. Местный коэффициент наполнения

$$\xi = \frac{\alpha}{1 - \mu_a}.$$

2. Толщина стенки

$$\delta_0 = \frac{d_0}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{\alpha \gamma_0}{\alpha \gamma_0 + (1 - \alpha - \mu_d) \rho_0}} \right).$$

3. Объем ГПЭ

$$Y = \frac{m}{\gamma_0}.$$

4. Число слоев

$$n_s = E \left(\frac{\delta_0}{\sqrt[3]{Y}} + 1 \right).$$

5. Толщина слоя

$$\delta_s = \frac{\delta_0}{n_s}.$$

6. Сторона квадрата

$$f = \sqrt{\frac{Y}{\delta_s}}.$$

7. Мидель поражающего элемента (ПЭ)

$$\langle S \rangle = \frac{1}{2} (f^2 + 2f\delta_s).$$

8. Параметр формы

$$\Phi = \frac{\langle S \rangle}{Y^{\frac{2}{3}}}.$$

9. Баллистический коэффициент ПЭ

$$A = \frac{\rho_B \langle S \rangle c_x}{2m}.$$

10. Число ПЭ

$$N = \frac{Q(1 - \alpha - \mu_\mu)}{m} \eta_\mu.$$

Используя для однозонного поля введенные ранее соотношения, представим их в виде следующей подсистемы 8 уравнений, связывающих

кинематические и геометрические характеристики осколочного поля [5].

1. Начальная скорость ПЭ

$$V_0 = \varphi_0 \frac{D}{2} \sqrt{\frac{\xi}{2-\xi}}.$$

2. Передний динамический угол осколочного поля

$$\gamma_1 = \arctg \frac{V_0 \sin \varphi_1}{V_c + V_0 \cos \varphi_1}.$$

3. Задний динамический угол осколочного поля

$$\gamma_2 = \arctg \frac{V_0 \sin \varphi_2}{V_c + V_0 \cos \varphi_2}.$$

4. Результирующая скорость на переднем крае поля

$$V_{д1} = \sqrt{V_c^2 + 2V_c V_0 \cos \varphi_1 + V_0^2}.$$

5. Результирующая скорость на заднем крае поля

$$V_{д2} = \sqrt{V_c^2 + 2V_c V_0 \cos \varphi_2 + V_0^2}.$$

6. Средняя результирующая скорость поля

$$V_d = \frac{1}{2}(V_{д1} + V_{д2}).$$

7. Убойная скорость осколка (для стального осколка на уровне земли)

$$V_{уб} = \frac{145 h_{ст}^3 \Phi}{m^{\frac{1}{3}}},$$

где $V_{уб}$, м/с; $h_{ст}^3$, мм; m , г.

8. Убойный интервал осколка

$$I_{уб} = \frac{1}{A} \ln \frac{V_d}{V_{уб}}.$$

Приведенные уравнения составляют систему из 17 уравнений, содержащих 19 связанных переменных величин: $\alpha, \xi, V_0, \gamma_1, \gamma_2, V_{д1}, V_{д2}, \delta_0, m, Y, n_s, \delta_s, f, \langle S \rangle, \Phi, V_{уб}, A, I_{уб}, N$ и 15 констант: $Q, d_0, D, \rho_0, \gamma_0, \varphi_0, \varphi_1, \varphi_2, \mu_1, c_x, \eta_\mu, h_{ст}^3, S_y, V_c, \theta_c$.

Таким образом, задача оптимизации сводится к нахождению максимума функции двух переменных [7].

Данную задачу решали путем численного моделирования в два этапа. На первом этапе путем построения конечно-элементной модели взрыва боевой части с целью оценки взаимодействия продуктов детонации с ГЭП, которая позволит определить функционирование в системе «взрывчатое вещество — готовый поражающий элемент», а также оценить возникающее влияние конфигурации ГЭП на их кинетическую энергию, начальную скорость при взрыве (рис. 3).

На втором этапе так же осуществлялось численное моделирование и построение уже конечно-элементной модели взаимодействия ГЭП с преградой с целью оценки их поражающего действия, что позволит определить функционирование в системе «готовый поражающий элемент — преграда», а также оценить возникающее влияние площади контакта с преградой ГПЭ различной конфигурации на площадь поражения преграды при пробитии (рис. 4).

Полная модель оценки эффективности действия ББ по цели с определенными характеристиками является основой методики. Характеристики, определяющие уязвимость цели по отношению к действию ГПЭ, включают перечень уязвимых агрегатов, материал и толщину эквивалентных преград. Задается описание геометрии цели и толщины стали в целевой системе координат плоскими четырехугольниками с заданными координатами вершин, толщиной и материалом, соответствующими физическим характеристикам стали [4, 8, 9]. Внутреннее оборудование и экипаж отображаются в целевой системе координат элементарными параллелепипедами и находятся в определенной связи, отражающей функциональную схему уязвимости цели по данному типу поражения. Уязвимость живой силы (ЖС) оценивается по поражению одиночного военнослужащего.

Характеристики осколочного поля задаются в форме дифференциального закона распределения по элементарным зонам угла разлета. В каждой элементарной угловой зоне задаются: число осколков в каждом секторе; масса и

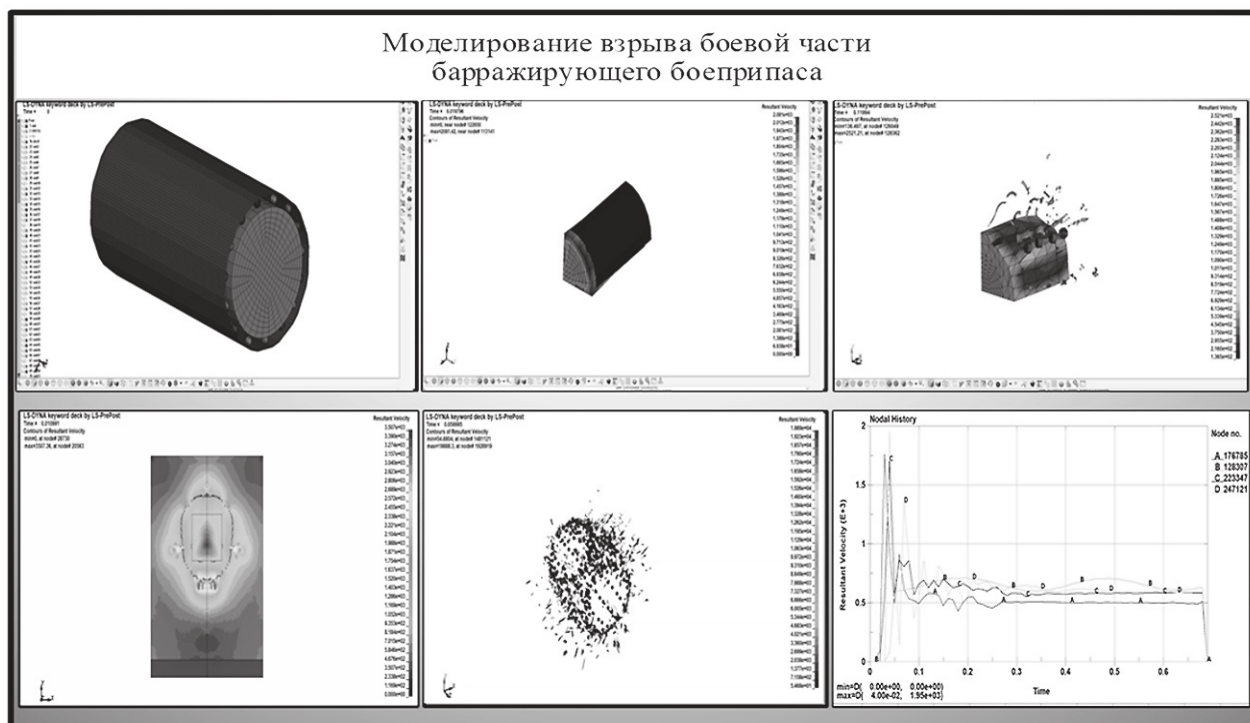


Рис. 3. Блок-схема модели взрыва ОФБЧ с ГПЭ различных конфигураций

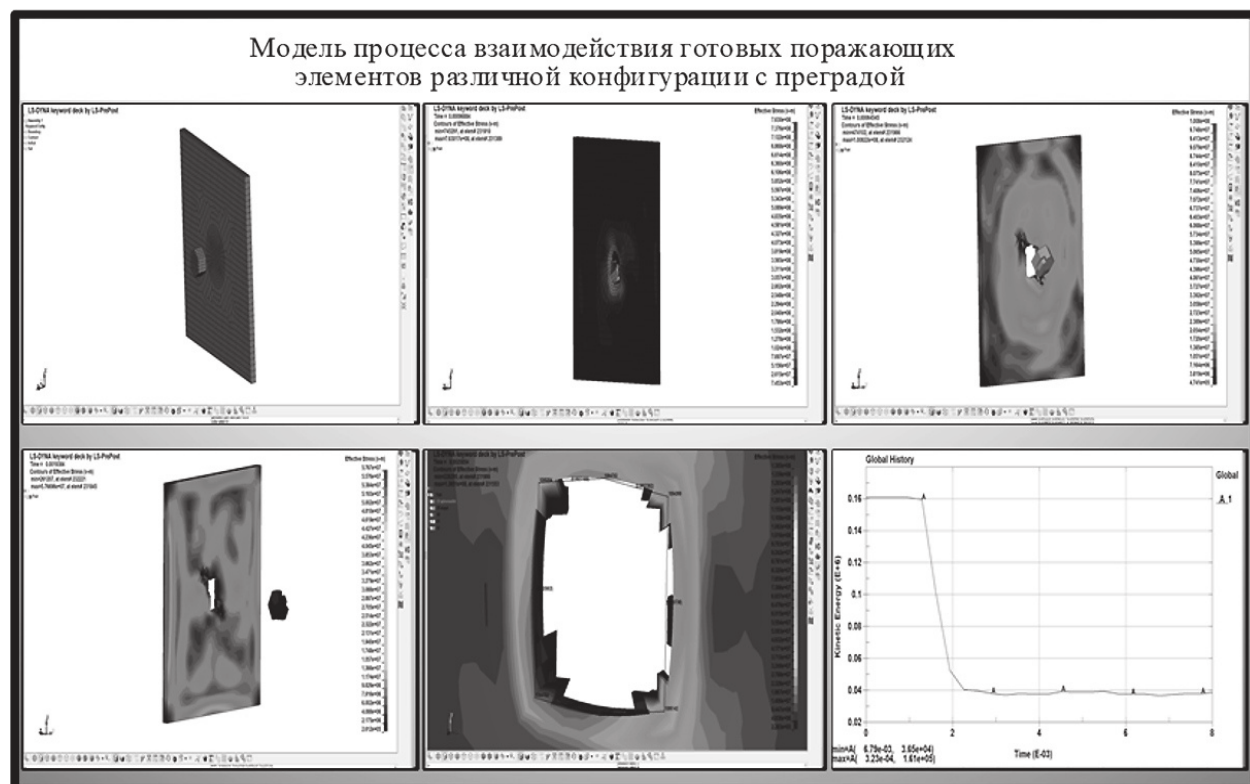


Рис. 4. Блок-схема модели взаимодействия ГПЭ с преградой

конфигурация осколка; средняя начальная скорость осколков, одинаковая для всех секторов разлета.

В целях единого подхода к оценке эффективности поражающего действия ББ разрабатываются системы исходных данных (СИД), обязательные к применению на всех этапах применения боеприпаса. Единство подхода обеспечивается едиными исходными данными по характеристикам уязвимости типовых элементарных целей по отношению к поражающему действию ББ, едиными методиками вычисления показателей эффективности, а также единым перечнем исходных характеристик ББ.

При расчетах баллистического коэффициента и поражающего действия осколков по целям нами были приняты допущения об усреднении миделева сечения осколка S и о постоянстве коэффициента лобового сопротивления C_x . Эти допущения неприемлемы при определении

безопасных по осколочному действию расстояний от места подрыва боеприпаса, например, при расчете безопасности хранилищ, безопасности самолетов-носителей авиабомб при бомбометании с малых высот и т.п. Реальная площадь миделя (проекция площади сечения осколка на направление его полета) в полете является величиной переменной, колеблющейся в пределах $S_{\min} \dots S_{\max}$. При оценке безопасных расстояний для получения гарантированного результата целесообразно считать миделево сечение осколка равным его минимальному значению $S_{\min}$ [4]. Для комплексной оценки поражающего действия проведены экспериментальные исследования, общая структура методики представлена на рис. 5.

Для подтверждения результатов моделирования проведена оценка поражающего действия ГЭП боевой части барражирующего боеприпаса в виде экспериментальных исследований, при

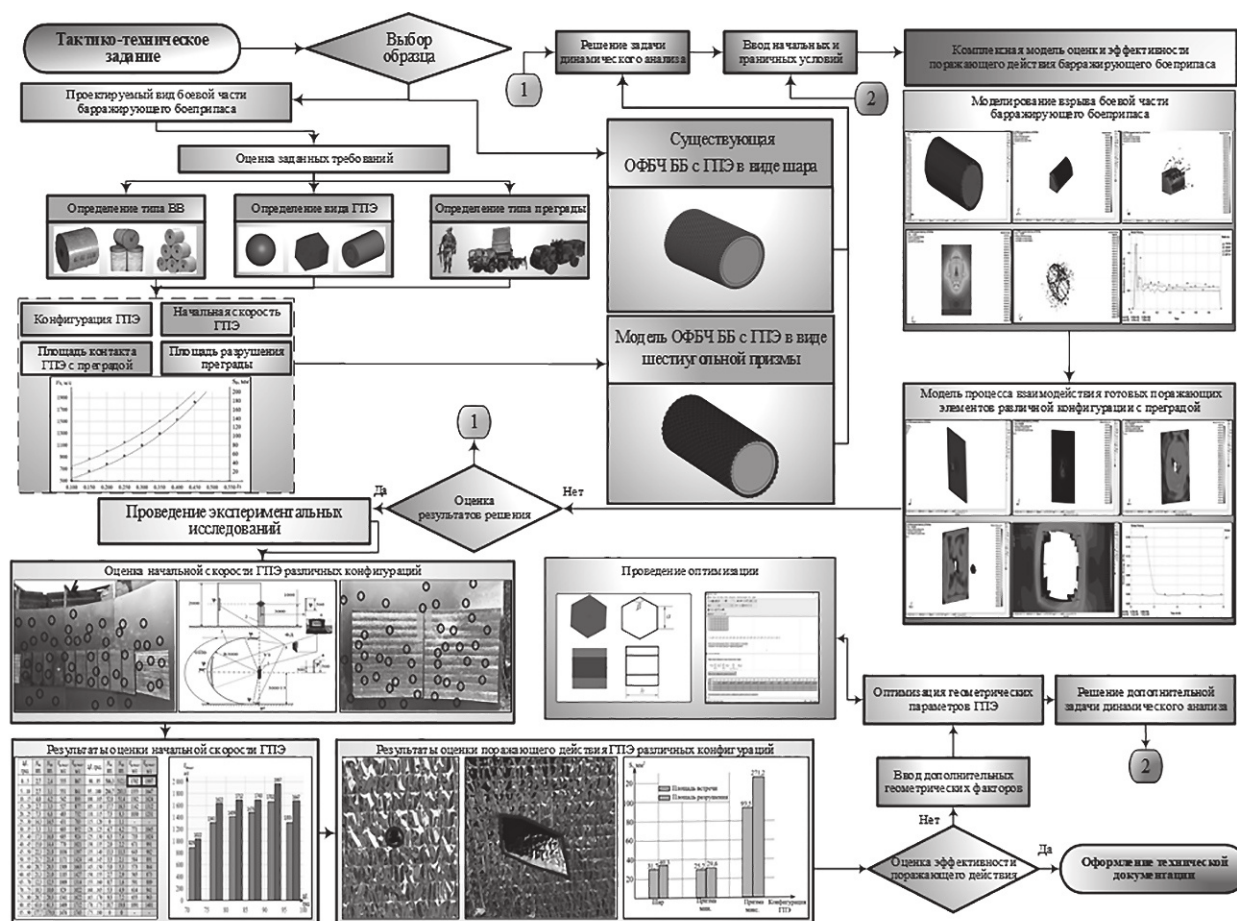


Рис. 5. Блок-схема методики оценки поражающего действия готовых поражающих элементов боевой части барражирующего боеприпаса

которых оценено влияние различной конфигурации ГЭП на их физико-кинематические характеристики и площадь поражения преграды [6, 9].

Таким образом, разработанная методика позволит проводить выбор оптимальных геометрических размеров ГЭП на этапе проектирования и совершенствования боевой части барражирующего боеприпаса. Предложенная методика позволяет проводить оценку поражающего действия боевой части барражирующего боеприпаса в зависимости от технического задания, при условии выбора конфигурации ГЭП от поставленной задачи и повысить эффективность применения барражирующего боеприпаса до 19 % по сравнению с использованием штатных ГЭП в виде шара, без потери надежности эксплуатации и основных тактико-технических характеристик, что является актуальным на сегодняшний день.

Список источников

1. Аттетков А.В., Канатников А.Н., Пилявская Е.В. Численные методы решения задач нелинейного программирования. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. 90 с.
2. Бабкин А.В., Велданов В.А., Грязнов Е.Ф., Селиванов В.В. Средства поражения и боеприпасы: учебник. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 984 с.
3. Герасимов А.В. Высокоскоростной удар. Моделирование и эксперимент. Томск: изд-во. НТЛ, 2016. 568 с.
4. Зарубин В.С., Крищенко А.П. Математическое моделирование в технике: учеб. для вузов. 2-е изд. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. 469 с.
5. Зенкевич О.В. Метод конечных элементов в технике: пер. с англ. М.: Мир, 1975. 536 с.
6. Морозов Е.М., Муйземнек А.Ю., Шадский А.С. ANSYS в руках инженера: механика разрушения. М.: URSS, 2008. 456 с.
7. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. М.: Машиностроение, 1981. 184 с.
8. Баум Ф.А., Станюкович К.П., Шехтер Б.И. Физика взрыва: учебник. М.: Физматгиз, 1959. 800 с.
9. Обухов Д.А., Могильников Н.В. Расчет начальных кинематических параметров движения осколочных поражающих элементов // Известия ТулГУ. Технические науки. 2012. Вып. 11. Ч. 2. С. 46–49.
10. Сидоров А.И., Новиков Д.Е., Воротин М.С., Павлюченко А.Н. и др. Методика определения массы активной части заряда взрывчатого вещества осколочного заряда, направленного действия // Известия ТулГУ. Технические науки. 2012. Вып. 2. С. 50–54.
11. Кэрт Б.Э., Знаменский Е.А., Павлов Я.О. Оценка могущества осколочного действия боеприпаса с учетом его пространственного положения // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2015. № 7–8 (85–86). С. 57–64.
12. Ермолин О.В., Зубов Н.П. Применение комплексов вооружения с авиационными барражирующими боеприпасами в современных и будущих военных конфликтах // Военная мысль. 2021. № 3. С. 58–63.

УДК 51.73

doi: 10.53816/20753608_2025_2_63

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ, НАВОДИМЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ИМПУЛЬСОМ ГРОВОГО РАЗРЯДА

METHOD FOR CALCULATING CURRENTS AND VOLTAGES INDUCED BY THE ELECTROMAGNETIC PULSE OF A LIGHTNING DISCHARGE

По представлению чл.-корр. РАН О.А. Толтегина

А.Н. Павшин, Д.К. Щеглов

Северо-Западный региональный центр Концерна ВКО «Алмаз – Антей» – Обуховский завод»

A.N. Pavshin, D.K. Shcheglov

Статья посвящена анализу воздействия электромагнитных импульсов грозовых разрядов на электрическую сеть. Предложена методика расчета амплитудно-временных параметров напряжений и токов, наводимых электромагнитным импульсом. Выполнен анализ результатов расчета, а также рассматриваются наиболее подходящие средства защиты оборудования.

Ключевые слова: электромагнитный импульс, грозовой разряд, моделирование, методика, энергосистема, живучесть.

The article is devoted to the analysis of the effect of electromagnetic pulses of lightning discharges on the electrical network. A method for calculating the amplitude-time parameters of voltages and currents induced by an electromagnetic pulse is proposed. The calculation results are analyzed, and the most appropriate equipment protection measures are considered.

Keywords: electromagnetic pulse, lightning discharge, modeling, methodology, power system, survivability.

Введение

В настоящее время микропроцессорные устройства и программируемые контроллеры стали неотъемлемыми элементами аппаратуры управления режимами работы электроэнергетического оборудования систем электроснабжения (СЭС). Однако, несмотря на повышение эффективности СЭС благодаря быстрдействию микропроцессорной техники, они стали более уязвимы перед непредсказуемыми природными явлениями, такими как грозовые разряды (ГР), оказывающие разрушительное воздействие на энергосистему.

В связи с этим возникает объективная необходимость в разработке эффективных методик расчета наведенных токов и напряжений от электромагнитного импульса (ЭМИ) ГР. Такие методики позволят оценить потенциальные риски для электронных систем и разработать соответствующие меры защиты.

Статья посвящена анализу и систематизации современных подходов к вычислению изменений параметров электрических сетей, вызванных воздействием молнии. При этом основное внимание уделяется обеспечению живучести электрооборудования в условиях таких экстремальных событий.

Современные исследования в области электродинамики и электромагнитной совместимости раскрывают сложные взаимосвязи между ГР и электрическими системами и подчеркивают важность углубленного анализа наведенных токов и напряжений, возникающих при воздействии ЭМИ, для точного определения их воздействия на инфраструктуру и оборудование. Так, в работе Д.Е. Тереньтева и Н.Л. Сторожука [1] рассматриваются технические и технологические вопросы защиты оборудования и объектов связи от опасных электромагнитных влияний и предлагаются меры по минимизации негативных последствий таких воздействий. Исследования Л.Н. Качиева, Н.В. Балюка и П.В. Степанова [2] посвящены изучению воздействия мощного ЭМИ на электронные средства и предлагают методы защиты от таких воздействий, а также исследования посвящены разработке рекомендаций по обеспечению стойкости электронной техники.

Среди зарубежных исследований следует выделить работу Daniel L. Stein [3], посвященную изучению влияния ЭМИ на радиоаппаратуру и другие электронные компоненты связи, а также исследование А.Н. Kalma и С.Ј. Fischer [4], посвященное анализу влияния ЭМИ на электрическую сеть при помощи светодиодов путем измерения уменьшения показателей светоотдачи после воздействия ЭМИ.

Особого внимания заслуживает методика физического моделирования электромагнитных помех в линиях связи для прогнозирования помехоустойчивости элементов вычислительной техники при воздействии разряда молнии на систему молниезащиты здания, предложенная Э.И. Павловой и З.М. Гизатуллиным [5]. Целью их работы является повышение живучести и устойчивости работы электронных устройств в условиях воздействия природных электромагнитных явлений.

Другие работы в данной области посвящены разработке методик защиты от ЭМИ оборудования трансформаторных подстанций (ТП) и предлагают улучшения существующих методов защиты, а также исследуют воздействие ЭМИ на микропроцессорные устройства на основе углеродных нанокompозитных материалов.

Настоящая работа дополняет систему знаний об электромагнитных воздействиях ГР, стре-

мясь реализовать последние достижения в этой области для эффективного преодоления вызовов современной технологической среде. Особое внимание уделено вопросам разработки систем защиты, адаптированных к уникальным характеристикам ГР, и развитию более эффективных технологий для предотвращения повреждений и обеспечения надежной работы электрооборудования СЭС.

Целью исследования является уменьшение последствий воздействия наводимых токов и напряжений на СЭС, подверженных ЭМИ, за счет совершенствования существующих методов расчета наведенных токов и напряжений.

В рамках предлагаемой статьи цель достигается за счет последовательного решения следующих задач:

1. Разработка методики расчета, учитывающей особенности воздействия ЭМИ ГР, с применением современных численных методов;
2. Исследование влияния ГР на СЭС для выявления потенциальных угроз и необходимости улучшения систем защиты;
3. Разработка на основе полученных результатов рекомендаций по повышению эффективности систем защиты.

Методика расчета токов и напряжений, наводимых ЭМИ

На рис. 1 приведен пример формализованного описания процесса расчета наводимых токов и напряжений ЭМИ в виде контекстной функциональной модели IDEF0 (диаграммы уровня A1) с «точки зрения» инженера-проектировщика.

Как видно на рис. 1, процесс расчета токов и напряжений, наводимых ЭМИ, включает в себя определение амплитудно-временных параметров этих токов и напряжений. На этапе исследования влияния токов и напряжений анализируются параметры, такие как частота, амплитуда и продолжительность воздействий, чтобы выявить потенциальные угрозы. На основе исследований разрабатываются рекомендации по улучшению защиты и надежности СЭС. Это включает в себя использование устройств защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП), которые помогают снизить амплитуды напряжений и токов, вызванных ЭМИ. Использование математических моделей и методов для расчета токов и

напряжений включает в себя телеграфные уравнения и другие аналитические инструменты для точного определения воздействий ЭМИ на СЭС.

Расчет электрофизических характеристик кабельных линий

Кабельные линии (КЛ) представляют собой конструкции, состоящие из проводных электрических цепей, в которых учитываются параметры цепей: «защитный экран» (далее по тексту — «экран — земля», «жила — земля» и «жила — экран»).

Основной спектр частот, оказывающий приоритетное влияние на формирование токов и напряжений в цепях КЛ, подверженных воздействию полей ЭМИ ГР, не превышает 20 кГц. Поэтому электрофизические характеристики КЛ рассчитываются применительно к низкочастотным электромагнитным воздействиям [6].

Цепь «экран — земля»

КЛ представляет собой однородную цепь с возвратом тока через землю. Под экраном кабеля понимается система электропроводящих элементов, включающих оболочку, броню, а также другие проводящие конструкции (электростатические экраны, защитные экра-

ны от механических повреждений и т.п.), соединенные между собой параллельно. Цепь «экран — земля» обладает четырьмя первичными параметрами: омическим сопротивлением R_2 , Ом/м; индуктивностью цепи L_2 , Гн/м; емкостью цепи C_2 , Ф/м; удельной электрической проводимостью G_2 , См/м.

Омическое сопротивление цепи определяется как сумма сопротивлений всех проводящих и непроводящих элементов кабеля. При воздействиях ЭМИ ГР активное сопротивление экрана кабеля равно омическому сопротивлению, при этом потери на гистерезис в стальных лентах брони не учитываются. Омическое сопротивление сплошной оболочки $R_{2об}$, Ом/м, брони $R_{2бр}$, Ом/м, плетеной оболочки $R_{2пл}$, Ом/м, внешняя индуктивность оболочки $L_{2вн}$, Гн/м, и внутренняя индуктивность брони $L_{2вн}$, Гн/м, рассчитываются по формулам [7]:

$$R_{2об} = \frac{1}{(r_2^2 - r_1^2) \pi \cdot \sigma_m};$$

$$R_{2бр} = \frac{\pi \cdot D_{ср}}{a_{бр}^2 \cdot b_{бр} \cdot \sigma_m};$$

$$R_{2пл} = \frac{2}{\beta \cdot \pi^2 \cdot \cos^2 a \cdot d_{пл} \cdot D_{ср} \cdot \sigma_m};$$

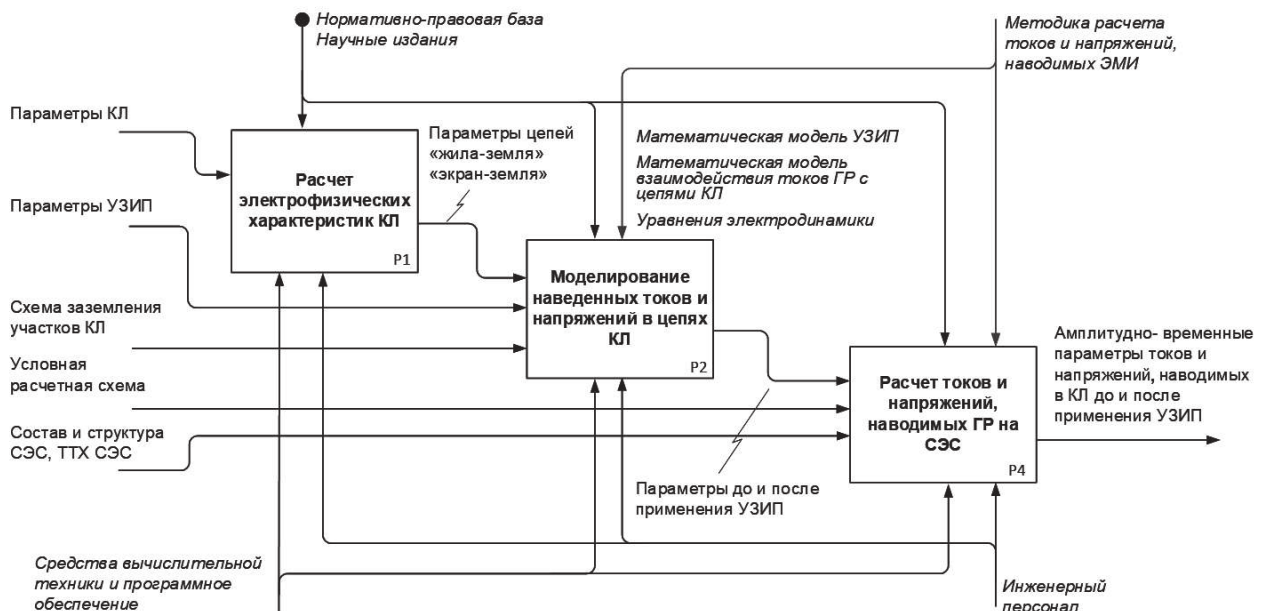


Рис. 1. Формализованное описание процесса расчета токов и напряжений, наводимых ЭМИ

$$L_{2\text{вн}} = 2 \cdot 10^{-7} \times \left(\ln \frac{1}{1,26 \cdot r_2 \sqrt{2\pi \cdot 10^{-7} \cdot \omega \cdot \sigma_2}} + \frac{1}{2} \right);$$

$$L_{2\text{вт}} = 10^{-7} \frac{1,5 \cdot \pi \cdot \mu_{\text{бр}} \cdot b_{\text{бр}}}{a_{\text{бр}}},$$

где r_1, r_2 — внутренний и внешний радиусы оболочки, м;

σ_m — проводимость материала оболочки, оплетки или брони, См/м;

$D_{\text{ср}}$ — средний диаметр брони (оплетки), м;

$a_{\text{бр}}$ — внутренний радиус брони, м;

$b_{\text{бр}}$ — внешний радиус брони, м;

β — коэффициент заполнения оплетки;

α — угол наклона жгутов оплетки относительно оси кабеля, градус;

d_n — диаметр проволоки оплетки, м;

ω — угловая частота, рад/с;

σ_2 — проводимость грунта, См/м;

$\mu_{\text{бр}}$ — относительная магнитная проницаемость лент брони.

Радиус внутренней $a_{\text{бр}}$ и внешней $b_{\text{бр}}$ брони можно рассчитать по следующим формулам:

$$a_{\text{бр}} = a + \Delta, \text{ м};$$

$$b_{\text{бр}} = n \cdot b - \frac{n \cdot b}{a_{\text{бр}}} \Delta, \text{ м},$$

где a — ширина ленты, м;

Δ — зазор между витками ленты (в случае перекрытия имеет знак «минус»), м;

n — число лент брони;

b — толщина одной ленты, м.

Внутренняя индуктивность оболочки, выполненной из немагнитных материалов, принимается равной нулю. Омическое сопротивление экрана кабеля, содержащего несколько оболочек, определяется по формулам расчета сопротивлений параллельных проводников.

При наличии постоянной гальванической связи экрана кабеля с землей емкость цепи «экран — земля» не учитывается, а переходная удельная электрическая проводимость G_2 , Ом/м, рассчитывается по формуле [7]:

$$G_2 = \frac{\pi \cdot \sigma_2}{\ln \left(\frac{1,12\delta}{2\sqrt{r_2 \cdot h}} \right)},$$

где h — глубина прокладки кабеля, м;

δ — эквивалентная глубина проникновения поля в грунт, м,

$$\delta = \sqrt{\frac{10^7}{2\pi \cdot \omega \cdot \sigma_2}}.$$

В КЛ, изолированных от земли диэлектрическим шлангом, проводимость цепи «экран-земля» не учитывается, а емкость цепи C_2 , Ф/м, рассчитывается по формуле [10]:

$$C_2 = \frac{\epsilon_{\text{из}}}{18 \cdot \ln \left(\frac{r_3}{r_2} \right)} \cdot 10^{-9},$$

где $\epsilon_{\text{из}}$ — относительная диэлектрическая проницаемость изоляции экрана;

r_3 — наружный радиус покрытия, м.

Цепь «жила — экран»

Омическое сопротивление цепи «жила — экран» R_1 , Ом/м, определяется по формуле [10]:

$$R_1 = \frac{1}{\pi \cdot r_0^2 \cdot \sigma_{\text{ж}}},$$

где r_0 — радиус жилы, м;

$\sigma_{\text{ж}}$ — проводимость материала жилы, См/м.

Индуктивность L_{12} , Гн/м и емкость цепи «жила — экран» C_{12} , Ф/м, при расположении жилы по оси кабеля рассчитываются по формулам [10]:

$$L_{12} = 2 \cdot \ln \left(\frac{r_1}{r_0} \right) \cdot 10^{-7};$$

$$C_{12} = \frac{\epsilon_1 \cdot 10^{-9}}{18 \cdot \ln \left(\frac{r_1}{r_0} \right)},$$

где ϵ_1 — относительная диэлектрическая проницаемость изоляции жилы.

При смещении жилы от центра кабеля индуктивность L_{12} , Гн/м и емкость цепи

«жила — экран» C_{12} , Ф/м, рассчитываются по формулам [10]:

$$L_{12} = 2 \cdot \left[\ln(r_1/r_0) - \frac{\Theta^2}{1 - \delta_0^2} \right] \cdot 10^{-7};$$

$$C_{12} = \frac{\varepsilon_1 \cdot 10^{-9}}{18 \cdot \left[\ln(r_1/r_0) - \frac{\Theta^2}{1 - \delta_0^2} \right]},$$

где Θ — эксцентриситет жилы, определяется отношением расстояния от жилы до центра кабеля к внутреннему радиусу оболочки;

$\delta_0 = r_0/r_1$ — отношение радиуса жилы к радиусу кабеля.

Сопротивление связи кабеля равно омическому сопротивлению экрана кабеля. Коэффициент распространения γ , 1/м, и волновое сопротивление Z_B , Ом, цепей «экран — земля» и «жила — экран», рассчитываются по формулам [7]:

$$\gamma = \sqrt{Z \cdot Y};$$

$$Z_B = \sqrt{\frac{Z}{Y}},$$

где $Z = R + i\omega L$ — продольное полное сопротивление на единицу длины кабеля, Ом/м;

R — внутреннее сопротивление земли и кабеля, Ом/м;

$i\omega L$ — реактивное сопротивление изолирующего зазора кабеля, Ом/м;

$Y = G + i\omega C$ — поперечная полная проводимость на единицу длины кабеля, См/м;

G — полная проводимость земли, См/м;
 $i\omega C$ — емкостная проводимость изоляции, См/м.

Математические модели и методы расчета токов и напряжений

Электромагнитные поля, генерируемые токами ГР, непосредственно воздействуют на электрооборудование и аппаратуру, а также наводят токи и напряжения в соединительных КЛ. Анализ параметров ГР показывает, что их спектр охватывает как низкие, так и высокие частоты, что связано с различными фазами разряда и характером возникающих электромагнитных волн.

Поэтому расчет параметров токов и напряжений, наводимых указанными электромагнитными воздействиями в КЛ, должен выполняться без учета зависимости электрофизических характеристик КЛ от частоты.

Уравнения электродинамики

КЛ состоят из цепей «жила — экран» и «экран — земля». Процессы взаимодействия токов ГР с цепями КЛ описываются уравнениями электродинамики (уравнениями Максвелла). Однако решение таких уравнений связано с высокой вычислительной сложностью. Поэтому наводки в кабелях рассчитываются обычно с использованием модели линии передачи (обобщенные телеграфные уравнения, являющиеся следствием уравнений Максвелла) [6]:

$$\begin{cases} -\frac{\partial U_1}{\partial x} = R_1 I_1 + L_1 \frac{\partial I_1}{\partial t} + M \frac{\partial I_2}{\partial t} - E(x, t); \\ -\frac{\partial U_2}{\partial x} = R_2 I_2 + L_2 \frac{\partial I_2}{\partial t} + M \frac{\partial I_1}{\partial t} - E(x, t); \\ -\frac{\partial I_1}{\partial x} = G_{12}(U_1 - U_2) + C_{12} \frac{\partial (U_1 - U_2)}{\partial t}; \\ -\frac{\partial I_2}{\partial x} = G_{12}(U_2 - U_1) + C_{12} \frac{\partial (U_2 - U_1)}{\partial t} + G_2 U_2 + C_2 \frac{\partial U_2}{\partial t}, \end{cases}$$

где U_1, U_2 — напряжения в цепях «жила — земля» и «экран — земля» кабелей;

R_1, R_2 — погонные сопротивления жил и экранов кабелей;

I_1, I_2 — токи в жилах и экране кабелей, соответственно;

L_1, L_2 — погонные индуктивности цепей «жила — экран» и «экран — земля» кабелей;

M — индуктивность взаимного влияния между жилами и экраном кабелей;

$E(x, t)$ — распределенная по длине КЛ электродвижущая сила (э.д.с.), моделирующая напря-

женность электрического поля ЭМИ и ГР, воздействующего на КЛ;

C_{12}, G_{12}, C_2, G_2 — погонные емкости и проводимости цепей «жила — экран» и «экран — земля» кабелей.

Схемы замещения участка КЛ, подверженного воздействию токов ГР, приводится на рис. 2.

Для КЛ, подверженной воздействию молнии, ток молниевых разряда моделируется одним источником э.д.с., который размещается в области контакта канала молнии с линией. Для защиты КЛ от воздействия ГР применяется устройство защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП).

Граничные условия, отображающие математическую модель УЗИП, выполненных на базе нелинейных ограничителей перенапряжений, включенных в цепь между жилами и экранами кабеля, описываются системой уравнений:

$$\begin{cases} I_C(t) = C_H \frac{dU(t)}{dt}; \\ U_3(t) = I_R(t) \cdot R_H + L_H \frac{dI_R(t)}{dt}; \\ U_3(t) = R_3(I_3(t)) \cdot I_3(t); \\ I_\Sigma(t) = I_C(t) + I_R(t) + I_3(t) + K_{\text{ж}}, \end{cases} \quad (1)$$

где $I_C(t)$, $I_R(t)$ — токи в сосредоточенных нагрузках C_H , R_H ;

C_H, R_H, L_H — сосредоточенное сопротивление, индуктивность и емкость оборудования в узлах кабельных линий;

$U(t)$ — напряжение между жилами и экраном кабеля;

$U_3(t)$ — падение напряжения на нелинейном элементе УЗИП;

R_3 — сопротивление нелинейного элемента УЗИП, зависящее от величины протекающего через него тока $I_3(t)$;

$I_3(t)$ — ток, протекающий через УЗИП;

$I_\Sigma(t)$ — суммарный ток в жилах;

$K_{\text{ж}}$ — число жил в кабеле.

Условная схема подключения УЗИП приведена на рис. 3.

В указанной математической модели связь между падением напряжения на нелинейном сопротивлении УЗИП U_3 и током I_3 , протекающим через него, определяется через статическое сопротивление. Это сопротивление определяется из отношения напряжения к току, протекающему через УЗИП в каждой точке вольтамперной характеристики, что соответствует тангенсу угла α между осью абсцисс и прямой, проходящей через начало координат и точку на вольтамперной характеристике. При переходе от одной точки вольтамперной характеристики к другой статическое сопротивление изменяется (рис. 4) [9].

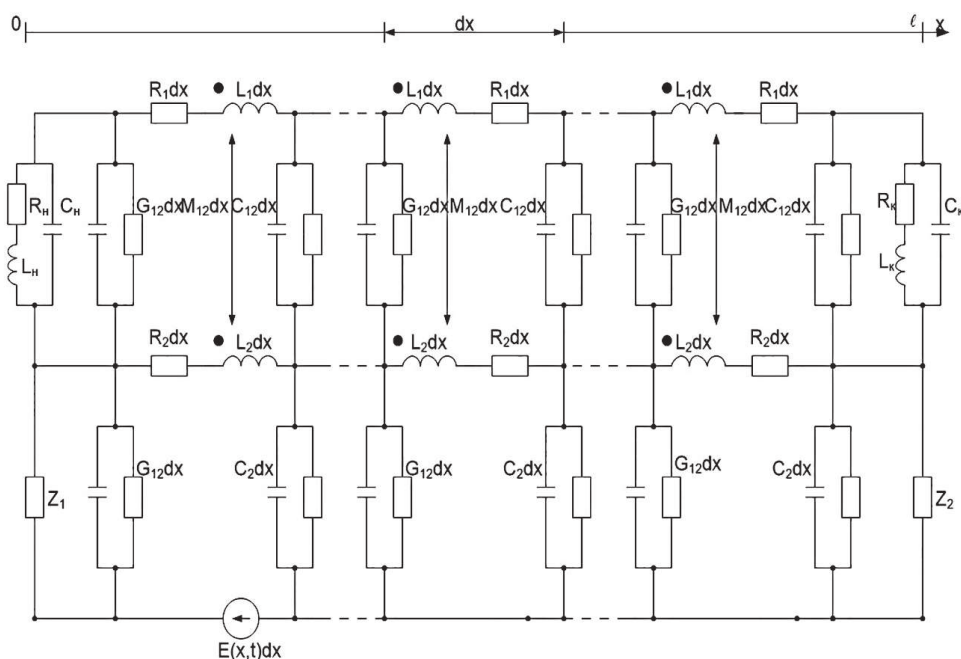


Рис. 2. Схема замещения участка КЛ, подверженного воздействию токов ГР

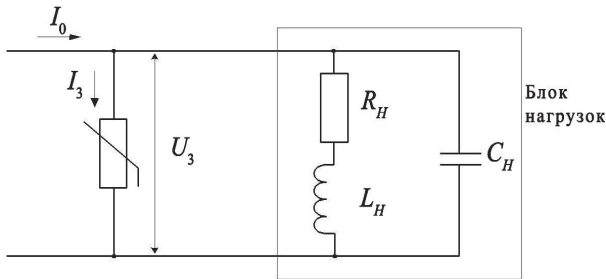


Рис. 3. Условная схема подключения УЗИП [8]

Нелинейное сопротивление УЗИП моделируется эквивалентным линейным сопротивлением и источником э.д.с. E_0 . При практических расчетах целесообразно использовать не статическое, а динамическое сопротивление $R_{дн}$ нелинейного элемента, под которым понимается отношение бесконечно малого приращения напряжения dU к соответствующему приращению тока dI .

Такая замена позволяет считать схему линейной, а для описания процессов использовать алгебраические уравнения:

$$U = E_0 + IR_{дн}, \quad I = \frac{U}{R_{дн}} + I_0,$$

$$I_0 = -\frac{E_0}{R_{дн}}.$$

Тогда уравнение системы (1) примет следующий вид:

$$U_3(t) = E_0 + I_3 R_{дн}. \quad (2)$$

При подстановке уравнения (2) в систему (1), обобщенные граничные условия, отображающие математическую модель УЗИП и позволяющие рассчитывать электромагнитные процессы, как с учетом статического, так и динамического сопротивления, представляются системой уравнений:

$$\begin{cases} I_C(t) = C_H \frac{dU(t)}{dt} \\ U_3(t) = I_R(t) \cdot R_H + L_H \frac{dI_R(t)}{dt} \\ U_3(t) = E_0 + R_{дн} \cdot I_3(t) \\ I_{\Sigma}(t) = I_C(t) + I_R(t) + I_3(t) + K_{ж}. \end{cases}$$

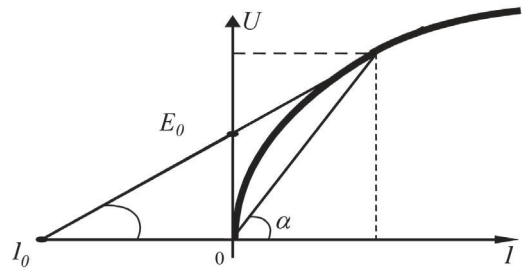


Рис. 4. Вольтамперная характеристика нелинейного элемента УЗИП

Применение метода конечных разностей

Система уравнений (1) решается методами конечных разностей.

Дискретизация уравнений электродинамики с помощью метода конечных разностей включает разбиение временной и пространственной области на мелкие шаги. Это позволяет перейти от непрерывных уравнений к системе алгебраических уравнений, которые могут быть решены численно.

Система (1) позволяет определить реакции кабелей на воздействия электрических полей ЭМИ ГР в виде:

- токов в жилах и экранах кабелей;
- напряжений в цепях «жила — экран» и «экран — земля»;
- токов и напряжений ограничений (остающихся напряжений на УЗИП);
- токов и напряжений, затекающих на оборудование СЭС.

Расчетная оценка влияния токов и напряжений, наводимых грозовыми разрядами на СЭС

Для проведения расчетов напряжений и токов, наводимых ГР в КЛ СЭС, рассмотрим реально существующую схему электроснабжения особо важного потребителя (ОВП) от ТП-6,3/0,4 кВ.

Условная расчетная схема размещения структурных элементов СЭС, подверженных воздействию токов ГР, приведена на рис. 5.

Под ОВП понимается устройство распределительное (УР), КЛ которого защищены УЗИП (в данном случае «Джоуль-28»), и ответственные потребители П1, П2, П3.

В качестве вариантов воздействия рассмотрим прямые удары молнии по объектам энергосистемы (рис. 5).

Результаты расчетов амплитудно-временных параметров напряжений и токов, наводимых ГР, приводятся в табл. 1 и 2. В числителе — графа 3 и 4 табл. 1 и 2 приводятся максимальные значения и временные характеристики напряжений, наведенных в КЛ, без учета защитного действия УЗИП. В знаменателе — графа 3 и 4 табл. 1 и 2 приводятся максимальные значения и временные характеристики напряжений, наведенных в КЛ, с учетом защитного действия УЗИП.

Табл. 2 показывает амплитудно-временные параметры токов и напряжений, наводимых при прямых ударах молнии.

Анализ результатов расчетов, приведенных в табл. 1 и 2, показывает, что максимальные уровни напряжений и токов в КЛ наблюдаются при прямых ударах молнии в ТП. Максимальные уровни напряжений и токов могут достигать значений до 13300 В и 870 А при длительностях импульсов до 350 – 900 мкс.

Уровни напряжений, наведенных ГР, приводят к срабатыванию УЗИП, установленных на вводах КЛ ВББШВ-(0) 5×120 в УР ОВП.

УЗИП ограничивают амплитуды наведенных молнией напряжений до уровней 1440–1560 В, что наглядно демонстрируется на рис. 6, а.

Таким образом, применение УЗИП необходимо для обеспечения надежного и бесперебойного электроснабжения ОВП [10].

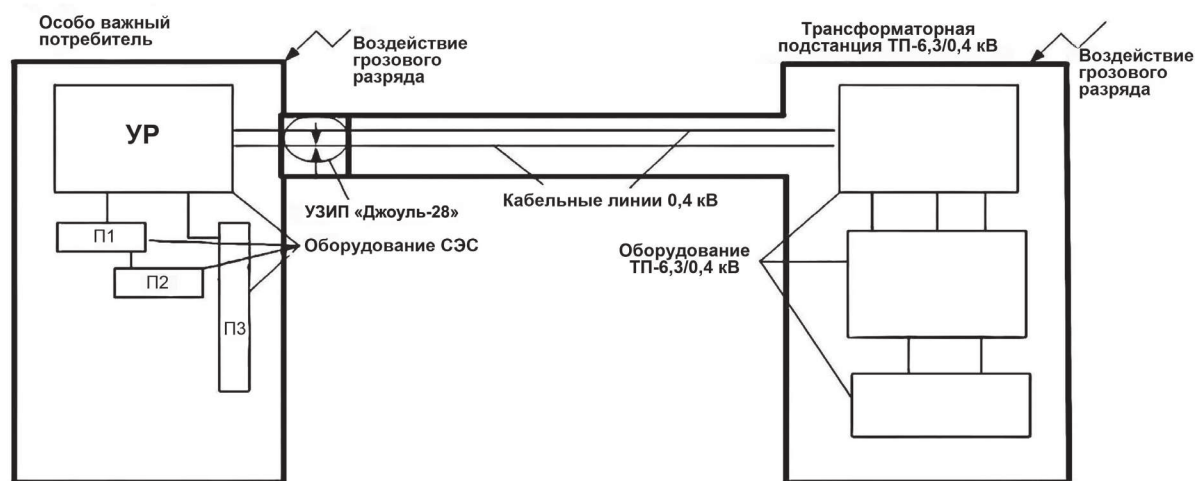


Рис. 5. Условная расчетная схема размещения структурных элементов СЭС, подверженных воздействию токов ГР

Таблица 1

**Амплитудно-временные параметры токов и напряжений,
наводимых в КЛ при прямых ударах молнии в ТП**

Откуда	Куда	Амплитуда напряжения между жилами и экранами, В	Время достижения максимума / длительность до полуспада импульса напряжения, с	Амплитуда тока в жилах, А	Время достижения максимума / длительность до полуспада импульса тока, с
ТП	УР	$\frac{13300,0}{1480,0}$	$\frac{5,0 \cdot 10^{-5}/1,5 \cdot 10^{-4}}{7,0 \cdot 10^{-5}/3,0 \cdot 10^{-4}}$	870,0	$7,0 \cdot 10^{-5}/3,0 \cdot 10^{-4}$
УР	П1	$\frac{13400,0}{1520,0}$	$\frac{5,0 \cdot 10^{-5}/1,5 \cdot 10^{-4}}{8,0 \cdot 10^{-5}/3,5 \cdot 10^{-4}}$	38,5	$3,2 \cdot 10^{-4}/6,0 \cdot 10^{-4}$
УР	П2	$\frac{13600,0}{1560,0}$	$\frac{5,0 \cdot 10^{-5}/1,7 \cdot 10^{-4}}{8,0 \cdot 10^{-5}/2,5 \cdot 10^{-4}}$	59,5	$3,6 \cdot 10^{-4}/8,0 \cdot 10^{-4}$
УР	ПЗ	$\frac{13300,0}{1510,0}$	$\frac{5,0 \cdot 10^{-5}/1,5 \cdot 10^{-4}}{7,0 \cdot 10^{-5}/3,5 \cdot 10^{-4}}$	38,4	$3,2 \cdot 10^{-4}/6,0 \cdot 10^{-4}$

Таблица 2

Амплитудно-временные параметры токов и напряжений, наводимых в КЛ при прямых ударах молнии непосредственно по потребителю

Откуда	Куда	Амплитуда напряжения между жилами и экранами, В	Время достижения максимума / длительность до полуспада импульса напряжения, с	Амплитуда тока в жилах, А	Время достижения максимума / длительность до полуспада импульса тока, с
ТП	УР	$\frac{7360,0}{1510,0}$	$\frac{6,0 \cdot 10^{-5}/2,0 \cdot 10^{-4}}{1,5 \cdot 10^{-5}/5,5 \cdot 10^{-4}}$	865,0	$9,0 \cdot 10^{-5}/6,0 \cdot 10^{-4}$
УР	П1	$\frac{7270,0}{1440,0}$	$\frac{6,0 \cdot 10^{-5}/2,1 \cdot 10^{-4}}{1,1 \cdot 10^{-4}/5,5 \cdot 10^{-4}}$	29,0	$8,0 \cdot 10^{-5}/2,0 \cdot 10^{-4}$
УР	П2	$\frac{7350,0}{1420,0}$	$\frac{6,0 \cdot 10^{-5}/2,0 \cdot 10^{-4}}{1,3 \cdot 10^{-4}/5,5 \cdot 10^{-4}}$	43,3	$1,1 \cdot 10^{-4}/3,0 \cdot 10^{-4}$
УР	П3	$\frac{7300,0}{1450,0}$	$\frac{6,0 \cdot 10^{-5}/2,1 \cdot 10^{-4}}{9,0 \cdot 10^{-5}/5,5 \cdot 10^{-4}}$	23,2	$7,0 \cdot 10^{-5}/1,4 \cdot 10^{-4}$

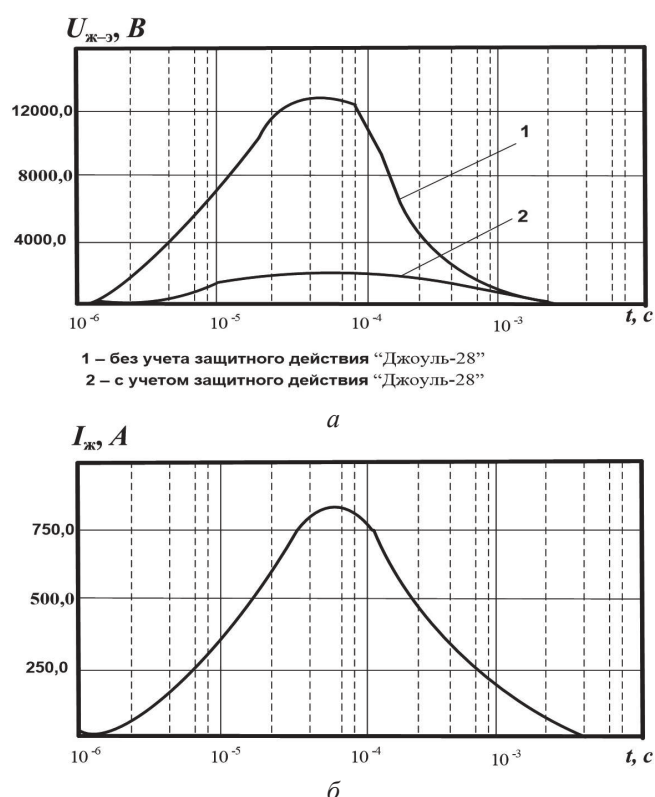


Рис. 6. Амплитудно-временные зависимости напряжений между жилами и экранами $U_{ж-э}$ (а) и токов в жилах $I_{ж}$ (б) КЛ ВБбШв-(0) 5×120

Кроме этого, использование УЗИП не только сокращает риск повреждения электрооборудования СЭС и простоев в электросети, но и обеспечивает надежную защиту от импульсных перенапряжений, существенно снижая амплитуды и временные характеристики напряжений и токов, обусловленных ГР.

Заключение

В результате проведенного исследования было установлено, что ГР представляют серьезную угрозу для электрических систем, вызывая значительные наводимые токи и напряжения, которые могут привести к сбоям в работе,

повреждениям оборудования и полной остановке электроснабжения. Поэтому совершенствование методик анализа параметров ЭМИ, вызванных ГР, и их воздействия на СЭС является в настоящее время одной из актуальных задач при проектировании технических систем с повышенными требованиями к бесперебойности энергообеспечения.

Разработанная методика расчета наведенных токов и напряжений позволяет с требуемой точностью оценить критически важные параметры защищенности электрооборудования и инфраструктуры. Это особенно актуально для критически важных объектов, где сбои в электроснабжении недопустимы. Использование методов моделирования и численного анализа обеспечивает высокую точность расчетов и надежность результатов, что позволяет своевременно принимать меры по защите оборудования и минимизировать риски, связанные с воздействиями ЭМИ.

УЗИП являются ключевым элементом защиты электрооборудования от импульсных перенапряжений, вызванных ГР. Без применения УЗИП оборудование остается уязвимым к этому воздействию, что может привести к сбоям в работе, повреждениям оборудования и полной остановке электроснабжения. Применение УЗИП позволяет минимизировать риски, обеспечивая стабильное и бесперебойное электроснабжение. Кроме того, УЗИП помогает снизить эксплуатационные расходы, предотвращая повреждения и продлевая срок службы оборудования.

Применение предложенной методики обеспечивает эффективную защиту электрооборудования, минимизируя риски и затраты, связанные с воздействием ГР, за счет применения УЗИП. Разработанная методика и рекомендации имеют, несомненно, практическое значение и могут быть использованы для улучшения существующих стандартов и нормативов в области электромагнитной совместимости и защиты электрооборудования.

Список источников

1. Тереньтев Д.Е., Сторожук Н.Л. Защита оборудования и объектов связи от опасных электромагнитных влияний // Информация и космос. 2004. № 3. С. 38–45.
2. Качиев Л.Н., Балюк Н.В., Степанов П.В. Мощный электромагнитный импульс: воздействие на электронные средства и методы защиты. М.: ООО «Группа ИДТ», 2007. 200 с.
3. Daniel L. Stein Electromagnetic pulse — the uncertain certainty // Bulletin of the Atomic Scientist. 1983. V. 39. No 3. Pp. 52–56.
4. Kalma A.H., Fischer C.J. Electrical Pulse Burnout Testing Vol. of Light — Emitting Diodes // IEEE Trans. Dec. 1975. V. NS-22, No 6. Pp. 2510–2515.
5. Павлова Э.И., Гизатуллин З.М. Методика анализа помех в электронных средствах при электромагнитном воздействии разряда молнии // «Перспективные информационные технологии» ПИТ, 2019. 621 с.
6. Мырова Л.О., Чепиженко А.З. Обеспечение стойкости аппаратуры связи к ионизирующим и электромагнитным излучениям. М.: Радио и связь, 1988. 255 с.
7. Вэнс Э.Ф. Влияние электромагнитных полей на экранированные кабели. М.: Радио и связь, 1982. 120 с.
8. Технические условия на изделие «Джоуль-28». ЕАИГ.674361.004. ТУ. М.: ВЭИ им. В.И. Ленина, 1989. 20 с.
9. Хромов В.В., Фоминич Э.Н., Курьяков Е.В. Оперативная оценка токов и напряжений в устройствах защиты технических средств при воздействии электромагнитных импульсов // Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях. 2020. С. 464–467.
10. Михайлов М.И., Разумов Л.Д., Соколов С.А. Электромагнитные влияния на сооружения связи. М.: Связь, 1979. 264 с.

УДК 629.3.066:623.61

doi: 10.53816/20753608_2025_2_73

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

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

По представлению чл.-корр. РАН А.В. Шеверева

А.Г. Сызранцев

Московский технический университет связи и информатики

A.G. Syzranцев

Аналитическая модель системы сетевого технологического управления транспортной сетью связи представлена как подсистема высокодинамичной системы связи в виде множества величин, описывающих входные воздействия, воздействия внешней среды и совокупность внутренних характеристик. Функционирование системы описано как последовательная смена состояний сети связи. Многоуровневость системы управления отражена в иерархических матрицах связности.

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

The analytical model of the network technological control system of the transport communication network is presented as a subsystem of a highly dynamic communication system in the form of a set of values describing input effects, external environment effects and a set of internal characteristics. The functioning of the system is described as a sequential change of the communication network states. The multi-level nature of the control system is reflected in hierarchical connectivity matrices.

Keywords: network technological control systems, transport communication network, highly dynamic communication system, communication control point, control theory, communication theory, general systems theory, model, structure, connectivity matrix, separable graph.

При построении математических моделей принято руководствоваться следующими принципами [1–9]:

- соответствия модели целям исследования;
- соответствия сложности модели точности результатов исследования;
- экономичности модели;

- соразмерности;
- модульности построения; открытости;
- удобства пользования;
- адекватности и адаптивности.

Систему сетевого технологического управления (ССТУ) транспортной сетью связи (ТСС) высокодинамичной системы связи (ВдСС)

создаваемой группировки специального назначения (ГрСН) как сложную систему можно представить в виде множества величин, описывающих следующие подмножества [3, 7, 8, 16]:

1. Совокупность входных воздействий (нагрузка, создаваемая должностными лицами по оперативному управлению связью)

$$\lambda_i \in \Lambda, \quad i = \overline{1, k},$$

где k — количество видов задач по связи (изменение структуры системы связи, изменение информационных направлений, проключение новых связей, раскоммутация ненужных связей и др.);

λ_i — нагрузка создаваемая i -м видом задачи по связи;

Λ — общая входная нагрузка создаваемая k видами задач по связи;

2. Совокупность воздействий внешней среды, выражающихся в различных видах поражающего воздействия на элементы ССТУ ТСС (огневого, радиоэлектронного, информационного, техногенного и др.)

$$v_l \in V, \quad l = \overline{1, u},$$

где u — количество типов воздействия, оказывающих влияние на элементы ССТУ ТСС;

v_l — определенный вид воздействия;

V — общее множество возможных видов воздействия;

3. Совокупность внутренних характеристик, описывающих определенные показатели (параметры) свойств типов воздействия, может быть представлена функционалом (H)

$$H = \{H_1, H_2, H_3, H_4, H_5, H_6, H_7\},$$

где H_1 — показатель готовности к функционированию (выполнения основной задачи);

H_2 — показатель мобильности ССТУ ТСС;

H_3 — показатель пропускной способности линий связи ССТУ ТСС;

H_4 — показатель разведывательной защищенности ССТУ ТСС;

H_5 — показатель устойчивости функционирования ССТУ ТСС с требуемым качеством;

H_6 — показатель доступности ресурса ССТУ ТСС для использования должностными лицами этой системы управления;

H_7 — показатель управляемости (оперативности выполнения функций управления связью и получения ответов на них) ССТУ ТСС.

При моделировании ССТУ ТСС входные воздействия, воздействия внешней среды и внутренние параметры системы являются независимыми переменными, которые в векторной форме имеют вид (соответственно):

$$\vec{\lambda}(t) = (\vec{\lambda}_1(t), \vec{\lambda}_2(t), \dots, \vec{\lambda}_i(t))^T;$$

$$\vec{v}(t) = (\vec{v}_1(t), \vec{v}_2(t), \dots, \vec{v}_i(t))^T;$$

$$\vec{H}(t) = \{\vec{H}(t)_1, \vec{H}(t)_2, \vec{H}(t)_3, \vec{H}(t)_4, \vec{H}(t)_5, \vec{H}(t)_6, \vec{H}(t)_7\},$$

а выходные характеристики являются зависимыми переменными и в векторной форме имеют вид

$$\vec{Y}(t) = (\vec{y}_1(t), \vec{y}_2(t), \dots, \vec{y}_k(t))^T,$$

где $\vec{Y}(t)$ — общая исполненная нагрузка k видов задач по связи;

$\vec{y}_i(t)$ — исполненная нагрузка k -го вида задач по связи на определенном направлении.

Процесс функционирования ССТУ ТСС описывается во времени оператором F_s , который в общем случае преобразует независимые переменные в зависимые в соответствии с соотношением

$$\vec{y}(t) = F_s(\vec{\lambda}, \vec{v}, \vec{H}, t).$$

Это соотношение может быть получено через свойства ССТУ ТСС, в конкретные моменты времени, называемые состояниями.

Рассмотрим два варианта состояния ССТУ ТСС высокдинамичной системы связи создаваемой ГрСН.

1. O_{cc} — состояние, определяемое парой значений — пропускной способностью ССТУ и структурой ТСС; $O_{cc}(t) = \{\vec{y}(t), h(t)\}$.

2. S — состояние, определяемое, как набор состояний всех элементов ССТУ ТСС;

$$S_{icc} = \delta_{1cc}, \delta_{2cc}, \delta_{3cc}, \dots, \delta_{scc} = 1,$$

где $\delta_{scc} = 1$, если элемент сети исправен;
 $\delta_{scc} = 0$, если элемент сети неисправен.

Если рассматривать процесс функционирования ССТУ ТСС ВдСС как последовательную смену состояний $O_{cc}(t_1), O_{cc}(t_2), O_{cc}(t_3), \dots, O_{cc}(t_j)$, то они могут быть интерпретированы как координаты точки в n -мерном фазовом пространстве. Причем каждой реализации процесса будет соответствовать некоторая фазовая траектория. Совокупность всех возможных значений состояний $O_{cc}(t_j)$ называется пространством состояния объекта моделирования X , причем $O_{cc}(t_j) \in X$ [2, 5–10]. Состояние ССТУ ТСС в момент времени $t \leq t^* \leq T$ полностью определяется начальными условиями $O_{cc}(t_0) = \{\bar{y}(t_0), h(t_0)\}$, входными воздействиями $\Lambda(t_0, \dots, t^*)$, воздействиями внешней среды $V(t_0, \dots, t^*)$, которые имели место за данный промежуток времени, с помощью двух уравнений:

$$O_{cc}(t^*) = O(O_{cc}(t_0), \Lambda(t_0, \dots, t^*), V(t_0, \dots, t^*));$$

$$\bar{y}(t^*) = F(O_{cc}(t^*), t^*).$$

Таким образом,

$$\bar{y}(t^*) = F(O(O_{cc}(t_0), \Lambda(t_0, \dots, t^*), V(t_0, \dots, t^*)), t^*).$$

Итак, под аналитической моделью ССТУ ТСС ВдСС создаваемой ГрСН будем понимать конечное подмножество переменных $\{\bar{\lambda}(t), \bar{v}(t), \bar{h}(t)\}$ вместе с математическими связями между ними и характеристиками $\bar{y}(t)$.

Входящие в ССТУ ТСС высокودинамичной системы связи потоки сообщений по каждому виду задачи по связи, передаваемые с определенными приоритетами, образуют суммарный поток сообщений, поэтому в качестве меры пропускной способности целесообразно использовать величину, равную отношению объема нагрузки, обслуженному системой полностью и с требуемым качеством за единичный интервал времени, определяемую следующим соотношением

$$H_3 = \frac{\sum_1^k (y_k(t))}{1 \text{ час}}.$$

На основе анализа и обобщения содержания [1–5, 8–15] можно использовать допущение о том, что входящий поток задач по связи, поступающий в ССТУ ТСС, является пуассоновским

поток, в котором вероятность поступления в промежуток времени t ровно $\mathfrak{R}$ задач по связи задается формулой Пуассона

$$P_{\mathfrak{R}}(t) = \frac{(\lambda_i t)^{\mathfrak{R}}}{\mathfrak{R}!} a^{0-\lambda_i t},$$

где $\lambda_i > 0$ — плотность потока i -го вида задач по связи за продолжительность t ;

$\mathfrak{R}$ — количество задач по связи;

$P_{\mathfrak{R}}(t)$ — вероятность наступления этого события.

Учитывая пуассоновский характер потока можно принять

$$\bar{y}(t^*) = \bar{x}(t)(1 - P_l(\bar{x}(t))),$$

где P_l — вероятность потери нагрузки.

При выходе из строя элементов ССТУ ТСС вследствие внешнего воздействия происходит деградация сети двух видов [13, 14, 17, 18].

1. Деградация по пропускной способности, состоящая в наступлении события: $Y = \{y(t) \leq y^*\}$, где $y(t)$, y^* — текущее и требуемое значение по величине исполненной нагрузки соответственно.

2. Структурная деградация, которая приводит к наступлению события $H = \{h(t) \leq h^*\}$, где $h(t)$, h^* — соответственно текущее и требуемое состояние параметров ССТУ ТСС, выражающиеся в совокупности каналов управления поддерживаемых направлений связи на определенных информационных направлениях.

При отображении структуры ССТУ ТСС создаваемой ГрСН аналитической моделью прием отображение ее в виде графа $G(A, B)$, где A — множество вершин графа, включающее в себя подмножество элементов сети, а B подмножество дуг. При этом, $A^0 = \{a_d^*\}$, $d = 1, s^0$ — множество элементов ССТУ ТСС, а $B^0 = \{b_{dd}^0\}$ — подмножество дуг (линий связи), соединяющих эти элементы $\{b_{dd}^0\}$.

Каждый элемент сети связи описывается характеристиками устойчивости (надежности: коэффициентом готовности K_r ; живучести: вероятностью выживания элемента P_v ; помехоустойчивости: коэффициентом исправного действия по помехоустойчивости $K_{ид}$), пропускными возможностями $Y_{ин}$, $Y_{ис}$, стоимости $C_{ССТУ ТСС}$ (объемом ресурса ССТУ ТСС, затрачиваемого на его построение).

Каждому ребру припишем следующий набор морфологических характеристик: Y_i — пропускная способность по совокупности k видов задач по связи; L — модифицированная протяженность линии, зависящая от количества переприемов; $C_{\text{лс}}$ — стоимость линии связи.

Система СТУ ТСС высокодинамичной системы связи создаваемой ГрСН является многоуровневой иерархической системой. При этом для описания и анализа структуры ССТУ ТСС предлагается использовать иерархические матрицы связности. Их использование обусловлено требованием системы управления по обеспечению обмена информацией на несколько ступеней вниз.

Обозначим через $\|A\| = [a_{cs}]$ матрицу связности определенного уровня управления группировкой, если существует дуга из вершины C в S ; $a_{cs} = 0$, в противном случае. Матрица $\|A\|$ симметрична относительно главной диагонали и ее элементами могут быть числа, которые характеризуют показатели свойств линий связи ССТУ ТСС, необходимых для проведения анализа (пропускной способности, устойчивости, стоимости и т. д.).

Для отображения связей между элементами соседних уровней представим прямоугольные матрицы $\|A^{j+1}\| = [a_{cs}^{j+1}]$ связей с вышестоящим уровнем управления и $\|A^{j-1}\| = [a_{cs}^{j-1}]$ связей с нижестоящим уровнем управления, для обозначения связей на несколько инстанций вниз или вверх введем дополнительные матрицы $\|A^j\| = [a_{cs}^j]$, где j — соответствующий уровень иерархии.

Кроме иерархических матриц связности для описания структуры ССТУ ТСС создаваемой группировки используется предложенный в [2–6, 7, 9, 13] способ описания структурных параметров графа системы (диаметра D , числа ребер R , среднего реберного расстояния π между вершинами (протяженность маршрута)) в виде функций числа вершин S и степени вершин j . Данный способ может быть применен для построения модели крупномасштабной, организованной по иерархическому принципу ССТУ ТСС высокодинамичной системы связи создаваемой группировки специального назначения.

В этом случае топология иерархической сети описывается контурно R -разделимым графом с простым подчинением, позволяющим

представить иерархическую структуру композицией подграфов межступенчатых сетей

$$W_{r,r+l}, r = \overline{1, R-1},$$

где l — число подуровней, с которыми связан данный подуровень и подсетей отдельных ступеней иерархии $J_j, r = \overline{1, R}$, которые могут в свою очередь распадаться на зоновые подсистемы.

Как отмечено в [15], такая специфика структурных связей обладает свойством топологической рекуррентности, позволяющим по известным индуктивным правилам вычислять характеристики $(r+1)$ -й ступени из характеристик предыдущих ступеней.

Спектр возможных структур построения ограничивается некоторым набором базовых структур, включающих радиальную сеть, кратчайшую связывающую сеть, кольцевую структуру, решетчатую структуру и равномерно k -связную сеть ($0 \leq k \leq n-1, k \neq 1$). Согласно определению контурно R -разделимого графа для подсетей отдельных ступеней иерархии возможен любой из выше перечисленных способов организации.

Вершина r -й ступени иерархии имеет k_r ближайших соседей в данной подсети r -й ступени иерархии. Помимо этого, рассматриваемая вершина соединена еще с n_{r-1} вершинами нижележащей ступени и, возможно, с несколькими вершинами на несколько инстанций вниз, а также одной или несколькими вершинами $(r+1)$ -й ступени иерархии управления. При этом должна быть обеспечена k -связность иерархической структуры не только наличием k -непересекающихся по вершинам путей внутри данной подсети, но и не менее чем k -точками привязки вершин данной подсети к узлу связи подсети вышестоящей ступени иерархии.

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

Список источников

1. Ермишян А.Г. Теоретические основы построения систем военной связи в объединениях и соединениях: учебник. Ч. 1. Методологические основы построения организационно-технических систем военной связи. СПб.: ВАС, 2005. 740 с.

2. Черушева Т.В., Зверовщикова Н.В. Динамические системы: учеб. пособие. Пенза: Изд-во ПГУ, 2020. 294 с.
3. Лившиц А.П., Мальц Э.А. Статистическое моделирование систем массового обслуживания. М.: Сов. Радио, 1978. 248 с.
4. Величко В.В., Субботин Е.А., Шувалов В.П., Ярославцев А.Ф. Телекоммуникационные системы и сети; под ред. В.П. Шувалова. Том 3. М.: Горячая линия Телеком, 2005. 711 с.
5. Жданов А.А. Общая теория систем. Анализ и дополнения. М.: Лаборатория знаний, 2024. 192 с.
6. Пылькин А.Н., Филатов И.Ю., Орехов В.В. Теория систем и системный анализ: учебник. М.: КУРС, 2025. 192 с.
7. Бушуев С.Н., Осадчий А.С., Фролов В.М. Теоретические основы создания информационно-технических систем. СПб.: ВАС, 1998. 392 с.
8. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Построение систем интегрального обслуживания. Л.: Машиностроение, 1990. 332 с.
9. Сурмин Ю.П. Теория систем и системный анализ: учеб. пособие. К.: МАУП, 2003. 368 с.
10. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. М.: Высшая школа, 1985. 271 с.
11. Анфилатов В.С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении. М.: Финансы и статистика, 2003. 368 с.
12. Вентцель Е.С. Исследование операций. М.: Сов. Радио, 1972. 552 с.
13. Филин Б.П. Методы анализа структурной надежности сетей связи. М.: Радио и связь, 1988. 208 с.
14. Дудник Б.Я., Овчаренко В.Ф., Орлов В.К. и др. Надежность и живучесть систем связи. М.: Радио и связь, 1984. 216 с.
15. Бертсекас Д., Галлагер Р. Сети передачи данных; Пер. с англ. М.: Мир, 1989. 544 с.
16. Сызранцев Г.В., Сазыкин А.М., Алёшин О.В. Технологические основы построения автоматических систем управления связью высокодинамичных систем управления // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. № 3 (113). С. 116–126.
17. Сызранцев Г.В., Иншин Г.В., Безуглый А.В. Технические решения по автоматизации процессов сетевого технологического управления системой (сетью) связи // Техника средств связи. 2018. № 2 (142). С. 210–213.
18. Иншин Г.В., Безуглый А.В., Даниленко А.Н. и др. Модель функционирования автоматической системы сетевого технологического управления первичной сетью связи специального назначения // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2013. № 11–12 (65–66). С. 90–95.

УДК 621.396.96

doi: 10.53816/20753608_2025_2_78

**КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ
МЕТОДОМ КРОСС-СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА
В АКТИВНЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**
**SIGNAL FUSION USING CROSS-SPECTRAL ANALYSIS
IN ACTIVE RADAR SYSTEMS**

По представлению чл.-корр. РАН М.В. Чернышова

С.А. Захаров, Д.А. Масягина, Ю.В. Коноплев, А.А. Юев

БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

S.A. Zakharov, D.A. Masyagina, Yu.V. Konoplev, A.A. Yuev

В статье описан алгоритм комплексирования данных методом кросс-спектрального анализа. В его основе лежат преобразования сигналов в частотной области, позволяющие выявить их взаимосвязь, взвешенно объединяя спектральные представления. Метод нацелен на повышение качества выходных данных, минимизирование влияния различных источников шума и помех. В статье кратко рассмотрены и другие методы комплексирования данных в радиолокационных системах.

Ключевые слова: комплексирование, кросс-спектральный метод, преобразование Фурье, частота зондирования.

This paper describes an algorithm for data fusion using the cross-spectral analysis method. It is based on signal transformations in the frequency domain, enabling the identification of their interrelationships by weighting and combining their spectral representations. The method is aimed at improving the quality of the output data and minimizing the impact of various noise sources and interference. The article also briefly discusses other data fusion methods in radar systems.

Keywords: data fusion, cross-spectral method, Fourier transform, radar frequency.

Введение

Радиолокационные системы (РЛС) являются важнейшим инструментом в современных методах дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Еще несколько лет назад их место занимали оптические методы съемки. Однако с развитием технологий стало возможным получать данные, которые не уступают оптическим. При этом такие системы являются активными, то есть об-

ладающими возможностью работать практически в любых погодных условиях, в любое время суток [1]. Они находят широкое применение не только в разведывательно-военных сферах, но и в таких областях, как картография, мониторинг природных ресурсов, управление земельными ресурсами и т.д.

Значение этих достоинств особенно велико применительно к задачам мониторинга территории России. Высокая доля времени, в течение

которого здесь имеют место неблагоприятные условия освещенности и облачности (около 75% в среднем по стране, до 90% в Арктическом регионе). Длительность существования таких условий не позволяет эффективно использовать оптическую аппаратуру наблюдения при решении обширного круга актуальных задач различного назначения [2].

Отдельного внимания заслуживают современные методы обработки сигналов РЛС ДЗЗ. Отраженный радиосигнал содержит в себе всю необходимую информацию об объектах наблюдения, однако извлечение этой информации достаточно ресурсоемкий процесс. Благодаря увеличению вычислительных мощностей и оптимизации работы фильтров стало возможным обрабатывать большие объемы данных как непосредственно на уровне сигналов, так и на уровне получаемых изображений, что положительно сказывается на итоговом качестве получаемых данных.

Современное развитие технологий требует от РЛС ДЗЗ максимизации получаемой информации. Вследствие физического ограничения в отношении проникающей способности определенных длин волн (например, более длинные волны лучше проходят через препятствия, чем короткие (рис. 1)), а следовательно, и ограничения получаемой информации выявляется необходимость совершенствовать антенные устройства. Яркий пример таких систем — активные фазированные антенные решетки (АФАР), которые способствуют излучению сигналов на различных частотах, что ведет к возможности комплексирования (объединения) получаемых данных.

В настоящее время в России проводят разработки двухдиапазонной СВЧ (Х-диапазон) и УВЧ (Р-диапазон) АФАР. Подобная техноло-

гия уже активно используется за рубежом, яркий тому пример космический аппарат (КА) TerraSAR-X [2].

Сравнительную характеристику получаемых данных в СВЧ и УВЧ диапазонах можно описать следующим образом.

1. В СВЧ диапазоне эффективная площадь рассеяния (ЭПР) выше, чем в УВЧ, что сказывается на контрастности радиолокационных снимков земной поверхности.
2. Радиоволны УВЧ диапазона способны проникать в плотные среды, что позволяет выявить скрытые элементы.
3. Данные СВЧ диапазона близки по структуре к визуальному восприятию и могут использоваться для привязки к картам, что упрощает навигационные задачи.
4. Искусственные объекты имеют одинаковый ЭПР.

Таким образом, комплексирование данных, получаемых при использовании разных длин волн, позволит объединить их преимущества, улучшая общее качество и информативность получаемых данных. Это делает задачи комплексирования особенно важными для современных исследований и практических приложений его использования.

Целью данной работы является исследование комплексирования данных на уровне сигналов в активных РЛС ДЗЗ.

Анализ способов комплексирования

Решением вопроса комплексирования данных в антенных системах является использование многочастотных/многодиапазонных радиолокационных систем. При этом самым простым вариантом построения таких систем является использование нескольких отдельно

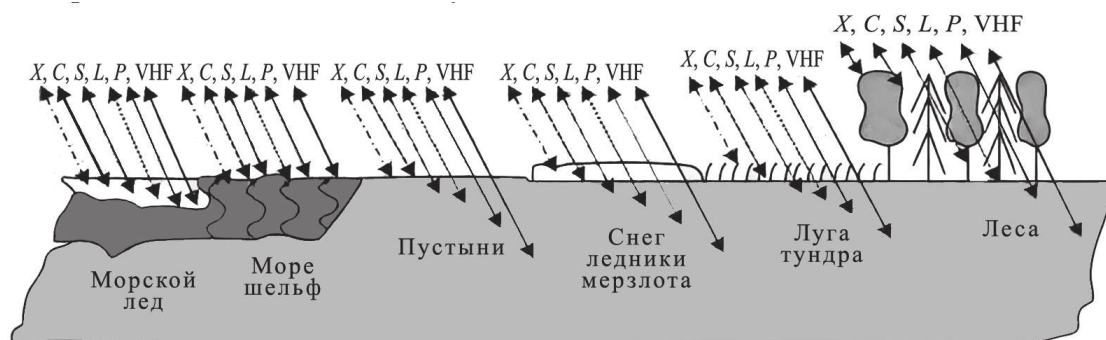


Рис. 1. Проникающая способность волн разной длины

приемо-передающих трактов или использование одной антенны с перестройкой несущей частоты. Однако очевидным недостатком любого из вышеописанных методов будет являться усложнение аппаратной части [3].

Таким образом, можно выделить следующие варианты комплексирования данных (рис. 2).

1. Комплексирование сигналов.

Частным видом комплексирования сигналов является получение интерферограммы в методе интерферометрического обзора земной поверхности. Другим видом комплексирования сигналов является метод кросс-спектрального анализа.

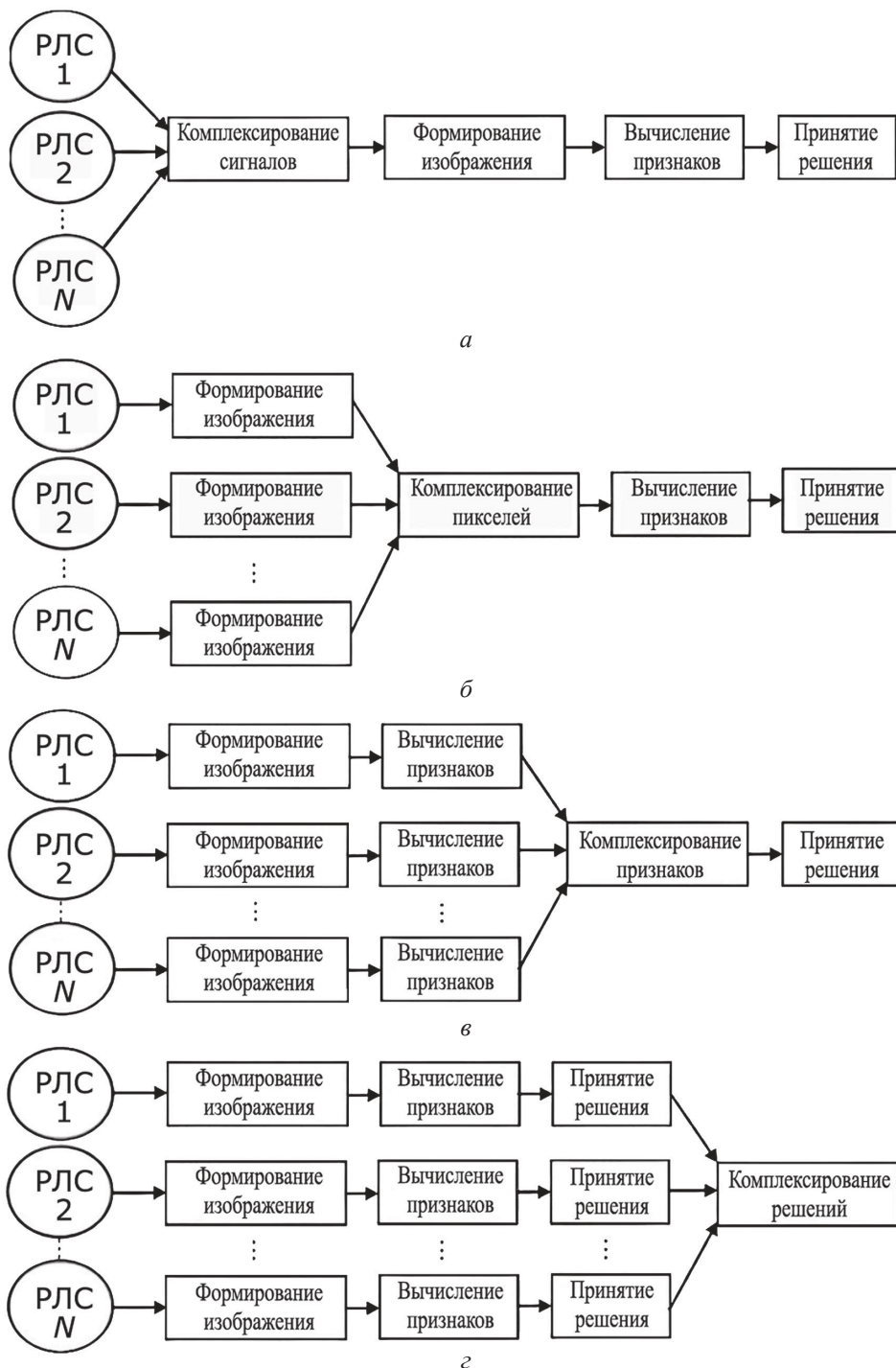


Рис. 2. Варианты комплексирования данных

2. Комплексирование пикселей.

Каждый пиксель может быть объединен с другим на основе методов среднего и медианного значений, а также взвешенного суммирования. Однако стоит учитывать необходимость строгой корегистрации входных данных, иначе при комплексировании пикселей могут возникнуть артефакты на итоговом результате.

3. Комплексирование признаков.

В качестве примера комплексирования на уровне признаков можно привести методы снижения размерности и объединения признаков, такие как PCA (Principal Component Analysis) и LDA (Linear Discriminant Analysis). Комплексирование признаков позволяет учитывать различия в уровне качества выходных данных на основе алгоритмов по типу Вейвлет-преобразований [4].

4. Комплексирование решений.

Этот подход является самым трудоемким из приведенных, так как требует учета множества факторов и вероятностей (ложной тревоги, пропуска цели) для достижения высокой надежности и точности.

Кросс-спектральный анализ

Предполагается, что есть два набора данных, которые описываются функциями отраженных сигналов с разными зондирующими частотами. Для их успешного комплексирования необходимо выявить, как эти два набора данных могут быть связаны друг с другом [4].

В антенной технике существует ряд способов выявления взаимосвязей между сигналами. Одним из таких способов является метод взаимной корреляционной функции (ВКФ):

$$S_{xy}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} X(t)Y(t+\tau)dt.$$

Частным случаем ВКФ является кросс-спектральный анализ (КСП):

$$S_{xy}(f) = X(f)^* Y(f). \quad (1)$$

КСП связан с ВКФ через преобразование Фурье. Анализ КСП позволяет определить взаимосвязь между двумя временными рядами как функцию частоты. Обычно предполагает-

ся, что статистически значимые пики на одной и той же частоте были показаны в двух временных рядах, и необходимо определить связаны ли эти периодичности друг с другом, и, если да, то какова фазовая зависимость между ними.

Мерой взаимосвязи двух сигналов в частотной области является когерентность. Когерентность объединяет спектральные и корреляционные характеристики процессов и характеризует корреляцию между процессами отдельно в каждой спектральной полосе. Функция когерентности является мерой (нормированной 0...1) линейной связи двух сигналов на заданной частоте f :

$$C_{xy}(f) = \frac{S_{xy}(f)}{S_{xx}(f)S_{yy}(f)}. \quad (2)$$

Моделирование комплексирования сигналов методом кросс-спектрального анализа

Предполагается, что имеется две антенные системы со следующими входными данными:

- амплитуда сигналов $U = 1$ В;
- частота зондирования первого сигнала $f_{31} = 9,6$ ГГц;
- частота зондирования второго сигнала $f_{32} = 1,2$ ГГц;
- длина волны первого сигнала $\lambda_1 = 0,03$ м;
- длина волны второго сигнала $\lambda_2 = 0,25$ м.

Каждая из антенн излучает в пространство сигнал, зачастую линейно-частотно модулированный (ЛЧМ). Зная координаты цели и закон изменения наклонной дальности от летательного или космического аппарата, можно определить принятые сигналы каждой из антенн, которые будут описываться своими квадратурными и синфазными составляющими [5].

Таким образом, принятые сигналы первой и второй антенны будут описываться следующими выражениями [6]:

$$\dot{s}_1(t) = u_{ic1}(t) + ju_{is1}(t);$$

$$\dot{s}_2(t) = u_{ic2}(t) + ju_{is2}(t).$$

Графики синфазных и квадратурных составляющих описываемых сигналов представлены на рис. 3.

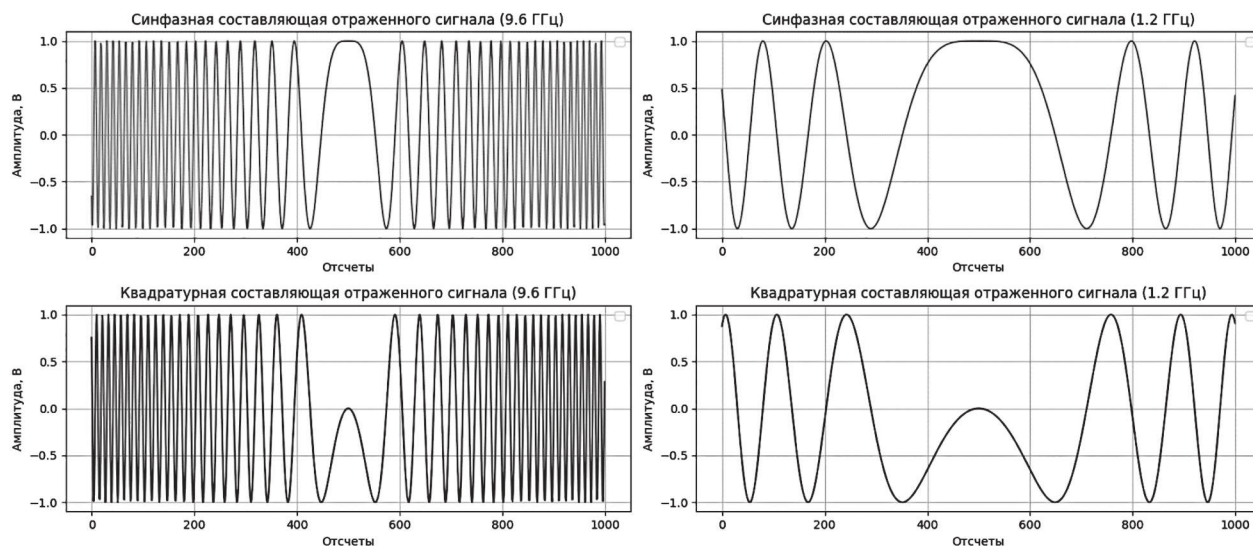


Рис. 3. Графики синфазных и квадратурных составляющих описываемых сигналов

Метод кросс-спектрального анализа состоит из нескольких этапов, его структура представлена на рис. 4.

На первом этапе необходимо выполнить прямое преобразование Фурье для перехода от временной области в частотную:

$$X(f) = F(\dot{s}_1(t));$$

$$Y(f) = F(\dot{s}_2(t)).$$

Это преобразование позволит определить спектры сигналов, которые содержат информацию о частотах, амплитудах и фазах компонентов сигнала [7].

На рис. 5 представлены спектры этих сигналов.



Рис. 4. Структура кросс-спектрального анализа

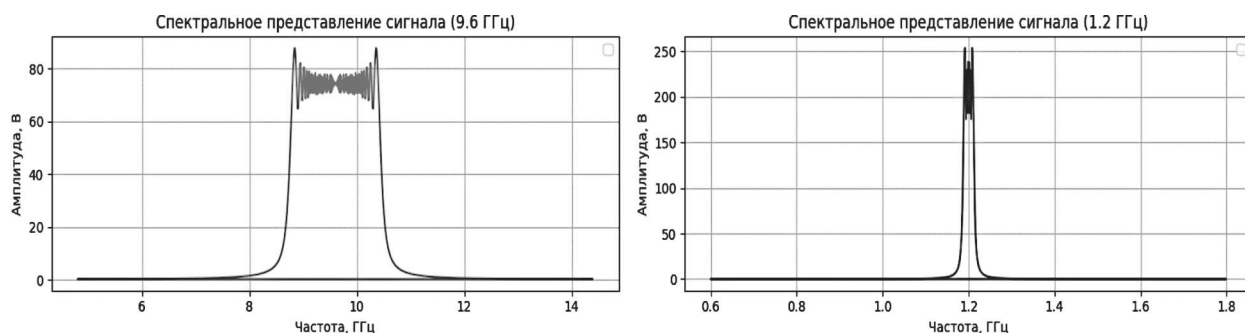


Рис. 5. Графики спектров двух сигналов

По графикам спектров можно сделать вывод, что левый график (9,6 ГГц) описывает широкополосный сигнал, центральная частота которого сосредоточена в области 9,6 ГГц. Большая ширина полосы пропускания позволяет добиться высокого разрешения по наклонной дальности, что является важным аспектом в области ДЗЗ.

Правый график (1,2 ГГц) представляет узкополосный сигнал. Центральная частота сосредоточена в области 1,2 ГГц. Относительно небольшая ширина полосы пропускания ведет к низкой разрешающей способности по наклонной дальности.

Колебания в спектрах сигналов описываются ЛЧМ процессами.

На втором этапе, зная спектры сигналов, необходимо определить спектральные плотности мощности для того, чтобы оценить, как мощность распределяется на каждой частоте:

$$S_{xx}(f) = |X(f)|^2;$$

$$S_{yy}(f) = |Y(f)|^2.$$

Графики спектральной плотности мощности двух сигналов представлены на рис. 6.

Максимальная спектральная плотность мощности для сигнала 9,6 ГГц достигает 1,75 В²/Гц, что можно описать небольшой проникающей способностью через препятствия. В то время как сигнал 1,2 ГГц имеет максимальную мощность 16 В²/Гц, что значительно выше, чем у широкополосного сигнала. Высокая мощность указывает на способность сигнала проникать на большие расстояния и поддерживать стабильную передачу в условиях сложных сред (например, через растительность или атмосферные осадки).

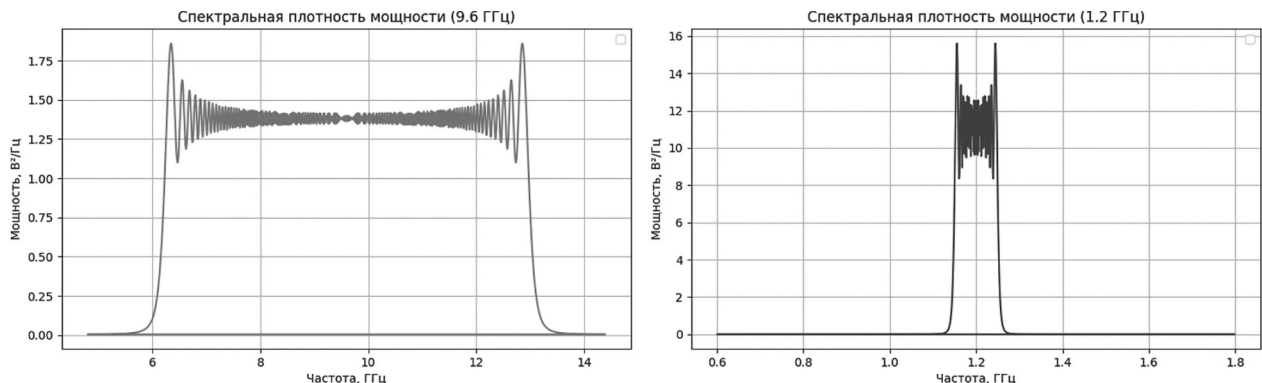


Рис. 6. Графики спектральной плотности мощности двух сигналов

На третьем этапе необходимо определить кросс-спектральную плотность двух сигналов согласно формуле (1).

На рис. 7 представлен график кросс-спектральной плотности.

Основная энергия сигнала сосредоточена в диапазоне частот около 9,6 ГГц, что характерно для широкополосного сигнала. Это подтверждает, что два анализируемых сигнала имеют общую корреляцию в данном частотном диапазоне. Максимальная амплитуда кросс-спектральной плотности достигает 4 В, что указывает на высокую степень когерентности между сигналами на этой частоте.

Производным от функции когерентности (2) является квадрат модуля когерентности (КМК). Зная кросс-спектральную плотность, можно определить КМК [4]:

$$C_{xy}(f)^2 = \frac{|S_{xy}(f)|^2}{S_{xx}(f)S_{yy}(f)}.$$

КМК указывает на степень взаимосвязи между сигналами с точки зрения энергии на частоте [5].

На основе КМК рассчитываются весовые коэффициенты:

$$\alpha(f) = \frac{C_{xy}(f)S_{xx}(f)}{\tilde{N}_{xy}(f)^2 S_{xx}(f) + S_{yy}(f)};$$

$$\beta(f) = \frac{C_{xy}(f)S_{yy}(f)}{\tilde{N}_{xy}(f)^2 S_{xx}(f) + S_{yy}(f)}.$$

Весовые коэффициенты используются для взвешенного объединения сигналов на основе их

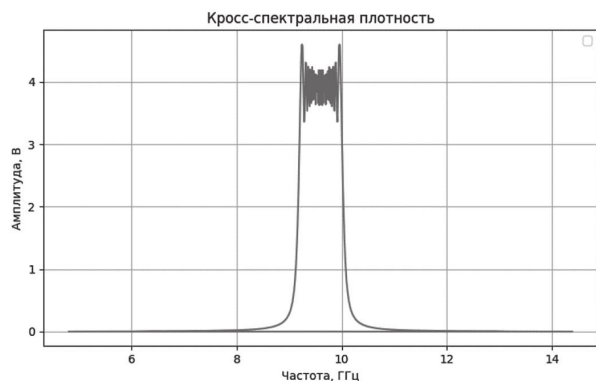


Рис. 7. График кросс-спектральной плотности сигналов

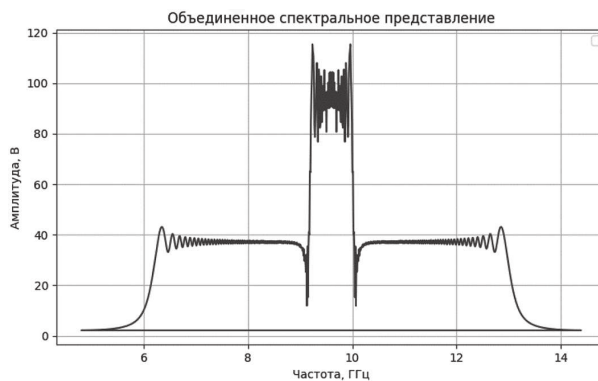


Рис. 8. График итогового сигнала в частотной области

КМК. Они позволяют учесть степень когерентности сигналов на каждой частоте [8].

Зная весовые коэффициенты, можно получить итоговое выражение для результирующего сигнала в частотной области:

$$Z(f) = \alpha(f)X(f) + \beta(f)Y(f).$$

График результирующего сигнала в частотной области представлен на рис. 8.

Объединенный сигнал охватывает широкий диапазон частот от 6 ГГц до 14 ГГц, с основной энергией, сосредоточенной в районе 9,6 ГГц, что соответствует частоте максимальной мощности обоих исходных сигналов. Это широкий спектр, который может быть полезен для улучшения пространственного разрешения систем ДЗЗ.

В области между 9 и 10 ГГц наблюдаются резкие провалы в амплитуде, что может быть

связано с фазовыми сдвигами или частотными разностями между двумя сигналами. Эти провалы могут указывать на несогласованность фаз между исходными сигналами, что требует дополнительного анализа.

Выполнив обратное преобразование Фурье, можно получить результирующий сигнал во временной области:

$$\dot{s}_{12}(t) = F^{-1}(Z(f)).$$

Полученный сигнал также описывается своими синфазными и квадратурными составляющими.

График результирующего сигнала во временной области представлен на рис. 9.

Цифрой 1 на рис. 9 обозначена синфазная составляющая итогового сигнала. Цифрой 2 — квадратурная составляющая сигнала.

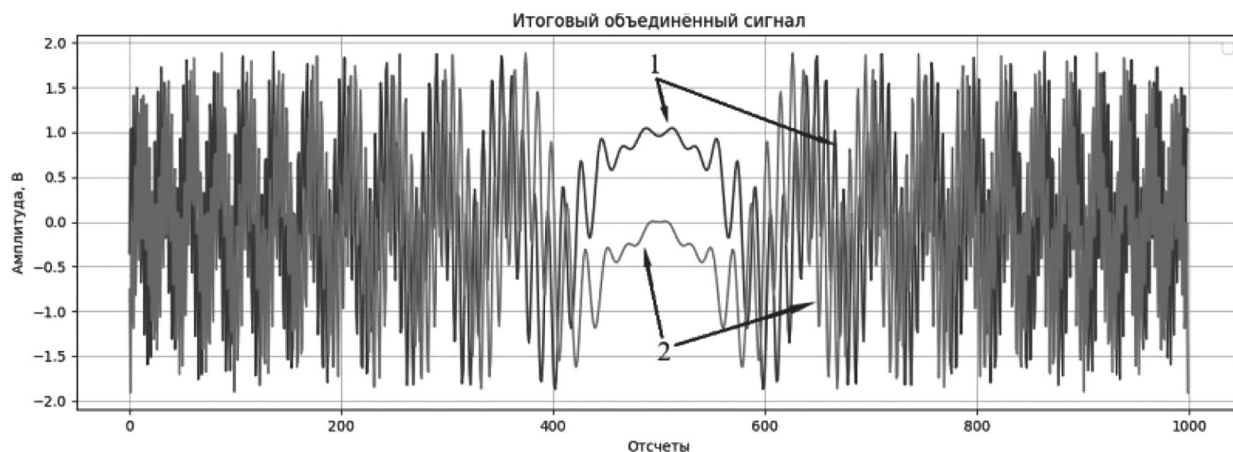


Рис. 9. График результирующего сигнала

Вывод

В статье рассмотрен и описан перспективный подход комплексирования сигналов методом кросс-спектрального анализа. Реализация подобных алгоритмов позволит решать комплексные задачи в сфере активной радиолокации, а именно в средствах дистанционного зондирования Земли. Кросс-спектральный метод является ключевым инструментом в комплексировании данных активных радиолокационных систем. Он обеспечивает высокую точность и надежность анализа, способствует решению задач интеграции данных из различных источников и улучшению технологий дистанционного зондирования. Однако реализация данного метода требует больших вычислительных мощностей для выполнения сложных математических операций, таких как быстрое преобразование Фурье, кросс-корреляция и когерентное накопление [9]. Это приводит к высокой вычислительной нагрузке на оборудование, особенно при обработке больших объемов данных. Для выполнения этих вычислений в реальном времени необходимы мощные процессоры или специализированные FPGA, что увеличивает стоимость и сложность системы.

Список источников

1. Michael Inngs. Synthetic Aperture Radar during the 50 Years of the Aerospace and Electronic Systems Society // IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine. Vol. 38, edition 1. Pp. 22–31.
2. Костров В.В., Криштопов А.В., Толстов Е.Ф., Цветков О.Е. Анализ возможностей

двухчастотного космического РСА X и Р диапазонов / Всероссийские открытые Армандовские чтения // Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн, 2019. Муром: Муромский институт (филиал) ВГУ им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, 2019. С. 371–383.

3. Потапов А.А., Кузнецов В.А., Аликулов Е.А. Анализ способов комплексирования изображений, формируемых многодиапазонными радиолокационными станциями с синтезированной апертурой // Известия вузов России. Радиоэлектроника. 2021. Т. 24. № 3. С. 6–21.

4. Столбов М.Б. Основы анализа и обработки речевых сигналов. СПб.: НИУ ИТМО, 2021. 101 с.

5. Лихачев В.П., Купряшкин И.Ф., Рязанцев Л.Б. Малогабаритные многофункциональные РЛС с непрерывным частотно-модулированным излучением. М.: Радиотехника, 2020. 279 с.

6. Cumming I.G., Wong F.H. Digital data processing by synthesized radar aperture: Algorithms and implementation. Boston, London: 436 p.

7. Верба В.С., Неронский Л.Б., Турук В.Э. Перспективные технологии цифровой обработки радиолокационной информации космических РСА: монография под общ. ред. члена-корреспондента Российской академии наук В.С. Вербы. М.: Радиотехника, 2019. 416 с.

9. Доросинский Л.Г., Виноградова Н.С. Теория и практика формирования и обработки радиолокационных изображений: учеб.-метод. пособие. Екатеринбург, 2021. 232 с.

10. Robert Wang, Yunkai Deng. Bistatic SAR System and Signal Processing Technology. Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2018. 286 p.

УДК 623.592

doi: 10.53816/20753608_2025_2_86

**ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ И ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ,
ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К СОВРЕМЕННЫМ ТРЕНАЖЕРАМ
ДЛЯ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ**

**THE PRINCIPLES OF DEVELOPMENT AND THE MAIN TECHNICAL
REQUIREMENTS FOR MODERN SIMULATORS FOR WEAPONS
AND MILITARY EQUIPMENT**

По представлению академика РАН Б.А. Белобрагина

В.Н. Филиппов¹, А.А. Саулин¹, Д.А. Смирнов², О.В. Чукова²

¹Тульский государственный университет, ² Тулаточмаиш

V.N. Filippov, A.A. Saulin, D.A. Smirnov, O.V. Chukova

В статье обобщены основные технические требования и принципы разработки, предъявляемые к современным тренажерам вооружения и военной техники (ВВТ), также представлен системный подход к созданию тренажеров и проанализированы основные требования, позволяющие достичь наибольшей эффективности при проведении обучения личного состава при подготовке к выполнению боевых задач.

Ключевые слова: тренажер, ВВТ, экипаж, боевая машина, динамическая платформа, обучаемый, расчет.

The article summarizes the basic technical requirements and development principles for modern armaments and military equipment (AME) simulators, also presents a systematic approach to creating simulators and analyzes the basic requirements for achieving maximum efficiency in training personnel in preparation for combat missions.

Keywords: simulator, AME, crew, combat vehicle, dynamic platform, trainee, calculation.

Современные тренажеры для ВВТ представляют собой совокупность сложных программно-аппаратных систем, которые при правильном подходе к их применению позволяют добиться наибольшей эффективности при проведении обучения личного состава, а также значительно снизить затраты на обучение.

Тренажер для вооружения и военной техники — это техническое средство профессиональной подготовки, функционально имитирующее образец вооружения, предназначенное для формирования (совершенствования, восстановления)

у обучаемых профессиональных знаний, навыков и умений, необходимых им для эксплуатации и управления образцом вооружения (решения задач в ходе совместных действий), путем многократного выполнения (имитации выполнения) обучаемыми действий, свойственных управлению реальным образцом, отвечающее требованиям методик подготовки, реализующее модель системы «человек — машина» и обеспечивающее контроль качества деятельности обучаемого [1, 2].

В основе качественной разработки тренажеров для вооружения и военной техники, как,

впрочем, и в разработке других изделий, лежат правильно сформированные и установленные технические требования на их разработку, играющие важнейшую роль в определении структуры, облика, методологии построения и функциональных возможностей разрабатываемого тренажера.

Оптимизация технических требований на начальном этапе выполнения работ может значительно повысить качество полученных в результате разработки изделий, добиться снижения стоимости за счет отказа от нецелесообразного, устаревшего функционала и обеспечить соответствие их характеристик требованиям эксплуатирующих организаций [3].

Тренажеры для вооружения и военной техники применительно к решаемым задачам и назначению можно разделить на три группы:

- индивидуальные тренажеры, предназначенные для изучения приемов пользования оборудованием и органами управления, находящимися на рабочих местах членов экипажей (расчетов) боевых машин;

- экипажные тренажеры, предназначенные для подготовки членов экипажей (расчетов) боевых машин вождению, решению огневых задач, а также слаживанию экипажа (расчета);

- тактические тренажеры, предназначенные для проведения занятий по тактической подготовке с подразделениями в пунктах постоянной дислокации, центрах боевой подготовки и являющиеся совокупностью тренажерных средств, сопряженных в единое виртуальное поле боя и способных действовать в единой тактической обстановке для подготовки подразделений к выполнению боевых задач.

Индивидуальные тренажеры в зависимости от решаемых задач можно разделить на две подгруппы:

- процедурные, использующие для имитации органов управления и приборов рабочих мест обучаемых — видеомониторы (графические дисплеи) и игровые манипуляторы (контроллеры);

- натурные, использующие для обучения полнофункциональные имитаторы органов управления и приборов рабочих мест обучаемых, полностью повторяющие их внешний вид и взаимное расположение в боевой машине.

Экипажные тренажеры в зависимости от решаемых задач можно разделить на две подгруппы:

- тренажеры экипажа боевой машины (расчета), позволяющие обучать одновременно всех членов экипажа боевой машины или расчета;

- тренажеры для совместного обучения отдельных членов экипажа боевой машины (расчета), позволяющие обучать совместным действиям определенных членов экипажа боевой машины (расчета), например экипаж боевого отделения (командир и наводчик) или заряжающих артиллерийских систем.

По условиям эксплуатации тренажеры делятся на:

- классные, предназначенные для эксплуатации в условиях учебного класса;

- полевые, размещенные на шасси автомобиля или прицепа и установленные в крытых кузовах-контейнерах или фургонах, предназначенные для эксплуатации в условиях полигонов, на заранее подготовленной и не подготовленной местности.

Также существуют классно-полевые тренажеры, позволяющие проводить занятия как в условиях учебного класса, так и в полевых условиях.

При разработке тренажеров для вооружения и военной техники целесообразно руководствоваться следующими принципами, соблюдение которых обеспечивает системный подход при создании тренажеров:

- применение модульного принципа при построении тренажеров и максимальной унификации примененных технических решений, комплектов, материалов и подходов позволит сократить сроки разработки изделий, улучшить функциональные возможности и в дальнейшем упростить сервисное обслуживание при одновременном снижении стоимости и повышении надежности изделий;

- использование современной системы визуализации с трехмерными моделями высокого разрешения, технологиями вершинных и пиксельных шейдеров, высоко детализированными полигонами и фотореалистичным текстурированием позволит добиться значительного «эффекта присутствия» для обучаемых;

- все составные части тренажеров должны быть технически и информационно совместимы между собой. Это позволит создавать более

сложные технические средства путем стыковки отдельных элементов и тренажеров в целом в единый комплекс, соответствующий реальному комплексу вооружения;

- все составные части тренажеров должны быть разработаны с учетом возможных изменений их функционирования в течение срока эксплуатации изделия;

- при разработке каждого нового тренажера необходимо учитывать опыт проектирования и эксплуатации ранее созданных изделий. Новое изделие должно без значительных изменений вписываться в существующую систему профессиональной подготовки как методически, так и конструктивно;

- имитаторы оборудования, входящие в состав тренажеров, должны либо соответствовать реальным приборам, либо реализовываться на самом тренажере в виде модели (макета). Содержание учебного материала, представляемого обучаемому, должно соответствовать боевым документам, регламентирующим процесс боевой подготовки;

- применение динамических платформ на базе мотор-редукторов с цифровым управлением позволит добиться достаточной степени соответствия динамических нагрузок на рабочих местах обучаемых тем нагрузкам, которые возникают в реальной боевой машине;

- использование модульного программного обеспечения в тренажерах позволит обеспечить удобство и простоту эксплуатации, а также широкие сетевые возможности по объединению тренажеров в единую сеть.

Учитывая изложенные принципы построения тренажеров, к основным техническим требованиям, предъявляемым к современным тренажерам для вооружения и военной техники, могут быть отнесены:

- унифицированное программное обеспечение и унифицированная система визуализации фоно-целевой обстановки;

- унифицированное рабочее место инструктора;

- унифицированная динамическая платформа;

- унифицированные конструкторско-технологические подходы;

- модульность построения тренажеров;

- возможность объединения тренажеров в единую сеть для обеспечения тактической подготовки на едином виртуальном поле боя [4–7].

Применение при разработке тренажеров для вооружения и военной техники унифицированного программного обеспечения и унифицированной системы визуализации фоно-целевой обстановки позволит:

- сократить время на разработку нового программного обеспечения;

- обеспечить совместимость между отдельными элементами программного обеспечения в условиях их применения в изделии в целом;

- уменьшить финансовые затраты на всех стадиях жизненного цикла изделия;

- упростить эксплуатацию изделия обслуживающим персоналом и обучаемыми за счет единых интерфейсов программного обеспечения;

- повысить информационную безопасность;

- применять унифицированные базы данных и систему оценки действий обучаемых, генерировать единую для различных тренажеров фоно-целевую обстановку.

Применение унифицированного рабочего места инструктора позволит:

- повысить эффективность обучения за счет стандартизации методик;

- сократить расходы на оборудование и программное обеспечение за счет использования одинаковых программно-технических средств;

- повысить профессионализм инструкторов за счет единых стандартов работы и методик обучения.

Использование унифицированной динамической платформы позволяет снизить затраты на производство за счет уменьшения количества различных деталей и оптимизации процесса сборки, упрощает процесс эксплуатации, обслуживания и ремонта изделий, так как замена или ремонт деталей становится более быстрым и удобным, а эксплуатирующему персоналу не нужно изучать разнотипные динамические платформы.

Единые (унифицированные) конструкторско-технологические решения позволяют:

- упростить процесс проектирования благодаря использованию единых конструкторско-технологических решений, то есть не нужно разрабатывать каждый компонент изделия отдельно, что ускоряет процесс разработки и снижает риски ошибок;

- оптимизировать использование сырья, материалов и комплектующих, что ведет к уменьшению себестоимости;

– создавать более совершенные и надежные изделия, так как все составные части будут взаимосвязаны и соответствовать общей концепции;

– оптимизировать процессы сборки и монтажа изделий, что уменьшает технологический цикл производства и повышает производительность [8].

Тренажеры, построенные по модульному принципу, позволяют в короткие сроки на основе базовой конфигурации тренажера создавать различные варианты его исполнения (обучения вождению, огневой подготовки, динамические, статические, контейнерные) за счет комбинирования различных модулей, входящих в состав базового тренажера.

Объединение различных тренажеров в единую сеть для обеспечения тактической подготовки на едином виртуальном поле боя позволит:

– повысить качество отрабатываемых задач за счет большего количества «реальных» участников тренировки;

– отрабатывать тактические приемы при взаимодействии с другими экипажами (подразделениями), в ходе которых могут отрабатываться конкретные боевые задачи;

– повысить интенсивность и разнообразность проводимых занятий.

Также при разработке тренажеров целесообразно предусмотреть применение композитных материалов и аддитивных технологий. Их использование позволит:

– увеличить механическую прочность, коррозионную стойкость и снизить вес отдельных составных частей тренажеров;

– уменьшить количество отходов и энергозатрат на производство, что способствует уменьшению негативного воздействия на окружающую среду;

– улучшить дизайн и внешний вид тренажеров за счет создания сложных форм и структур, которые при использовании традиционных методов производства было бы трудно или невозможно произвести [9].

Таким образом, реализация рассмотренных принципов построения тренажеров и технических требований при их разработке позволит

достичь наибольшей эффективности при проведении обучения личного состава, своевременно и качественно обеспечить выполнение задач боевой подготовки.

Список источников

1. Современное состояние и перспективы развития, роль и место комплексных тактических тренажеров для подготовки формирований Сухопутных войск (Береговых войск ВМФ, Воздушно-десантных войск): сборник материалов круглого стола. М.: Общевоинская академия ВС РФ, 2021. 74 с.

2. Концепция развития учебно-тренировочных средств (тренажеров) Вооруженных Сил Российской Федерации до 2027 года. М.: МО РФ, 2018. 48 с.

3. Сборник трудов Всероссийской научно-теоретической конференции «Концептуальные вопросы развития учебно-тренировочных средств»; под ред. Р.В. Петухова. М.: ФГБУ «21 НИИИ ВАТ», 2024. 146 с.

4. Трехступенная динамическая платформа: пат. 174200 Рос. Федерация. № 2017114803; заявл. 26.04.2017; опубл. 06.10.2017, Бюл. № 28. 11 с.

5. Динамический тренажер для обучения и подготовки боевого расчета бронетранспортера: пат. 2771840 Рос. Федерация. № 2021130518; заявл. 05.02.2021; опубл. 12.05.2022, Бюл. № 14. 21 с.

6. Учебный имитатор боевого средства: пат. 2773419 Рос. Федерация. № 2021123714; заявл. 28.07.2021; опубл. 03.06.2022, Бюл. № 16. 14 с.

7. Динамический тренажер вождения танка: описание полезной модели к патенту 174171 Рос. Федерация. № 2017113317; заявл. 17.04.2017; опубл. 05.10.2017, Бюл. № 28. 13 с.

8. Лискин В.М. Разработка и производство учебно-тренировочных средств для боевых расчетов, эксплуатирующих вооружение и военную технику ПВО. М.: НО «Ассоциация «Лига содействия оборонным предприятиям», 2011. 504 с.

9. Сигитов В.В., Соколов В.Н. Тренажеры ЦКБА. Тула: Гриф и К., 2009. 60 с.

УДК: 662.7

doi: 10.53816/20753608_2025_2_90

**ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ
ТРАНСПОРТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ЭНЕРГОЕМКИХ ТОПЛИВАХ
В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ И КРАЙНЕГО СЕВЕРА**

**PROBLEMS OF ENSURING RELIABLE OPERATION OF TRANSPORT ENGINES
USING ENERGY-INTENSIVE FUELS IN THE ARCTIC AND THE FAR NORTH**

*Чл.-корр. РАН Л.С. Яновский, А.И. Гулиенко, В.В. Разносчиков,
И.С. Аверков, А.М. Стольников*

Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова

L.S. Yanovsky, A.I. Gulienko, V.V. Raznoschikov, I.S. Averkov, A.M. Stolnikov

Исследовано влияния свойств высоковязких топлив на характеристики агрегатов топливной системы в авиационных двигателях. Показано, что основной проблемой при эксплуатации системы является обеспечение работоспособности при низких температурах. Определена структура топливной системы, которая строится как двухтопливная, и запуск двигателя производится на маловязком топливе.

Ключевые слова: топливная система, двухтопливная система, вязкость топлива, системы подачи топлив, агрегаты топливной системы.

The influence of the properties of highly viscous fuels on the characteristics of fuel system units in aircraft engines has been investigated. It is shown that the main problem in the operation of the system is to ensure operability at low temperatures. The structure of the fuel system has been determined, which is being built as a dual-fuel system, and the engine is started on low-viscosity fuel.

Keywords: fuel system, dual-fuel system, fuel viscosity, fuel supply systems, fuel system units

Введение

В работах [1–4] показаны перспективы применения в авиации, а также в наземной и морской технике энергоемких топлив в виде суспензий (угольной, алюминиевой и др.). Однако широкое внедрение этих топлив может быть реализовано лишь при организации эффективного рабочего процесса в камерах сгорания двигателей, как поршневых, так и газотурбинных, во всей области эксплуатации, создании надежных систем подачи и регулирования, решении токсикологических задач при стендовой отработке двигателей и др.

Высокоэнергетические топлива по своим эксплуатационным свойствам отличаются от применяемых в настоящее время топлив (керосин, дизтопливо и др.) прежде всего величиной вязкости, и это отличие весьма заметно проявляется при низких отрицательных температурах в условиях эксплуатации в районах Арктики и Крайнего Севера, когда суспензия становится неньютоновской жидкостью с аномальной сверхвысокой вязкостью (пластическое состояние). При неньютоновском течении значительно снижается пропускная способность трубопроводов, увеличивается энергопотребление агрегатов и др. Это ставит ряд сложных научно-технических

задач, связанных с обеспечением функционирования агрегатов в широком диапазоне температур с примерно теми же энергозатратами, что и на штатных топливах. Решение этой проблемы путем увеличения диаметра трубопроводов, снижения частоты вращения насосов и их переразмеривания в транспортных двигателях неприемлемо, так как приведет к существенному увеличению их массы.

Проведенный комплекс расчетно-экспериментальных исследований показал, что использование принципа двухтопливной организации рабочего процесса в камерах сгорания позволяет создать эффективные системы подачи и регулирования высоковязких топлив [3, 4]. При таком подходе запуск поршневого (ПД) или газотурбинного двигателя (ГТД) проводится на маловязком топливе (керосине), а на основном режиме осуществляется переход на высоковязкое, например суспензионное, топливо. При останове производится обратный переход на керосин. Двухтопливность при организации подачи высоковязких топлив позволит избежать таких нежелательных операций, как предпусковой разогрев агрегатов и трубопроводных коммуникаций системы. При этом величина вязкости основного топлива уменьшается до приемлемых значений 40–60 сСт, что обеспечит бесперебойную подачу и распыливание топлива в камерах сгорания с существенно меньшим выбросом несгоревшего топлива или твердого наполнителя суспензии в атмосферу.

Приведены результаты расчетно-экспериментальных исследований и даются рекомендации по рациональным схемным решениям применительно к поршневым и газотурбинным двигателям, эксплуатируемым в условиях Арктики и Крайнего Севера. Излагаются методические вопросы проведения экспериментальных исследований систем на высоковязких топливах.

Особенности теплофизических характеристик высоковязких топлив

Потребности увеличения радиуса действия или полезной нагрузки летательных аппаратов (ЛА), а также наземной и морской техники с ПД или ГТД приводят к необходимости перехода на энергоемкие топлива, которые, как факт, оказываются высоковязкими. Это, в первую очередь,

суспензионные топлива (суспензии), основными компонентами которых являются штатные углеводородные топлива, например керосин, дизтопливо, и дисперсная фаза, например порошок углерода или металла. Для улучшения седиментационной стабильности таких суспензий добавляют специальные присадки. Подобные рецептуры позволяют значительно увеличить массовую и объемную теплотворную способность суспензий по сравнению с обычными топливами. Однако их использование связано с определенными трудностями, обусловленными спецификой теплофизических (вязко-пластических) свойств.

Прежде всего, к таким свойствам следует отнести повышенную и аномальную вязкости при низких отрицательных температурах [5, 6]. Этот факт заставляет рассматривать суспензии как не-newтоновские жидкости, которые к тому же имеют малую текучесть, оптически непрозрачны, обладают практически мгновенной тиксотропией [7], и поэтому их обычно называют суспензионными тиксотропными горючими (СТГ).

К другому важному свойству СТГ следует отнести седиментационную нестабильность (неустойчивость) ее состава в поле внешних сил, т.е. неравномерность и нестабильность ее плотности во времени и пространстве (по объему, длине и диаметру). Возможность расслоения суспензии на жидкую и дисперсную фазы будет во многом определять работоспособность агрегатов топливной аппаратуры. Отложения твердой фазы приведут к засорению трубопроводов, отказам отдельных элементов и агрегатов топливной аппаратуры, а также к появлению опасной неравномерности температурного поля при сгорании. Обеспечение седиментационной стабильности достигается введением специальных присадок, однако оценка их эффективности требует исследований с воспроизведением реальных условий эксплуатации, в частности виброн нагружений с параметрами, характерными для работающих двигательных установок (ДУ).

Отмеченные особенности вязкопластических свойств рассмотрим на примере угольной суспензии СТГ-С, основой которой является топливо Т-6 (36 %), с содержанием дисперсной фазы (технического графита ТГ-10) — 61 % и диспергатора 3 %; дисперсность частиц ТГ-10 — до 10 мкм (табл. 1). Топливо Т-6 имеет аномальную вязкость в

Таблица 1

Вязкопластические свойства топлива Т-6 и СТГ-С

Показатель	Размерность	Т-6	СТГ-С
Плотность при 293 К	кг/м ³	841,1	1170
Кинематическая вязкость при 293К	сСт	4,17	90,4
Скорость звука	м/с	1325	1210
Удельная теплоемкость	кДж/кг/К	1,95	1,45

интервале температур 213...263 К при давлении 0,1МПа [8, 9]. Введение дисперсной фазы (> 60 %) приводит к появлению эффекта аномальной вязкости уже при температуре 293 К.

На рис. 1 приведены графики зависимости вязкости η от напряжения сдвига τ_w для Т-6 и СТГ. Видно, что с увеличением механической нагрузки значения коэффициента η уменьшаются, что говорит о разрушении псевдопластичной структуры топлива и переходе к ньютоновскому течению. Область ньютоновского течения жидкости на рис. 1 находится справа от знака «•». При одной и той же температуре величина вязкости для суспензии выше, чем для топлива.

Анализ влияния вязкости топлив на характеристики агрегатов

Как показано в работах [5–7], нефтяные топлива и суспензии на их основе при определенных температурах становятся неньютонов-

скими жидкостями и характеризуются существенной зависимостью вязкости от напряжения сдвига. В связи с этим их использование связано с определенными трудностями, т.к. реологические свойства указанных топлив могут привести к заклиниванию золотниковых пар и перепускных клапанов, значительному снижению пропускной способности фильтров, уменьшению коэффициента полезного действия качающих узлов и др.

В отечественных и зарубежных работах, посвященных исследованию влияния вязкости на характеристики агрегатов систем топливопитания, много внимания уделяется определению коэффициента гидравлического сопротивления λ и массово-энергетических характеристик насосов при переходе с керосина на высоковязкие топлива. При этом устанавливаются условия соответствия течения вязкого неньютоновского топлива модели идеального течения, чтобы проводить расчеты гидравлических потерь по формулам для ньютоновских жидкостей [6–8].

В работах последних лет отмечается интенсивное накопление фактов, относящихся к исследованию влияния механических воздействий на реологические свойства суспензий [6], когда наблюдается уменьшение эффективной вязкости, а следовательно, и уменьшение коэффициента гидравлического сопротивления.

Вязкостные и реологические свойства обычно характеризуются реологическими кривыми течения, которые устанавливают зависимость между градиентом скорости течения (скоростью деформации $\dot{\gamma}_w$) и величиной внешних воздействий (напряжением деформации τ_w). При этом для ньютоновской жидкости (рис. 2) скорость деформации пропорциональна напряжению деформации (напряжению сдвига).

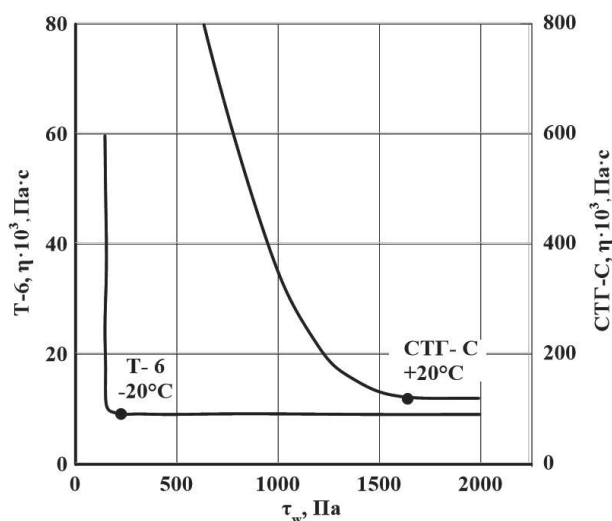


Рис. 1. Зависимости вязкости топлив от напряжения сдвига

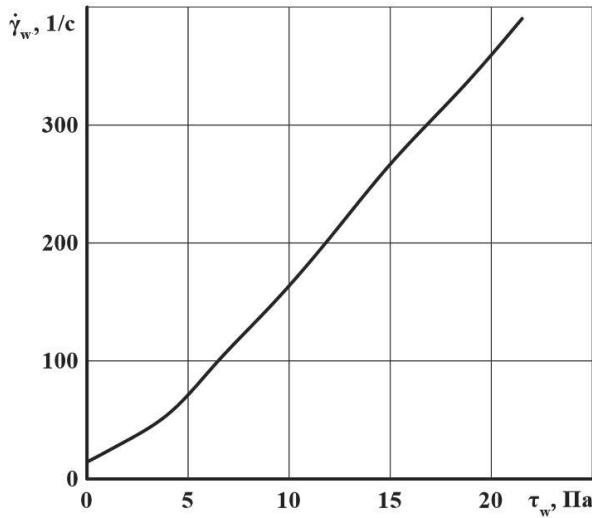


Рис. 2. Экспериментальная кривая течения топлива T-6

Обработка экспериментальных данных показывает, что для труб круглого сечения реологические кривые течения наиболее достоверно описываются моделью Шульмана [6, 8] с эмпирическими коэффициентами n и m :

$$(\tau_w)^{1/n} = (\tau_o)^{1/n} + (\eta \cdot \gamma_w)^{1/m}, \quad (1)$$

где τ_o — предел текучести; $\gamma_w = 2 \cdot U_{cp} / R_r$; R_r — гидравлический радиус трубы [9]; U_{cp} — средняя скорость течения жидкости.

Определение касательных напряжений для ньютоновской жидкости в круглых трубах обычно производится по формуле Дарси — Вейсбаха [10]:

$$\tau_w = \lambda \cdot \rho \cdot U_{cp}^2 / 8, \quad (2)$$

где λ — коэффициент гидравлического сопротивления; ρ — плотность.

Подставляя выражение (1) в (2), с учетом того, что для обычных топлив предел текучести τ_o обычно равен нулю, и вводя обозначение $i = n/m$, получим выражение для коэффициента гидравлического сопротивления:

$$\lambda = \frac{8 \cdot 2^i \cdot \eta^i}{\rho \cdot U_{cp}^{2-i} \cdot R_r} = \frac{8}{Re^*}, \quad (3)$$

где

$$Re^* = \frac{\rho \cdot U_{cp}^{2-i} \cdot R_r}{2^i \cdot \eta^i}.$$

Выражение (3) позволяет при наличии экспериментальных кривых течения высоковязких топлив рассчитать коэффициент гидравлического сопротивления и местные потери в трубопроводе. Для этого прежде всего необходимо по реальной кривой течения для конкретной температуры определить параметр i , например путем логарифмирования уравнения:

$$i = \frac{n}{m} = \frac{\ln(\tau_w)}{\ln(\eta \cdot \gamma_w)}.$$

При увеличении напряжения сдвига значение параметра i стремится к единице, что свидетельствует о постепенном разрушении реологической структуры, т.е. при $i = 1$ топливо приобретает свойства ньютоновской жидкости. С уменьшением величины i уменьшается величина Re , увеличивается величина λ и, соответственно, растут потери давления.

Экспериментальные и расчетные данные показывают, что при характерных для транспортных двигателей расходах топлива переход на суспензию сопровождается увеличением потерь давления на трение в трубопроводах в 3–5 раз и более, что приводит к увеличению в том же соотношении и величины потребляемой мощности насоса для прокачки суспензии.

Экспериментальные исследования характеристик центробежных насосов ГТД на высоковязких топливах показывают, что величина напора P_n и пропускная способность снижаются на 10–20 % (уменьшается величина расхода Q_n) (рис. 3) [11].

Увеличивается также потребляемая мощность в подшипниках опор насоса, так как момент трения в шарикоподшипниках определяется как сумма момента M_0 , возникающего от гидродинамических потерь в смазке и зависящего от типа подшипника и вязкости смазки, и момента M_1 , зависящего от нагрузки на подшипник, деформации и проскальзывания в площадке контакта тел качения [13]:

$$M_0 = 10^{-7} \cdot f_0 \cdot (v \cdot n)^{2/3} \cdot D_o^3;$$

$$v \cdot n \geq 2000, \text{ (Н} \cdot \text{мм)};$$

$$M_1 = f_1 \cdot g_1 \cdot p_{экр} \cdot D_o,$$

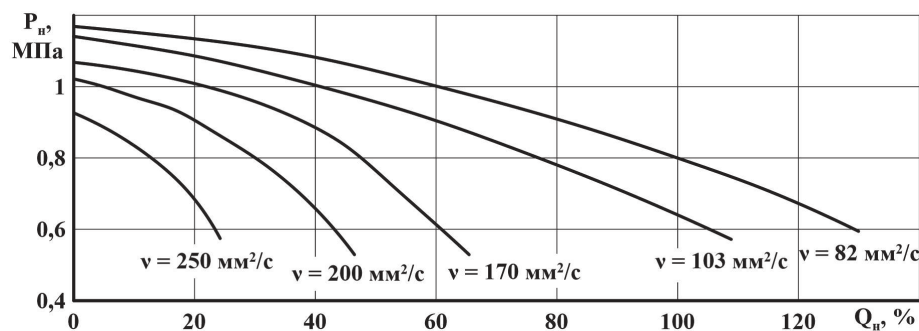


Рис. 3. Расходные характеристики насоса на вязком топливе

где ν — кинематический коэффициент вязкости, мм²/с;

n — частота вращения, 1/мин;

f_0 и f_1 — коэффициенты, зависящие от типа подшипника, $f_1 = 0,0009 \cdot (P_{\text{эвб}}/4500)^{0,55}$;

D_o — средний диаметр, мм;

g_1 — коэффициент, зависящий от соотношения радиальной R_r и осевой R_o нагрузок, воспринимаемых подшипником.

Для примера рассчитаем величину потери мощности на трение

$$N_{\Pi} = (M_0 + M_1) \cdot \frac{m}{9550}$$

ротора насоса на двух опорах с подшипниками диаметрами 25 и 31 мм на режиме работы 80000 об/мин. При величине вязкости 10 сСт величина мощности равна:

$$N_{\Pi} = \frac{80,000}{9550} \cdot \left[10^{-4} \cdot (10 \cdot 80000)^{2/3} \cdot (25^3 + 31^3) + 0,9 \cdot (5,64 / 3550)^{0,55} \cdot 5,13 \cdot 25 + \right. \\ \left. + 0,9 \cdot \left(\frac{253}{4500} \right)^{0,55} \cdot 230,7 \cdot 31 \right] = 0,338 \text{ кВт.}$$

В тех же условиях работы при величине вязкости рабочей среды 2100 сСт величина потери мощности на трение в подшипниках равна 11,589 кВт, т.е. увеличивается в 34 раза.

Таким образом, для транспортных двигателей, в том числе и ГТД, необходимо обеспечивать ньютоновский режим течения при подаче суспензий.

Модельные системы подачи высоковязких топлив

Для проведения экспериментальных работ по прокачиваемости суспензионных топлив был использован стенд, позволяющий испытывать агрегаты подачи и регулирования высоковязких топлив. Основой стенда является автономный бак цилиндрической формы диаметром 700 мм емкостью 40 л (рис. 4). Исследования проведены на:

— суспензии с «мягким» наполнителем в виде углеродных частиц, не обладающих абразивными свойствами (угольная суспензия СТГ-С);

— суспензии с «твердым» наполнителем (алюминиевая суспензия СТГ-А), для исследования влияния твердых частиц на работоспособность агрегатов.

Испытания проведены по «замкнутой» схеме со сливом топлива обратно в бак через один штуцер, при этом топливо сливается «под зеркало».

При испытаниях регистрировались следующие параметры:

— давление P_1, P_2 за насосами;

— температура топлива (температура трубопровода за центробежным насосом) — T_t ;

— ток электродвигателя привода насоса — $I_{\text{дв}}$.

На топливе СТГ-А были проведены ресурсные испытания, при этом время непрерывной работы при испытаниях варьировалось от 2 до 3 часов. Общая наработка системы — 17 часов. Топливо в процессе каждого цикла работы нагревалось от начальной температуры 10–15 °С до 30–35 °С за 2 часа. Величина расхода СТГ-А составляла 0,17–0,2 кг/с при давлении перед дроссельной шайбой 3,3–3,0 кг/см².

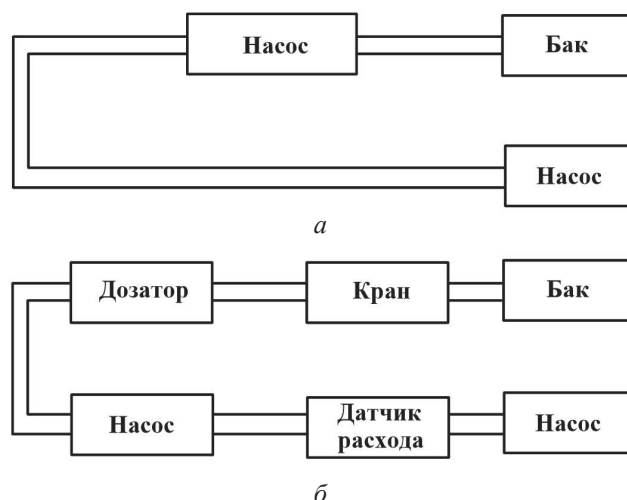


Рис. 4. Схемы и состав агрегатов при испытаниях на суспензиях:
а — на СТГ-А; б — на СТГ-С

В табл. 2 приведены величины параметров при работе на керосине и СТГ-А.

Из табл. 2 видно, что при переходе на СТГ-А увеличились величины давления за насосами и увеличилось энергопотребление. Рост давления происходил как за счет увеличения напора насоса из-за большей плотности СТГ-А, так и за счет увеличения потерь давления в трубопроводах. По мере роста температуры топлива величина давления немного увеличилась, а энергопотребление снизилось.

В табл. 3 приведены значения параметров системы на СТГ-А при температуре 34 °С в процессе ресурсной наработки.

В процессе всего цикла наработки насосы функционировали без замечаний и прокачка топлива была устойчивой. После 17 часов наработки испытания были приостановлены для проведения промежуточного осмотра состояния агрегатов.

При испытаниях на угольной суспензии в системе сразу же начались отказы. Насос после 2–3 минут работы не обеспечивал требуемый по программе расход топлива. При запуске системы шестеренный насос работал неустойчиво с бросками по давлению на выходе и с забросами и колебаниями силы тока электропривода.

Следует также отметить факт забивания суспензией измерительных трубок манометров, при

Таблица 2

Параметры работы керосина и СТГ-А

$T_{\text{т}}, \text{C}$	Керосин			СТГ-А		
	$P_1, \text{кг/см}^2$	$P_2, \text{кг/см}^2$	$I_{\text{дв}}, \text{А}$	$P_1, \text{кг/см}^2$	$P_2, \text{кг/см}^2$	$I_{\text{дв}}, \text{А}$
16	1,6	2,5	2,5	1,90	3,10	3,8
28	1,6	2,5	2,5	1,94	3,20	3,7
34	1,6	2,5	2,5	1,98	3,25	3,5
37	1,6	2,5	2,5	2,00	3,30	3,5

Таблица 3

Параметры системы на СТГ-А в процессе ресурсной наработки

Наработка	2 ч 30 м	2 ч 00 м	2 ч 00 м	3 ч 15 м	2 ч 30 м	2 ч 58 м	2 ч 00 м
$P_1, \text{кг/см}^2$	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
$P_2, \text{кг/см}^2$	3,3	3,0	3,2	3,0	3,0	3,0	3,0
$I_{\text{дв}}, \text{А}$	3,5	3,5	3,5	3,0	3,0	3,0	3,6

Таблица 4

Наработка агрегатов топливной системы

Наименование агрегата	Наработка	Замечания
Насос центробежный	60 час	Нет
Насос шестеренный	60 час	Перебой на запуске
Гидромеханический дозатор топлива	10 мин	Не работоспособен
Трубопроводы	60 час	Нет
Турбинный расходомер	5 мин	Не работоспособен
Манометры	нет	Не работоспособен

этом они и после окончания испытания показывали высокое давление — 6 МПа. При переходе на суспензию происходило снижение напора насоса на ~10 %. Сведения о наработке агрегатов системы приведены в табл. 4.

Таким образом, проливки типовых топливорегулирующих агрегатов системы автоматического регулирования и топливопитания на суспензионном топливе показали следующее:

- центробежные и шестеренные насосы обеспечивают подачу топлив;
- невозможно использовать для управления расходом топлива традиционные дозаторы, выполненные по гидромеханической схеме;
- на суспензиях даже при положительных температурах топлива наблюдается ухудшение напорных и мощностных характеристик насосов;
- при измерении давления топлива необходимо устанавливать датчики без дополнительных измерительных трубок;
- измерение расхода топлива необходимо проводить оптическими или емкостными датчиками.

При разработке структуры систем управления и конструкции агрегатов подачи суспензионного топлива необходимо учесть выявленные особенности функционирования агрегатов.

Структура и состав агрегатов системы подачи высоковязких топлив

Результаты исследований систем подачи и регулирования на суспензиях показали, что при переходе на суспензионное топливо обеспечивается его прокачиваемость центробежными и шестеренными насосами при положительных температурах окружающей среды [10, 12]. Однако при этом увеличиваются потери давления в тракте топливоподачи и повышается энерго-

потребление насосов для реализации требуемых более высоких значений напора. Поэтому в системах подачи не обойтись без подогрева суспензии, но однозначно дать ответ на основной вопрос — до каких температур ее подогревать на отдельных участках топливоподачи от бака до форсунок камеры сгорания, с учетом необходимости сохранения термостабильности — дать нельзя. Это возможно лишь при комплексной оценке массы агрегатов и коммуникаций системы с учетом введения дополнительных агрегатов и теплоносителей. Такие оценки необходимо делать при проектировании конкретных систем с учетом ожидаемых условий эксплуатации и с оценкой возможности ограниченного использования суспензии как хладагента для охлаждения горячих деталей ГТД.

Проведенные авторами исследования по оценке возможности прокачки суспензионных топлив и расчеты требуемых энергозатрат позволили сформулировать следующие принципы построения систем подачи и регулирования высоковязких топлив, структуру и состав потребных агрегатов.

Структура систем подачи и регулирования должна реализовать:

- управление подачей топлива за счет изменения частоты вращения качающих узлов (насосов) автономным приводом (газовой турбиной, электродвигателем и др.);
- двухтопливность системы, т.е. когда запуск, останов, выход на режим и кратковременная работа производится на обычном топливе (керосине), а для длительной работы на режиме производится переключение на суспензию;
- предварительный разогрев трубопроводов и агрегатов подачи суспензии до температур, обеспечивающих величину вязкости 40–60 сСт, и поддержание этой температуры во всех условиях эксплуатации;

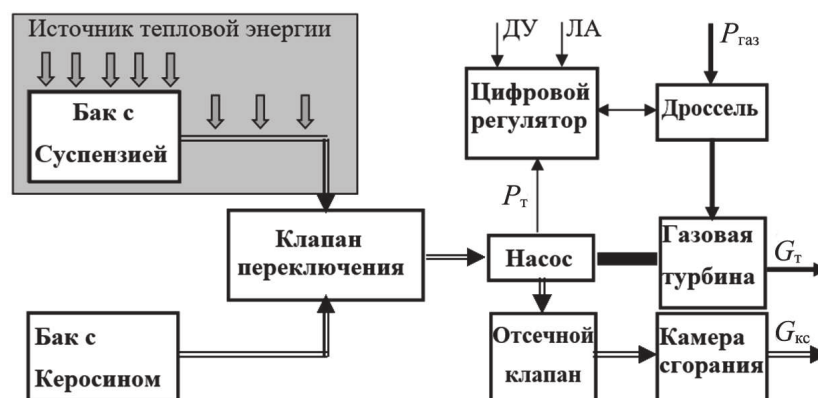


Рис. 5. Принципиальная схема двухтопливной системы подачи

– ограничение верхних пределов температуры топлива из условий обеспечения его термостабильности.

Агрегаты для работы на высоковязких топливах должны выбираться исходя из двух основных требований:

- минимум управляющих и дросселирующих элементов в потоке;
- отсутствие в потоке прецизионных пар, жиклеров, застойных зон и т.п.

Построение систем и агрегатов по этой методологии обеспечивает:

- подачу высоковязких топлив при низких отрицательных температурах окружающей среды;
- требуемый распыл в камерах сгорания во всех условиях эксплуатации;
- улучшение экологических характеристик за счет существенного уменьшения выброса твердого наполнителя суспензии при неоптимальных температурах для горения (на режимах запуска).

На рис. 5 приведена схема системы на основе центробежного насоса с приводом от газовой турбины и цифрового регулятора. Регулятор по сигналам от датчика давления топлива P_T , сигналам от двигательной установки (ДУ) летательного аппарата и транспортного средства определяет потребный для двигателя расход топлива и значение частоты вращения турбины, которые реализуются путем изменения дросселем расхода газа G_T .

В состав необходимых для работы регулятора параметров должны быть включены измеряемые температуры топлива по тракту подачи. Система должна создаваться интегральной и выполнять функции регулирования и управления

процессом разогрева суспензии, поддержания требуемой его температуры и выполнения других технологических операций.

Для построения двухтопливной системы подачи суспензий могут быть использованы прогрессивные технические решения по агрегатам эксплуатируемых двухтопливных систем [7, 8, 11]. Прототипами таких изделий могут быть устройства автоматики газотурбинных двигателей, работающих на природном газе и широко применяемых в качестве силового привода нагнетателей газоперекачивающих узлов.

Разогрев суспензии на работающем двигателе потребует времени и энергозатрат. Поэтому логично реализовать уже апробированный двухтопливный принцип работы ГТД на керосине и газообразных топливах. Использование двухтопливного принципа функционирования ГТД на топливах СТГ+керосин обеспечивает сжигание СТГ в камере сгорания при оптимальных температурах на всех режимах с соответствующими экологическими и энергетическими преимуществами. Без проблем решается вопрос запуска, т.к. он будет проводиться на керосине. Проведенный анализ и экспериментальные работы по оценке работоспособности агрегатов на высоковязком (суспензионном) топливе показывают, что принципиальных трудностей для создания систем подачи и регулирования нет, и необходимо проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы для конкретных изделий.

Выводы

Проведенные экспериментальные исследования различных систем топливоподачи в двигателях

транспортных средств на энергоемких топливах (суспензиях), эксплуатируемых в условиях Арктики и Крайнего Севера, показали следующее.

1. Центробежные и шестеренные насосы обеспечивают прокачку таких топлив.

Для управления расходом топлива невозможно использование транспортных гидромеханических дозаторов, а при прокачке высоковязких топлив даже при их положительной температуре наблюдается ухудшение напорных и мощностных характеристик насосов.

2. Системы подачи и регулирования высоковязких топлив должны быть двухтопливными на основе центробежных насосов с приводом переменной частоты вращения и системы разогрева суспензии до приемлемых величин вязкости. При этом:

- в потоке высоковязкого топлива отсутствуют регулирующие органы, и тракт подачи состоит из проточной части насоса, трубопроводов и клапанов;

- запуск двигателя производится на маловязком топливе (керосине) с последующим переключением на высоковязкое топливо, а перед остановом осуществляется обратный переход на керосин;

- регулирование расхода топлива производится изменением частоты вращения центробежного насоса от автономного привода;

- при работе двигателя на керосине осуществляется электроподогрев или нагрев промежуточным теплоносителем агрегатов и коммуникаций подачи суспензии до температуры, при которой обеспечиваются приемлемые значения ее вязкости.

Список источников

1. Яновский Л.С., Дубовкин Н.Ф., Галимов Ф.М. и др. Инженерные основы авиационной химмотологии. Казань: Изд-во Казанского университета, 2005. 714 с.

2. Разносчиков В.В., Яновская М.Л. Оценка эффективности применения синтетических жидких топлив на транспортных самолетах // Транспорт на альтернативном топливе. 2011. № 5. С. 16–19.

3. Алтуний К.В. Разработка методики расчета температуры внутренней стенки мультитопливной форсунки с учетом плотности теплового потока // Инженерный журнал: наука и инновации. 2022. № 12 (132) С. 325–334.

4. Merts M., Verhelst S. Literature review on dual-fuel combustion modelling. 2019. 13 p.

5. Петрухина Н.Н., Максимов А.Л. Физико-химические и эксплуатационные свойства нафто-ароматических реактивных и дизельных топлив, получаемых гидрогенизационной переработкой высокоароматических фракций (обзор) // Нефтехимия/ 2018. Том 58. № 3. С. 241–270.

6. Maleki A et al. Numerical study on the effect of viscosity on a multistage pump running in reverse mode // Renewable Energy. 2020. Vol. 150. P. 234–254.

7. Зверева Э.Р., Мингалеева Г.Р., Валиуллин Б.Р. и др. Исследование реологических свойств композиционных суспензионных топлив // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2023. № 1. С. 143–147.

8. Мустафаева Г.Р. Реологические модели, присущие течению неньютоновских нефтей // Транспорт и хранение нефтепродуктов. 2018. № 4. С. 40–42.

9. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М.: Машиностроение, 1992. 672 с.

10. Николаев А.К., Зарипова Н.А. Обоснование аналитических зависимостей для гидравлического расчета транспорта высоковязких нефтей // Записки Горного института. 2021. Т. 252. С. 885–895.

11. Абдинов Э.Т., Гурбанов Р.С. Обобщенный коэффициент гидравлического сопротивления // Инженерно-физический журнал. 1979. Т. 36. № 1. С. 20–25.

12. Kuznetsov G.V., Romanov D.S., Ver-shinina K.Yu. et al. Rheological characteristics and stability of fuel slurries based on coal processing waste, biomass and used oil // Fuel. 2021;302:121203.

13. Перель Л.Я., Филатов А.А. Подшипники качения. Справочник. М.: Машиностроение, 1992. 608 с.

УДК 623.45:623.56

doi: 10.53816/20753608_2025_2_99

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОГУЩЕСТВА ДЕЙСТВИЯ БОЕПРИПАСОВ С УПРОЩЕННОЙ КОНСТРУКЦИЕЙ

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE POWER OF AMMUNITION WITH A SIMPLIFIED DESIGN

По представлению чл.-корр. РАН А.И. Михайлина

Д.П. Левин, С.С. Меньшаков, Д.А. Оганесян

МГТУ им. Н.Э. Баумана

D.P. Levin, S.S. Menshikov, D.A. Oganesyanyan

Проведен сравнительный анализ боеприпасов упрощенной конструкции по могуществу их действия, оцениваемого по приведенной площади поражения и координатному закону поражения. Показано, что могущество их действия находится на уровне штатных изделий и они могут применяться для массового производства в целях устранения дефицита специализированных средств для беспилотных летательных аппаратов.

Ключевые слова: боеприпас, аддитивные технологии, готовые поражающие элементы, тротиловая шашка, координатный закон поражения.

A comparative analysis of ammunition of a simplified design is carried out according to the power of their action, estimated by the reduced area of damage and the coordinate law of damage. It is shown that the power of their action is at the level of standard products and they can be used for mass production in order to eliminate the shortage of specialized means for unmanned aerial vehicles.

Keywords: munition, additive technologies, preformed fragment, numerical simulation, damaging effect, target destruction coordinate law.

Введение

Опыт современных конфликтов показал существенное влияние различных беспилотных систем на ход боевых действий. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) различных типов, размеров и форм применяются для нанесения ударов, разведки, в виде ложных целей для перегрузки систем противовоздушной обороны, ретрансляции сигналов, доставки грузов, разминирования и т.д. Одним лишь барражирующим боеприпасом «Ланцет» к ноябрю 2024

года было совершено более 2500 ударов, большая часть из которых привела к полному уничтожению или существенному повреждению цели [1].

Широкое применение в боевых действиях получили БПЛА-камикадзе типа FPV, оснащенные камерой, передающей изображение на очки оператора (рис. 1) [2]. Масса переносимой ими полезной нагрузки достигает 5 кг. БПЛА-камикадзе типа FPV отличаются низкой стоимостью и, как следствие, массово применяются для поражения широкого круга целей на

малых дальностях. Согласно заявлению министра обороны Российской Федерации, в интересах Вооруженных Сил Российской Федерации производится как минимум четыре тысячи «FPV-дронов» ежедневно [3].

В результате проведенного авторами анализа сбрасываемых с БПЛА боеприпасов (БП) и боевых частей (БЧ), работающих по принципу «камикадзе», было выявлено, что в основном для поражения целей используются БП других штатных комплексов вооружения (например, гранаты для РПГ-7) или БП кустарного производства (рис. 2) [4, 5], в производстве которых активно используются аддитивные технологии — с их помощью производятся корпуса, элементы взрывательных устройств, системы подвеса, стабилизаторы и т.д.

Основным недостатком применения адаптированных БП других штатных комплексов вооружения является их очевидный проигрыш по критерию «эффективность — стоимость» для случая применения этого БП в штатном комплексе по сравнению с БПЛА. Снижение эффективности возникает из-за более широких возможностей БПЛА при его существенно меньшей стоимости. Кроме того, штатные взрывательные устройства обычно не могут применяться с БПЛА, поскольку требуют специфических видов нагрузок для взведения взрывателя, характерных для работы штатного комплекса.

Для БП кустарного производства наиболее уязвимым к уровню технологии элементом является заряд взрывчатого вещества (ВВ). Проведение операции снаряжения корпуса БП взрывчатым составом требует сложного и дорогостоящего технологического оборудования для получения разрывного заряда высокого качества. Применение упрощенных кустарных технологий снаряжения и отсутствие контроля качества разрывного заряда приводит к возникновению усадочных раковин и разным размерам кристаллов при заливке, трещин и разнотности заряда при прессовании. В результате происходит непредсказуемое снижение могущества действия БП, вплоть до полной потери эффективности. К аналогичным результатам приводят недостаточная инженерная грамотность конструкторов самодельных БП и слабое понимание ими физических процессов, сопровождающих функционирование взрывных устройств.

Указанные проблемы, безусловно, будут устранены при разработке и производстве боеприпасов профильными организациями по классической схеме, т.е. производстве, снаряжении взрывчатым составом и, возможно, окончательном снаряжении БП на производстве и последующей эксплуатации в войсках. Однако условия эксплуатации БП для БПЛА, отсутствие существенных нагрузок при доставке к цели, и, как следствие, простота их конструкции позволяют



Рис. 1. Комплект управления FPV БПЛА



Рис. 2. Образцы боеприпасов для БПЛА-камикадзе типа FPV

рассматривать альтернативные схемы производства [6].

Целью данной работы является сравнительная оценка могущества действия боеприпасов с упрощенной конструкцией (БУК).

Боеприпас с упрощенной конструкцией

Под приведенным термином авторы понимают БП или БЧ для БПЛА, работающих по принципу «камикадзе»:

- основные конструктивные элементы которого производятся с использованием аддитивных технологий или заменяются на готовые элементы других технических устройств, используемых по новому назначению;

- сборка которого может быть осуществлена вручную, без специального оборудования, и не требует специальных навыков и компетенций сборщика;

- снаряжаемый непосредственно перед применением штатным широко распространенным разрывным зарядом, а также окончательно снаряжаемый штатным детонатором (взрывателем) непосредственно перед применением.

Отличительной особенностью предлагаемой конструкции является применение штатной тротиловой шашки массой 200 г в качестве разрывного заряда и электродетонатора ЭДП в качестве средства взрывания. Предполагается, что боеприпас будет поставляться в войсках в виде комплекта, в который будут входить: корпус, крышка и готовые поражающие элементы (ГПЭ) в виде шариков диаметром ~ 5 мм. Шашка разрывного заряда и электродетонатор будут поставляться отдельно через инженерные войска. Непосредственно перед применением можно осуществить сборку БП, снарядить его (вложить шашку разрывного заряда) и привести в окончательное снаряжение (установить электродетонатор).

Описанный подход к построению БУК существенно снижает экономические и временные затраты на изготовление, доставку и эксплуатацию БП, поскольку сборка БУК происходит непосредственно на передовой.

Рассматриваемые варианты конструкций БУК представлены на рис. 3.

Различия в конструкциях обусловлены формой шашки ВВ и ее размещением в корпусе.

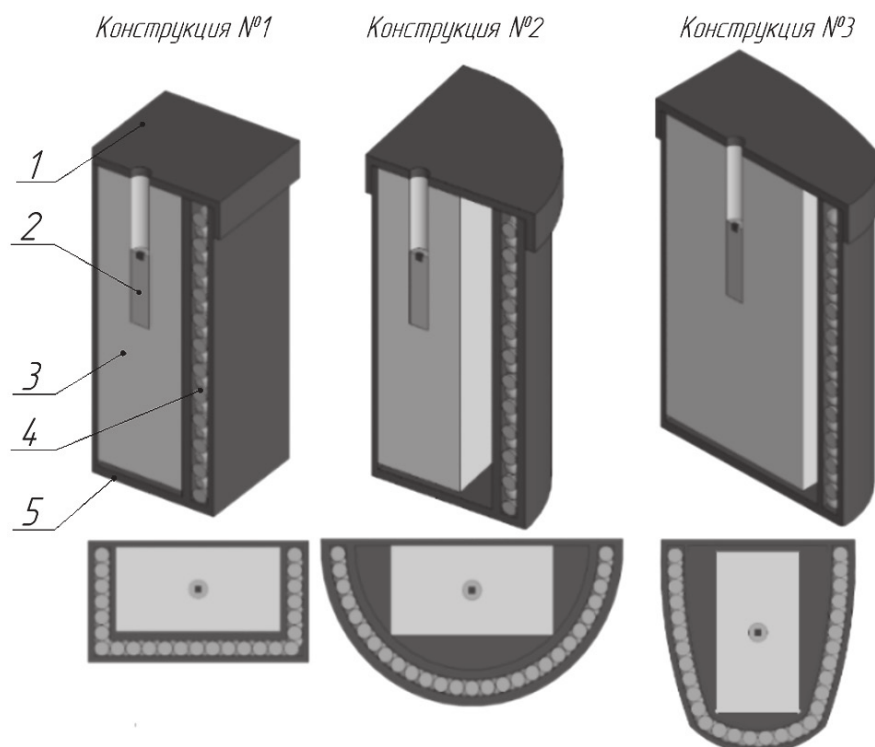


Рис. 3. Варианты конструкций БУК:

1 — крышка; 2 — электродетонатор ЭДП; 3 — тротиловая шашка; 4 — ГПЭ; 5 — корпус

Как известно, тротиловая шашка массой 200 г имеет форму параллелепипеда с размерами $25 \times 50 \times 100$ мм с гнездом под электродетонатор типа ЭДП на стороне 25×50 мм. В конструкции № 1 ГПЭ расположены по трем граням шашки, при этом предполагается, что конструкция направлена большей гранью на цель. Достоинством конструкции является отсутствие воздушных зазоров между ГПЭ и шашкой разрывного заряда, что должно привести к увеличению начальных скоростей разлета осколочных элементов и, возможно, к некоторой деформации их вследствие силового воздействия при отражении детонационной волны. Недостатком конструкции является наличие углов, которое должно приводить к резкому изменению направлений и значений начальных скоростей разлета элементов, и, как следствие, к образованию «слепых» зон.

В конструкции № 2 был учтен недостаток первой конструкции, и здесь ГПЭ были размещены вдоль плавной поверхности полусферического корпуса, накрывающего шашку ВВ. Однако это привело к образованию воздушных зазоров и соответственно, к уменьшению значений начальных скоростей разлета осколочных элементов, причем особо заметному в направлении середины большой грани как наиболее удаленной точки от шашки ВВ. Тем не менее было решено рассмотреть этот вариант конструкции, поскольку воздушные зазоры могут быть использованы в «полезных» целях при возможном заполнении их энергетическими материалами в виде порошков горючих металлов, что должно привести к увеличению фугасного и зажигательного действий при взрыве БУК данной конструкции.

Наконец, конструкция № 3 в идейном смысле близка к конструкции № 2 и ее форма определяется тем, что размещается она на системе подвеса БПЛА по малой грани БУК.

Сравнение могущества действия проведем по форме координатного закона поражения

(КЗП) и величине приведенной площади поражения $S_{пр}$.

Построение КЗП проводилось в программе Matlab по методике, приведенной в источнике [7]. Исходными данными для построения являются скорости и углы разлета ГПЭ, полученные с помощью численных расчетов в программе LS-Dyna в трехмерной постановке с использованием метода ALE (Arbitrary Lagrangian-Eulerian). ВВ моделировалось материалом *MAT_HIGH_EXPLOSIVE_BURN с уравнением состояния Джонса — Уилкинса — Ли — *EOS_JWL. Модель материала для воздуха — *MAT_NULL. В качестве уравнения состояния для воздуха использовалось линейное полиномиальное уравнение *EOS_LINEAR_POLYNOMIAL. Модели материалов крышки, корпуса и ГПЭ — модель упругопластической среды с линейным упрочнением *MAT_PLASTIC_KINEMATIC. В результате расчета были получены проекции скоростей ГПЭ на оси координат X , Y и Z . В качестве цели рассматривалась живая сила, оснащенная средствами индивидуальной бронезащиты (СИБ). Параметры цели приведены в табл. 1 [7].

БП устанавливается сверху БПЛА-камикадзе типа FPV, при этом ось симметрии боеприпаса находится под углом 45° к корпусу БПЛА. Угол атаки БПЛА равен также 45° , соответственно, в момент срабатывания, при контакте с поверхностью земли, БП находится в вертикальном положении по отношению к поверхности земли (рис. 4). КЗП для рассматриваемых конструкций представлены на рис. 5. Линии уровня вероятностей поражения построены в диапазоне от 0,9 до 0,1 с шагом 0,2. Значения полученных приведенных площадей поражения представлены в табл. 2.

Основываясь на результатах расчетов, можно сделать вывод, что конструкции № 1 и № 3 превосходят конструкцию № 2 по критерию приведенной площади поражения, но конструкция № 2 показывает более равномерное распределение вероятности поражения по угловым

Таблица 1

Параметры цели

Тип цели	Положение	Площадь проекции цели, m^2	Стальной эквивалент цели, мм
ЖС в СИБ	В рост	0,5	4

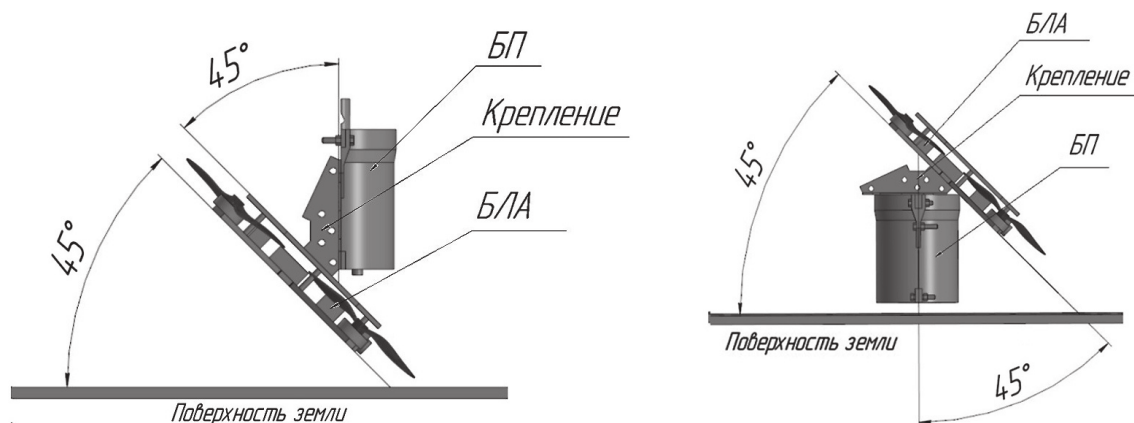


Рис. 4. Крепление боеприпаса упрощенной конструкции к беспилотному летательному аппарату

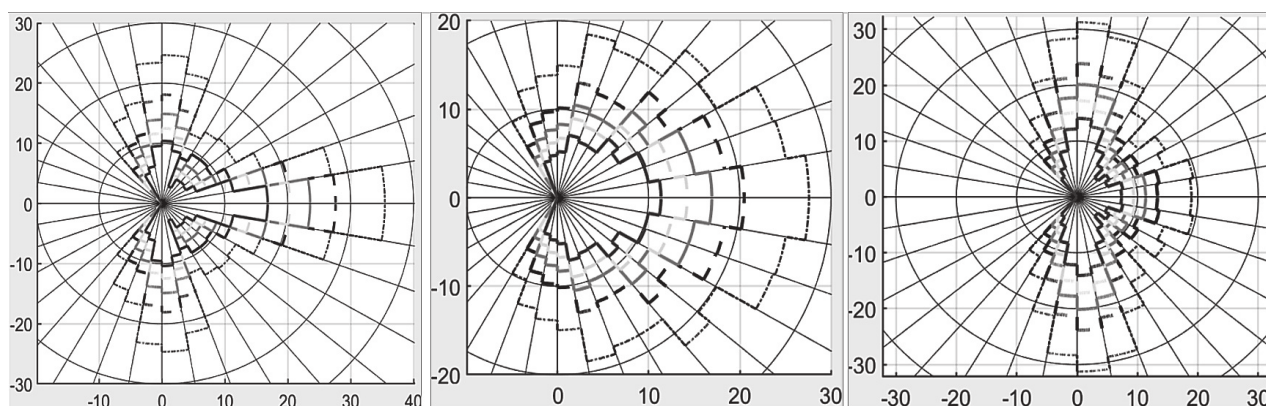


Рис. 5. Координатные законы поражения для различных конструкций разработанного БП

Таблица 2

Приведенные площади поражения

	Конструкция № 1	Конструкция № 2	Конструкция № 3
Приведенная площадь поражения $s_{пр}$, м ²	242	208	264

зонам, что приближает ее к БП с традиционной цилиндрической формой. Учитывая высокую точность нанесения ударов БПЛА, а также случайный характер распределения целей, для поражения живой силы (ЖС) более значимым становится равнонаправленность поля поражения. Отсутствие «слепых» зон в КЗП, которые присутствуют в конструкциях № 1 и № 3 в направлении углов, существенно облегчает работу оператору БПЛА в варианте конструкции № 2. Также стоит отметить, что конструкция № 2 обладает обтекаемой формой, что положительно влияет на управляемость БПЛА.

С другой стороны, учитывая те же высокую точность нанесения ударов и управляемость БПЛА оператором, можно попробовать довернуть БПЛА в направлении на цель даже на конечном участке траектории, и тогда на первый план выходит критерий приведенной площади поражения, который имеет максимальное значение для конструкции № 3. Другими словами, выбор конструкции БУК остается за людьми, принимающими решения, и, возможно, здесь определяющими в выборе станут совсем другие критерии, например технологичность и простота изготовления.

Сравнительный анализ

Для сравнения рассмотрим иностранный боеприпас FRAG-09-576-1.3 [5] (рис. 6, а) и отечественный штатный БП с ОФСП-1,7 [8] (рис. 6, б). Характеристики аналогов представлены в табл. 3.

Для корректного сравнения проведем расчет действия для БП, состоящего из двух корпусов конструкции № 2 (рис. 3), который имеет схожие с аналогами массогабаритные характеристики. Конструкция БП и процесс формирования осколочно-го поля представлены на рис. 7, а КЗП — на рис. 8.

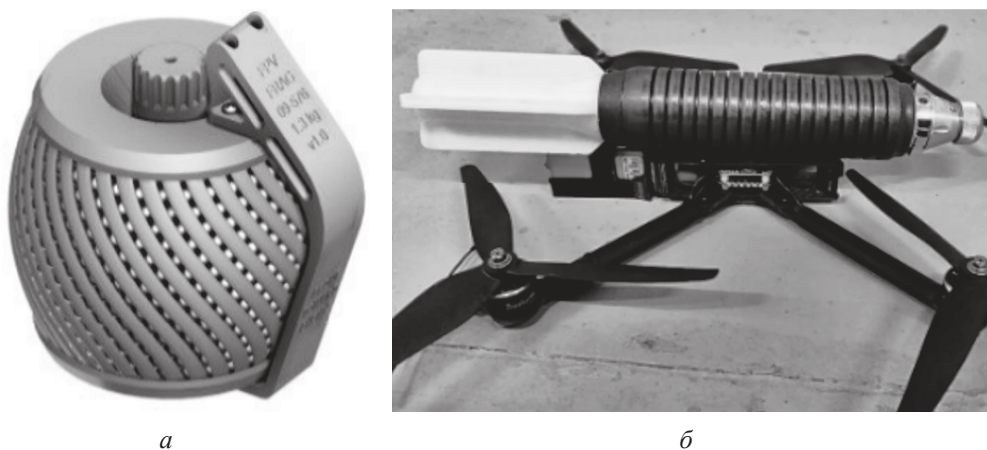


Рис. 6. Рассматриваемые аналоги: а — FRAG-09-576-1.3; б — ОФСП-1,7

Таблица 3

Технические характеристики сравниваемых изделий

Характеристики	FRAG-09-576-1.3	ОФСП-1,7	Предложенный образец
Масса, кг	1,3	1,7	1,3
Масса ВВ, кг	0,46 (С4) / 0,38 (ПВВ-4)	0,4	0,4
Форма ГПЭ	Шар	Куб (корпус заданного дробления)	Шар
Масса ПЭ/корпуса, кг	0,9	1,07	0,6
Приведенная площадь поражения $s_{пр}$, м ²	~200	600*	320 (900*)

* — для цели типа ЖС в СИБ по Бр2

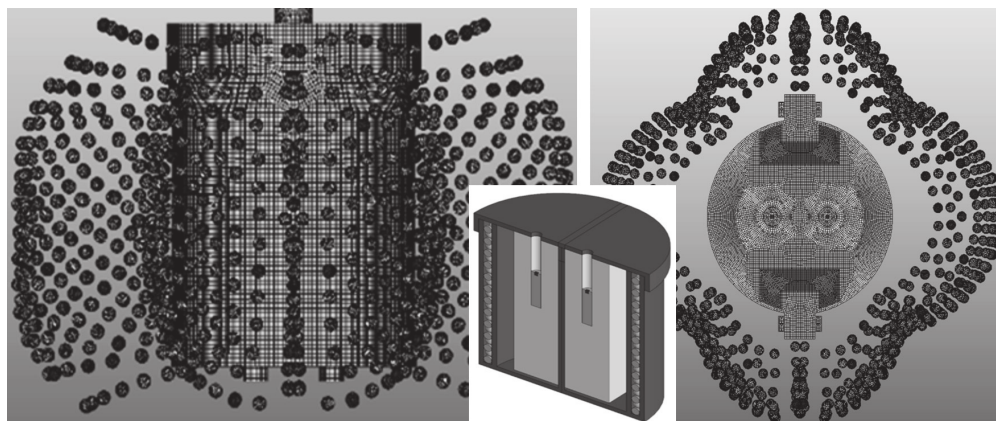


Рис. 7. Конструкция и процесс формирования осколочного поля

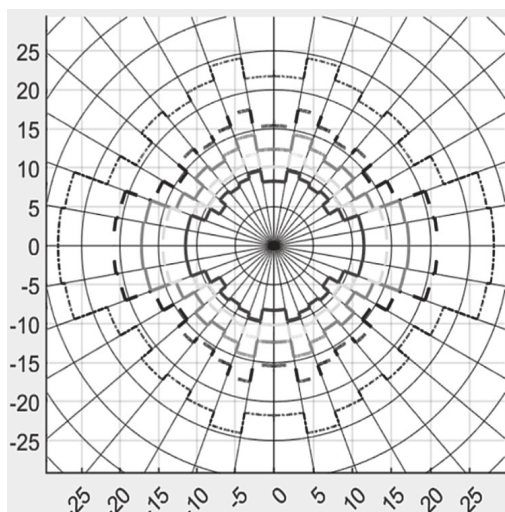


Рис. 8. Координатный закон поражения

Для данной конструкции приведенная площадь поражения будет равна $s_{\text{пр}} = 320 \text{ м}^2$. Учитывая различия в конструкции и методике оценки действия аналогов, можно сделать вывод, что предлагаемая конструкция имеет поражающее действие на уровне рассматриваемых аналогов и может применяться в аналогичных условиях.

Заключение

В работе были рассмотрены БП, предназначенные для применения на БПЛА-камикадзе типа FPV. Проведенный анализ показал, что БУК имеют могущество действия на уровне существующих штатных БП и могут применяться для массового производства, в целях устранения дефицита специализированных средств для БПЛА.

Стоимость и простота производства предложенного изделия обеспечиваются упрощенной конструкцией, сборка изделия может быть осуществлена вручную, без специального оборудования, и не требует привлечения высококвалифицированных специалистов. Использование в конструкциях штатных тротильных шашек и электродетонаторов позволяет значительно упростить технологический процесс снаряжения изделия и избегать использования дефицитных материалов и составов. Все вышеперечисленное напрямую влияет на технологический процесс изготовления

изделия, снижает количество затраченных человеко-часов и материалов на производство и в результате существенно уменьшает стоимость изделия.

Учитывая вышесказанное, анализируемые конструкции могут стать заменой для некоторых штатных средств для БПЛА.

Список источников

1. Применение барражирующих боеприпасов «Ланцет» в зоне СВО. URL: <https://lostarmour.info/tags/lancet> (дата обращения: 12.10.2024).
2. Минобороны РФ показало уничтожение FPV-дроном терминала Starlink ВСУ. URL: <https://rg.ru/2023/08/13/minoborony-rf-pokazalo-unichtozhenie-dronom-terminala-starlink.html> (дата обращения: 12.10.2024).
3. Глава Минобороны Белоусов: в войска поставляют 4 тыс. FPV-дронов в сутки. URL: <https://www.rbc.ru/politics/30/07/2024/66a8ebff9a79479af26e7534> (дата обращения: 12.10.2024).
4. Shock Wave Dynamics: Боевые части для FPV дронов-камикадзе, комплект для снаряжения в полевых условиях. URL: https://t.me/combat_engineer/4650 (дата обращения: 12.10.2024).
5. Basic identification of Ammunition in Ukraine V.6.0. URL: <https://ukr.bulletpicker.com/id-guides.html> (дата обращения: 12.10.2024).
6. Левин Д.П., Дюков А.В., Гущина Т.А. и др. Концепция корпуса осколочной боевой части на основе штатного взрывного устройства для беспилотного летательного аппарата; в сборнике: Будущее машиностроения России // XVI Всероссийская конференция молодых ученых и специалистов (с международным участием): сборник докладов. В 2-х томах. М., 2024. С. 32–38.
7. Рассоха С.С., Селиванов В.В. Осколочное действие боеприпасов: учеб. пособие; под общ. ред. В.В. Селиванова. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. 209 с.
8. Шрапнельный сброс для FPV-дрона SH-F1-HE. URL: <https://saper.in.ua/p2111244529-shrapnelnyj-sbros-dlya.html?srsId=AfmBOoq3MTwLVMy1bLQCRmpmNzvfGm5OitmSOjFga6R1SZCOs2xehXm> (дата обращения: 13.12.2024).

УДК 519.8

doi: 10.53816/20753608_2025_2_106

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПАТРОНА С КОМПОЗИТНОЙ ГИЛЬЗОЙ

METHODOLOGY FOR EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF SMALL ARMS WHEN USING A CARTRIDGE WITH A COMPOSITE SLEEVE

По представлению чл.-корр. РАН В.И. Волчихина

Д.В. Бакланов, С.А. Куканов

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

D.V. Baklanov, S.A. Kukanov

Статья посвящена разработке методики оценки эффективности стрелкового оружия при использовании патрона с композитной гильзой. Доказано, что существующие на сегодняшний день математические модели и методики не учитывают наличие стыков разнородных участков материала патронов с композитной гильзой и их поперечного силового набора.

Ключевые слова: композитная гильза, матрица Адамара, механические свойства, эффективность, касательные напряжения.

The article is devoted to the development of a methodology for evaluating the effectiveness of small arms when using a cartridge with a composite sleeve. It is proved that the currently existing mathematical models and techniques do not take into account the presence of joints of heterogeneous sections of the material of cartridges with a composite sleeve and their transverse power set.

Keywords: composite sleeve, Hadamard matrix, mechanical properties, efficiency, tangential stresses.

Анализ боевых действий специальной военной операции на территории ЛНР, ДНР и Украины показывает, что стрелковое оружие, обладающее высокой эффективностью стрельбы, позволяет выполнить поставленную огневую задачу качественно, своевременно и с наименьшим расходом боеприпасов, что в свою очередь влияет на успешный исход боевой задачи в целом [1].

За счет динамичного развития беспилотной авиации происходит непрерывное ведение разведки с воздуха. По этой причине возник-

ла жизненная необходимость в рассредоточении живой силы и ВВСТ, а также более эффективной маскировки. Для ведения наступательных действий в сложных условиях пересеченной местности, в лесных массивах и городах стал также применяться метод штурма малыми группами с высокой интенсивностью волновой атаки на большую глубину позиций противника, что говорит об увеличении времени пребывания стрелка под физической нагрузкой с повышенным запасом боекомплекта при вооружении [1].

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_r \\ \varepsilon_\theta \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{\theta z} \\ \gamma_{rz} \\ \gamma_{r\theta} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/E_r & -v_{r\theta}/E_\theta & -v_{rz}/E_z \\ -v_{\theta r}/E_r & 1/E_\theta & -v_{\theta z}/E_z \\ -v_{zr}/E_r & -v_{z\theta}/E_\theta & 1/G_{\theta z} \\ & & 1/G_{rz} \\ & & 1/G_{r\theta} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_r \\ \sigma_\theta \\ \sigma_z \\ \tau_{\theta z} \\ \tau_{rz} \\ \tau_{r\theta} \end{Bmatrix},$$

где E_r , E_θ , E_z представляют собой упругие модули материала в радиальном, тангенциальном и осевом направлениях соответственно, а $v_{r\theta}$, v_{rz} , $v_{\theta z}$ представляют собой соответствующие коэффициенты Пуассона на соответствующих плоскостях. $G_{r\theta}$, G_{rz} и $G_{\theta z}$ представляют собой соответствующие модули сдвига на соответствующих плоскостях.

Для ортотропных материалов

$$\frac{v_{r\theta}}{E_\theta} = \frac{v_{\theta r}}{E_r}; \quad \frac{v_{rz}}{E_z} = \frac{v_{zr}}{E_r}; \quad \frac{v_{\theta z}}{E_z} = \frac{v_{z\theta}}{E_\theta}.$$

При стрельбе патрон подвергается деформации под действием давления в патроннике за предельно короткий промежуток времени, необходимо учитывать изменения конститутивной модели материала при его ударе. В настоящее время преобладающим подходом является калибровка конструктивной модели в динамических условиях путем проведения соответствующих динамических испытаний, что позволяет определить изменения материальных параметров композиционных материалов при высоких скоростях деформации по сравнению с теми, которые получены в условиях квазистатического нагружения [3, 4].

Матрица модулей описывалась в квазистатических условиях как

$$\mathbf{E}_0 = \begin{bmatrix} \mathbf{E}_r & \mathbf{v}_{\theta z} & \mathbf{G}_{\theta z} \\ \mathbf{E}_\theta & \mathbf{v}_{rz} & \mathbf{G}_{rz} \\ \mathbf{E}_z & \mathbf{v}_{r\theta} & \mathbf{G}_{r\theta} \end{bmatrix}.$$

Вводилась поправочная матрица, учитывающая зависимость скорости деформации

$$\lambda_m = \begin{bmatrix} \lambda_{E_r}(\dot{\varepsilon}) & 1 & \lambda_{G_{\theta z}}(\dot{\varepsilon}) \\ \lambda_{E_\theta}(\dot{\varepsilon}) & 1 & \lambda_{G_{rz}}(\dot{\varepsilon}) \\ \lambda_{E_z}(\dot{\varepsilon}) & 1 & \lambda_{G_{r\theta}}(\dot{\varepsilon}) \end{bmatrix}.$$

Матрица динамических модулей, учитывающая зависимость скорости деформации, выражалась как произведение Адамара матрицы квазистатических модулей $\mathbf{E}_0$ и матрицы коррекции скорости деформации [5]

$$\begin{aligned} \mathbf{E}_R = \lambda_m \mathbf{E}_0 &= \begin{bmatrix} \lambda_{E_r}(\dot{\varepsilon}) \mathbf{E}_r & 1 & \lambda_{G_{\theta r}}(\dot{\varepsilon}) \mathbf{G}_{\theta z} \\ \lambda_{E_\theta}(\dot{\varepsilon}) \mathbf{E}_\theta & 1 & \lambda_{G_{rz}}(\dot{\varepsilon}) \mathbf{G}_{rz} \\ \lambda_{E_z}(\dot{\varepsilon}) \mathbf{E}_z & 1 & \lambda_{G_{r\theta}}(\dot{\varepsilon}) \mathbf{G}_{r\theta} \end{bmatrix} = \\ &= \begin{bmatrix} \mathbf{E}_r^R & \mathbf{v}_{\theta z} & \mathbf{G}_{\theta z}^R \\ \mathbf{E}_\theta^R & \mathbf{v}_{rz} & \mathbf{G}_{rz}^R \\ \mathbf{E}_z^R & \mathbf{v}_{r\theta} & \mathbf{G}_{r\theta}^R \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

Далее рассматривалась модель функции динамического отклика композитной гильзы. При выстреле патрон удерживается патронником и автоматикой, в связи с чем осевая деформация не учитывалась.

Осевыми напряжениями патрона пренебрегалось, радиальная деформация ε_r и осевая деформация ε_θ представлялись как

$$\begin{cases} \varepsilon_r = \frac{1}{E_r^R} \sigma_r - \frac{v_{r\theta}}{E_\theta^R} \sigma_\theta \\ \varepsilon_\theta = \frac{1}{E_\theta^R} \sigma_\theta - \frac{v_{\theta r}}{E_r^R} \sigma_r \end{cases}.$$

Вводились уравнения геометрической деформации

$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_r = \frac{|dr + (u + du) - u| - dr}{dr} = \frac{du}{dr} \\ \varepsilon_\theta = \frac{(r + u)d\theta - rd\theta}{rd\theta} = \frac{u}{r} \end{array} \right\}.$$

Тогда

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_r = \frac{E_r}{1 - \nu_{r\theta}\nu_{\theta r}} \left(\frac{du}{dr} + \nu_{\theta r} \frac{u}{r} \right) \\ \sigma_\theta = \frac{E_\theta}{1 - \nu_{r\theta}\nu_{\theta r}} \left(\nu_{r\theta} \frac{du}{dr} + \frac{u}{r} \right) \end{array} \right\}.$$

При динамическом нагружении общий вид уравнения равновесия элементарного тела описывался как

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{\theta r}}{\partial \theta} + \frac{\partial \tau_{zr}}{\partial z} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} + f_r = m \frac{d^2 u_r}{dt^2} \\ \frac{\partial \sigma_\theta}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial \tau_{z\theta}}{\partial z} + \frac{2\tau_{r\theta}}{r} + f_\theta = m \frac{d^2 u_\theta}{dt^2} \\ \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{\theta z}}{\partial \theta} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\tau_{rz}}{r} + f_z = m \frac{d^2 u_z}{dt^2} \end{array} \right\}.$$

Для толстостенного цилиндра, находящегося под действием только внутреннего давления и пренебрегающего действием объемной силы и касательного напряжения, радиальные и окружные напряжения удовлетворяли

$$\begin{aligned} & \left(\sigma_r + \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} dr \right) (r + dr) d\theta - \\ & - \sigma_r r d\theta - 2\sigma_\theta dr d\theta \sin \frac{d\theta}{2} = \\ & = \frac{1}{2} \rho \left[(r + dr)^2 - r^2 \right] a_r, \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} dr = d\sigma_r; \\ & \sin \frac{d\theta}{2} \approx \frac{d\theta}{2}; \\ & \frac{1}{2} \rho \left[(r + dr)^2 - r^2 \right] = m, \quad a_r = \frac{d^2 u_r}{dt^2}. \end{aligned} \quad (1)$$

Упрощая, имелось

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = \rho a_r. \quad (2)$$

Объединяя уравнения (1) и (2), получено

$$\begin{aligned} & \frac{E_r^R}{1 - \nu_{r\theta}\nu_{\theta r}} \frac{d^2 u_r}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{E_r^R}{1 - \nu_{r\theta}\nu_{\theta r}} \frac{du_r}{dr} - \\ & - \frac{E_\theta^R}{1 - \nu_{r\theta}\nu_{\theta r}} \frac{u_r}{r^2} = \rho a_r. \end{aligned}$$

Учитывались граничные условия

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_r |_{r=r_a} = -P(t_0) \\ \sigma_r |_{r=r_b} = 0 \end{array} \right\}.$$

Предполагалось, что контактное давление между патроном и патронником равно P_c , радиальная деформация внутренней стенки патронника выражалась как [6]

$$u_t = P_c \frac{1}{E} \frac{R_a^2}{R_b^2 - R_a^2} \left[(1 - \nu) R_a + (1 + \nu) \frac{R_b^2}{R_a} \right].$$

Механические свойства композитных материалов, армированных стекловолокном, более существенно зависят от скорости деформации в направлении укладки волокон, в то время как углеродные волокна демонстрируют поведение, не зависящее от скорости деформации [7]. Поэтому для композитного тела гильзы из стекловолокна проводилась коррекция свойств материала в радиальном направлении

$$\lambda_{E_\theta}(\dot{\varepsilon}) = \lambda_{E_z}(\dot{\varepsilon}) = 1 + \lambda \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right),$$

где λ_{E_θ} — жесткость материала в радиальном направлении в цилиндрических координатах; λ_{E_z} — жесткость материала в осевом направлении в цилиндрических координатах; $\dot{\varepsilon}$ — скорость деформации; $\dot{\varepsilon}_0$ — предельная скорость деформации, которая служит эталоном для сравнения с текущей скоростью деформации.

Механические свойства среднеуглеродистой низколегированной стали и полиамида PA612 описывались с помощью конститутивной модели Джонсона — Кука [8]. Общая форма

$$\sigma = (A + B\varepsilon^n) \cdot \left[1 + C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_{ref}} \right) \right] \cdot (1 - T^{*m}),$$

где σ , ε , $\dot{\varepsilon}_{ref}$ представляют собой напряжения, пластическую деформацию и эталонную скорость деформации соответственно. A , B , C , n и

Таблица

Параметры материалов численного моделирования

Материалы	E , ГПа	ρ , (кг·мм ³)	μ	σ_r , МПа	τ
Среднеуглеродистая низколегированная сталь	210	7,85E-6	0,3	535	1,0
Полиамид РА612 с 70 % армированной добавкой из стекловолокна	430	1,3E-6	0,49	65	0,86

m — константы материалов, а T^* — температурный показатель.

Параметры механических моделей среднеуглеродистой низколегированной стали и полиамида РА612 с 70 % армированной добавкой из стекловолокна, нейлона 6/6 и модифицированной нейлоновой смолы 612, а также квазистатические механические свойства углеродноволонистых композиционных материалов представлены в таблице.

Данная задача решалась в два этапа. На первом этапе путем математического моделирования приведенной жесткости контакта донной части и тела гильзы, позволяющего спрогнозировать коэффициент прочности не только по всей длине композитной гильзы, но и на стыке двух различных по свойствам материалов (рис. 2).

Аналитический расчет приведенной жесткости в области соединения донной части и тела гильзы показал результаты с погрешностью не более 5 % с расчетами численного метода.

На втором этапе путем математического моделирования теплопередачи от стенки композитной гильзы к стенке патронника, позволяющего спрогнозировать распределение тем-

ператур внутри композитной гильзы и от ее стенок патроннику при определении начальных и граничных условий, а также теплофизических свойств материала, из которого изготовлена гильза. Нестационарный тепловой анализ позволил оценить меняющийся во времени отклик (реакцию) системы «гильза — патронник», сопровождающуюся процессами нагревания и охлаждения. Параметры потока, такие как температура отсчета и скорость потока, рассчитывались гипотезой Лагранжа в сочетании с внутренними баллистическими результатами и рассматривались как граничные условия третьего рода. Модель оценки теплопередачи от стенки композитной гильзы к стенке патронника представлена на рис. 3.

Оценка эффективности стрелкового оружия при использовании патрона с композитной гильзой проводилась по радиусу рассеивания r_{50} . Результаты оценки эффективности представлены на рис. 4. Результаты стрельбы показали, что при использовании композитных гильз, за счет снижения теплового расширения стенок канала ствола кучность стрельбы при поражении цели увеличивается на 8,5 %.

Таким образом, разработана методика оценки эффективности стрелкового оружия при использовании патрона с композитной гильзой, новизна которой заключается в применении новых математических моделей, которые учитывают ранее не изученные параметры и физические процессы, происходящие в автоматическом стрелковом оружии при использовании патронов с композитными гильзами и фторидом графена в их пороховой навеске, а также в сочетании математического моделирования с экспериментальными исследованиями, которое позволяет не только теоретически предсказать результаты, но и подтвердить их на практике.

Разработанная методика позволяет на этапе проектирования:

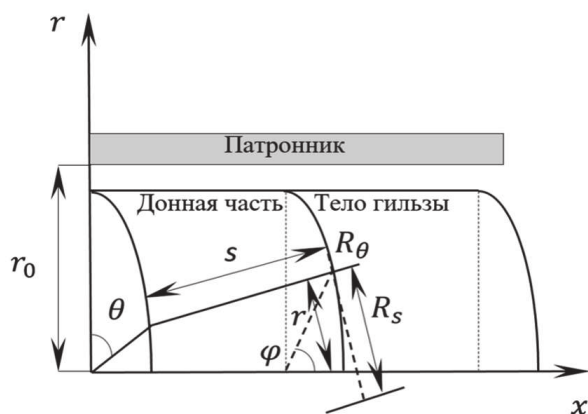


Рис. 2. Расчетная схема для определения начальных и граничных условий в области стыка донной части и тела композитной гильзы

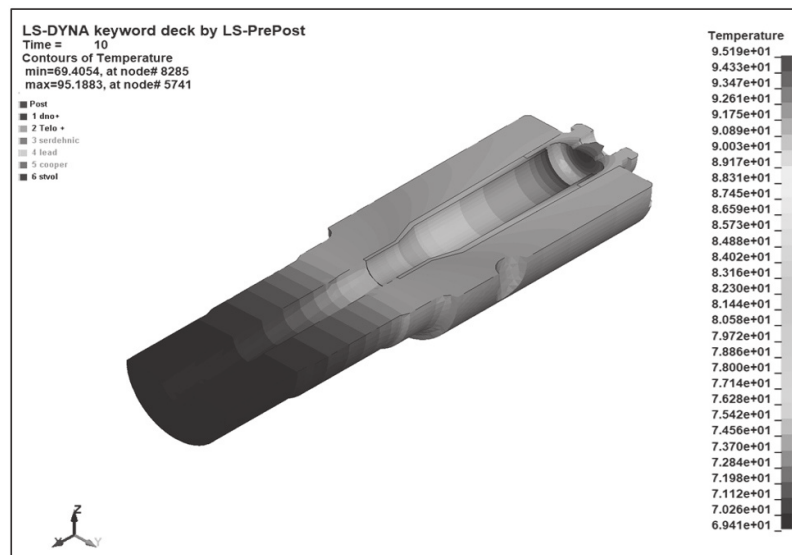


Рис. 3. Модель оценки теплопередачи от стенки композитной гильзы к стенке патронника

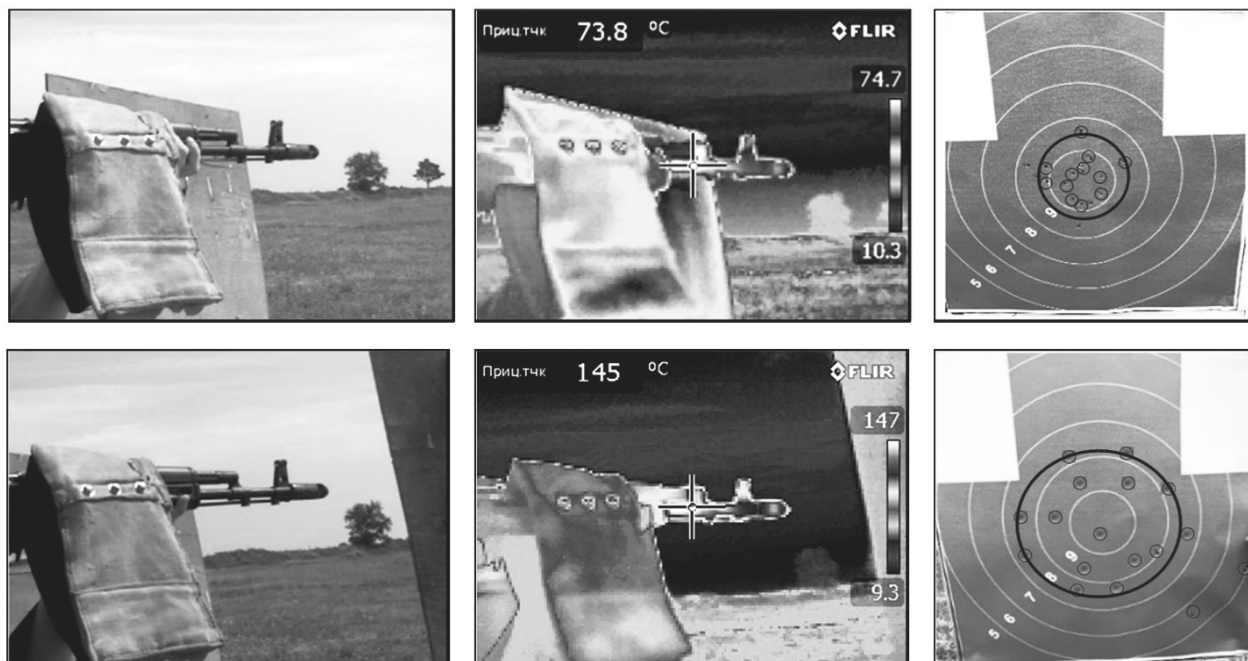


Рис. 4. Оценка эффективности стрелкового оружия при использовании патрона с композитной гильзой

1) осуществить выбор материала композитной гильзы, который выдерживает динамические и температурные нагрузки в патроннике при выстреле;

2) придать телу гильзы гидрофобность и провести очистку канала ствола выстрелом, сохраняя его боевые характеристики;

3) снизить среднюю массу 5,45-мм патрона с композитной гильзой на 22,45 %;

4) рассчитать коэффициент прочности на стыке различных материалов и повысить точность расчетных данных в сравнении с экспериментальными исследованиями на 10 %. На этапе применения оценить:

1) температуру нагрева ствола при стрельбе патронами с композитными гильзами;

2) ударные нагрузки на композитную гильзу во время выстрела;

3) кучность стрельбы за счет снижения температуры нагрева ствола и веса боекомплекта при вооружении.

Результатом применения научно-методического аппарата являются полученные значения характеристик и свойств композитной гильзы и фторида графена в ее пороховой навеске.

Таким образом, разработанная методика позволяет определять геометрические характеристики и способы соединения частей композитной гильзы, обеспечивающие ее функционирование в цикле автоматики и оказывающие влияние на снижение температуры нагрева ствола при стрельбе, за счет чего кучность стрельбы повышается до 18,1 %.

Использование методики дает возможность анализировать параметры толщины стенки композитной гильзы и объемные соотношения донной части к телу гильзы с учетом обеспечения осевой деформации и контактного давления до наступления предела прочности материала, а также сократить материальные затраты и время на разработку новых и модернизацию существующих композитных гильз к стрелковому оружию. Данная методика базируется на полной адекватности математических моделей оценки и выбора прочности композитной гильзы при заданной толщине стенки.

Список источников

1. Бакланов Д.В. Снижение веса боекомплекта, как фактор повышения эффективности стрел-

кового оружия. Всероссийская научно-практ. конф. «Проблемы развития стрелковой отрасли в Российской Федерации». Ижевск: ИжГТУ им. М.Т. Калашникова, 2024. С. 122–130.

2. Сметанников О.Ю., Труфанов Н.А., Шардаков И.Н. Определяющие соотношения термомеханического поведения полимерных материалов в условиях стеклования и размягчения // Известия РАН. Механика твердого тела. 1997. № 3. С. 106–114.

3. Gonzalez Jr. J.R.: Internal ballistics optimization. Kansas State University Manhattan Department of Mechanical Engineering (1990). 154 p.

4. Gupta V.K.: Internal ballistics of high velocity special purpose guns. Def. Sci. J. 1976. 26 (3). Pp. 133–142.

5. Колесников Ю.В., Морозов Е.М. Механика контактного разрушения. М.: Наука, 1989. 312 с.

6. Ванин Г.А. и др. Современные методы испытаний композиционных материалов // Научно-методический сборник. НТП-4-92; под ред. А.П. Гусенкова. М.: МНТК «Надежность машин», 1992. 247 с.

7. Грузь А.Н. и др. Механика композитных материалов и элементов конструкций: в 3-х т. Т. 2. Механика элементов конструкций. Киев: Наукова думка, 1983. 464 с.

8. Тихомирова К.А., Труфанов Н.А., Шардаков И.Н. Численное и экспериментальное исследование термомеханического поведения стеклующихся полимеров в случае больших деформаций // Вычислительная механика сплошных сред. 2013. Т. 6. № 4. С. 475–482.

УДК 623.624

doi: 10.53816/20753608_2025_2_113

**НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЗАЩИТЫ
БРОНЕТАНКОВОЙ ТЕХНИКИ
ОТ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**
**FUTURE TRENDS FOR PROTECTION IMPROVING
OF ARMORED VEHICLES FROM UNMANNED AERIAL VEHICLES**

По представлению чл.-корр. РАРАН В.В. Степанова

М.С. Андриющенко, А.М. Голик, В.И. Евдокимов

Военная ордена Жукова академия войск национальной гвардии Российской Федерации

M.S. Andryushchenko, A.M. Golik, V.I. Evdokimov

В статье рассмотрены пути совершенствования систем защиты бронетанковой техники с учетом опыта проведения специальной военной операции, характеризующегося широким применением беспилотных летательных аппаратов. Основное внимание уделено возможности совместного применения бортовых станций радиоэлектронной борьбы и систем активной защиты.

Ключевые слова: бронетанковая техника, беспилотный летательный аппарат, радиоэлектронная борьба, система активной защиты.

The article considers ways to improve armored vehicle protection systems, taking into account the experience of conducting a special military operation characterized by the widespread use of unmanned aerial vehicles. The priority attention is paid to the possibility of joint use of onboard electronic warfare stations and active protection systems.

Keywords: armored vehicles, unmanned aerial vehicle, electronic warfare, active protection system.

Опыт специальной военной операции (СВО) заставил пересмотреть характер применения и требования к облику военной техники. Даже делая поправку на специфику СВО, надо отметить, что выявились принципиально новые общие особенности ведения боевых действий, которые будут присутствовать в потенциальных новых конфликтах и должны быть проанализированы и учтены. Рассмотрим, как отразятся эти особенности на формировании облика неконтактной защиты бронетанковой техники (БТТ).

Проводимая более сорока лет разработка средств и комплексов неконтактной защиты [1–4] была в основном направлена на борьбу с управляемыми противотанковыми боеприпасами (ПТУР, управляемыми снарядами, касетными боевыми элементами) [5]. Основными особенностями их атаки были стремительность, высокая скорость подлета к цели, автоматизированный способ наведения. Ими диктовался способ защиты — регистрация момента атаки и быстрая ответная реакция. В комплексах оптико- и радиопротиводействия — своевременная

постановка помех, в системах активной защиты — встречный отстрел контрбоеприпаса. Эти функции, безусловно, должны быть сохранены и в будущем, но их необходимо трансформировать с учетом опыта СВО.

Основным относительно неожиданным явлением стало использование в качестве атакующих противотанковых средств управляемых операторами беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) [6]. Их атака может быть более продолжительна по времени, ее характер и направление могут меняться оператором, часто действия атакующего аппарата контролируются другим БПЛА — разведчиком.

Наличие у БПЛА навигационного канала и каналов связи с оператором делает радиоэлектронную борьбу (РЭБ) основным способом противодействия их атакам [7]. Ход СВО демонстрирует взаимное стремительное развитие облика атакующих БПЛА, способов их применения, с одной стороны и средств постановки радиопомех их каналам управления — с другой. При атаках изменяется структура сигналов в каналах связи БПЛА, вводится кодирование, используются ретрансляторы-усилители [8]. В ответ совершенствуются станции РЭБ. Сложность ситуации состоит в том, что БПЛА используются обеими сторонами конфликта, и перед средствами РЭБ стоит почти невыполнимая совокупность задач: максимально подавить деятельность БПЛА противника, не мешать работе своих аппаратов, сохранить работоспособность в условиях проведения противником радиомониторинга и огневого подавления. Появляются БПЛА с волоконно-оптической линией управления. Разрабатываются варианты автономизации их действий на конечном этапе ата-

ки за счет оснащения оптическими, тепловыми, радиометрическими датчиками и самонаведения с использованием элементов искусственного интеллекта.

Как видно из опыта СВО для защиты бронетехники от простых FPV-дронов первым наиболее простым способом стало создание разнообразных конструкций, препятствующих контакту боеприпаса с броней. Мера достаточно эффективная, но временная и непригодная для потенциальных конфликтов, так как при этом теряется часть уникальных боевых свойств машины. Не выполняются требования по обзорности, работе датчика ветра и радиостанции, развороту башни, эвакуации экипажа, радиолокационной заметности, железнодорожным габаритам и ряду других. Экстренно внедренная мера защиты себя оправдывает, но вряд ли сохранится в перспективе. Попытки за рубежом совместить «мангал» с сохранением боевых качеств БТТ дают лишь частичное решение задачи защиты (рис. 1, 2). Необходимо поиск иных решений.

Можно предполагать, что в будущем именно помеховая станция РЭБ станет основой комплекса защиты бронетехники от БПЛА. Ее структура и функциональные возможности будут меняться по мере необходимости противодействия все более совершенным БПЛА.

Уже началось оснащение БТТ простейшими станциями РЭБ (например, система «Волнорез»), способными перекрывать силовой помехой линии управления стандартных FPV-дронов в спектральном диапазоне от 400 до 6000 МГц [9]. Начато внедрение станций РЭБ, имеющих в составе блок обнаружения атакующего БПЛА с определением направления на него, анализом сигнала и выдачей прицельной встречной



Рис. 1. Танк Type 10 (Япония)



Рис. 2. Танк M1A1SA Abrams (США)

помехи с одновременной постановкой помехи в навигационном канале БПЛА («Сания», «Серп ВС6») [10, 11]. Разрабатываются радиолокаторы обнаружения БПЛА [12].

Ведущиеся широким фронтом работы по дальнейшему совершенствованию станций РЭБ позволяют предполагать их дальнейшее развитие. Подтверждением могут служить образцы, представленные на ежегодно проводимом Пентагоном конкурсе Black Dart по сравнительной оценке эффективности систем защиты от БПЛА [7]. Кратко опишем наиболее совершенные из них. Так, станция Drone Ranger фирмы SCG Security & Counterintelligence Group LLC имеет в составе радар кругового сканирования и систему позиционирования, в которой интегрированы дневные и тепловизионные камеры и радиочастотные глушители. Она способна отслеживать объекты от больших БПЛА до микродронов (с ЭПР 0,006 м² на дальности от 2 до 4 км). Постановщик помех глушит сигналы в используемых БПЛА радиочастотных диапазонах и блокирует сигналы спутниковых систем глобального навигационного позиционирования. Дальность эффективного подавления составляет от 100 м до нескольких километров.

Другой пример — фирма Israel Aerospace Industries (IAI) ELTA представила для обнаружения малоразмерных, медленно и низколетящих воздушных целей трехкоординатный радар ELM-2026BF с радиусом действия 20 км, интегрировав в него алгоритм обнаружения и сопровождения БПЛА и снабдив его оптико-электронным сенсором визуальной идентификации объекта (рис. 3).

Радар дополняет система постановки радиопомех, которая анализирует сигналы контура

управления БПЛА и может заставить его либо вернуться к точке старта (режим «возвращение домой»), либо совершить аварийную посадку. На основе технического задела фирмой IAI ELTA уже разработан образец системы защиты танка «Меркава» ELI-3312, в которой станция совмещена со стреляющим устройством.

Приведенные примеры подтверждают потенциальные возможности станций РЭБ и показывают пути дальнейшего развития их структуры.

Совершенствование атакующих БПЛА, когда помехи станции РЭБ могут быть неэффективны, делает необходимым комплексирование с иными средствами защиты БТТ. Технические задел для этого представляют существующие танковые комплексы активной защиты и оптико-электронного противодействия. Как примеры средств защиты, пригодных для борьбы с БПЛА, могут быть упомянуты комплексы активной защиты (КАЗ) AWISS, Iron Fist LC, LEDS-150 (рис. 4–6).

Каждый из них, получив внешнюю информацию о направлении атаки, способен развернуться на это направление, зарегистрировать своим датчиком подлет боеприпаса и произвести встречный картечный выстрел. При альтернативном применении мортиры могут быть заряжены пиротехническими гранатами, которые скроют защищаемый объект дымовой завесой.

В структуре системы защиты от БПЛА станция РЭБ должна выполнять две основные функции — обнаружение атакующих БПЛА и постановку радиопомех их наведению. При этом именно обнаружение факта и направления атаки создает возможность провести описанными выше средствами КАЗ цикл защиты от БПЛА,



Рис. 3. Образец системы защиты ELI 3312



Рис. 4. КАЗ AWISS

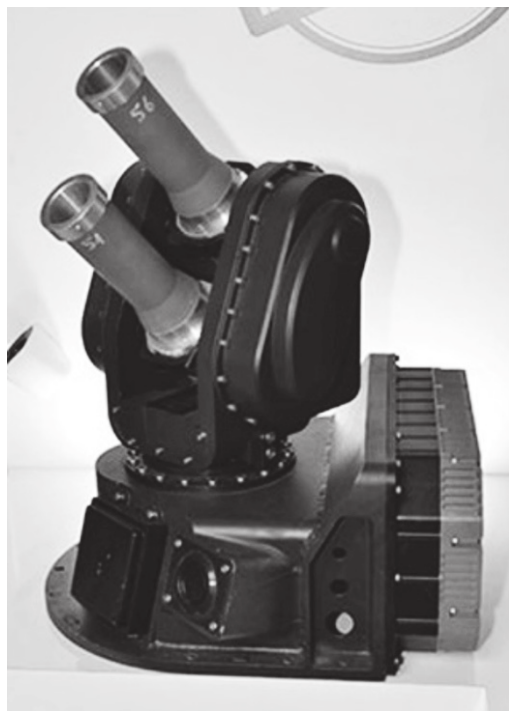


Рис. 5. КАЗ «Iron Fist LC»

стойких к воздействию радиопомех. Кроме того, перспективная станция РЭБ, имея в составе дополнительные средства разведки (радиолокатор, оптико-электронный блок), может быть полезна в плане защиты БТТ средствами КАЗ от атак другими противотанковыми боеприпасами. Радиолокационные обнаружители атакующих боеприпасов, расположенные по бортам машины, позволяют обеспечить целеуказание для защитных боеприпасов, входящих в состав КАЗ [13, 14].

Рассмотрим поэтапно алгоритм работы такого единого комплекса неконтактной защиты БТТ на примере модернизированной защиты танка.

Атака БПЛА.

1. Обнаружение БПЛА средствами станции РЭБ. Анализ сигнала, определение траекторных параметров БПЛА. Оценка степени опасности БПЛА для танка.

2. В случае регистрации атаки танка постановка радиопомехи станцией РЭБ и выдача команды на разворот средств КАЗ на направление атаки. Снятие в КАЗ ограничения на нижний предел уровня сигнала, отраженного от атакующего боеприпаса (ограничение обычно предусматривается в КАЗ для предотвращения срабатывания от пуль, осколков и т.п.).



Рис. 6. Шведская боевая машина CV90 «Armadillo» с КАЗ LEDS-150

3. В процессе подлета БПЛА к танку команды со станции РЭБ продолжают корректировать положение исполнительных средств КАЗ вплоть до момента регистрации БПЛА датчиком КАЗ. Производится встречный картечный выстрел (подрыв защитного боеприпаса).

Атака ПТУР.

1. Обнаружение полета ПТУР средствами разведки станции РЭБ. Определение факта и направления атаки танка.

2. В случае регистрации атаки танка активизация КАЗ и выдача команды на подрыв защитного боеприпаса.

3. При подлете ПТУР к объекту БТТ, его обнаружение датчиком КАЗ и встречный картечный выстрел.

Таким образом, сочетание перспективной станции РЭБ и разработанных для неконтактной защиты КАЗ позволяет сформировать систему защиты бронетехники, позволяющую повысить вероятность обеспечения ее защищенности.

Выводы

1. Развитие систем наведения атакующих бронетехнику БПЛА ставит задачу совершенствования бортовой системы защиты, основой которой должна стать многофункциональная станция РЭБ.

2. Накопленный технический задел по комплексам неконтактной защиты танка от ПТУР может быть использован в бортовой системе защиты БТТ от БПЛА.

3. Многофункциональная перспективная станция РЭБ органично дополняет и усиливает существующие танковые КАЗ.

Список источников

1. Степанов В.В., Андриющенко М.С., Борисов Е.Г. и др. Методы и средства защиты бронетехники. СПб.: Реноме, 2017. 311 с.
2. Сильников М.В., Евдокимов В.И., Алешин А.С. Проблема совершенствования неконтактной защиты бронетанковой техники от современного управляемого оружия // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2020. № 1 (111). С. 83–88.
3. Евдокимов В.И., Сильников М.В., Алешин А.С. Оценка возможности противодействия ПТРК FGM-148 Javelin средствами оптико-электронного противодействия // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2018. № 3–4 (117–118). С. 56–61.
4. Евдокимов В.И., Евстафьев А.В., Лазоркин В.И., Сазыкин А.М. Оценка целесообразности введения оптико-электронного пеленгатора атаки ПТУР в бортовой комплекс защиты объекта бронетанковой техники // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2013. № 9–10 (63–64). С. 78–84.
5. Степанов В.В., Андриющенко М.С., Евдокимов В.И. и др. Современные противотанковые средства. СПб.: Реноме, 2016. 196 с.
6. Баканеев С.А., Сильников М.В., Карпович А.В. и др. Применение беспилотных летательных аппаратов при управлении огнем артиллерии. СПб.: Первый ИПХ, 2023. 93 с.
7. Евдокимов В.И. Охота на «бабочек» // Защита и безопасность. 2020. № 2 (93). С. 32–33.
8. В зоне СВО начали применять созданный в Туле универсальный FPV-ретранслятор // РИА Новости. 27.04.2024. URL: <https://ria.ru/20240427/fpv-retranslyator-1942650097.html> (дата обращения: 03.03.2025).
9. Мобильная система подавления «Волнорез-Н». [Электронный ресурс]: сайт разработчика «Волнорез-Н». URL: <https://rebovolnerez.ru/> (дата обращения: 03.03.2025).
10. Комплекс по борьбе с FPV-дронами «Сания». [Электронный ресурс]: официальный вебсайт производителя компании «3mx». URL: <https://3mx.ru/products/manual-sania-kit?ysclid=m2vwmdm0n3491162792> (дата обращения: 03.03.2025).
11. Устройство подавления СЕРП-ВС6. [Электронный ресурс]: официальный сайт НИИ «Вектор». URL: <https://nii-vektor.ru/ustroystvo-podavleniya-serp-vs6/> (дата обращения: 03.03.2025).
12. Андриющенко М.С., Голик А.М., Саханов С.А. Применение радиолокационных станций с линейной частотной модуляцией зондирующего сигнала для обнаружения малоразмерных беспилотных летательных аппаратов // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2023. № 3–4 (177–178). С. 42–48.
13. Способ целеуказания для системы активной защиты объектов от атакующих боеприпасов: пат. 2792312 Рос. Федерация № 2022125961; заявл. от 04.10.2022; опубл. 21.03.2023. Бюл. № 9. 15 с.
14. Способ активной защиты объекта от атакующих боеприпасов: пат. № 2814292 Рос. Федерация № 2023115075; заявл. от 07.06.2023; опубл. 28.02.2024. Бюл. № 7. 15 с.

УДК 623.454.3

doi: 10.53816/20753608_2025_2_118

**ЭМПИРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ
АВТОМАТИЧЕСКОГО ПРОТИВОПЕХОТНОГО ГРАНАТОМЕТА
С УЧЕТОМ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ**

**EMPIRICAL ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS
OF THE AUTOMATIC ANTI-PERSONNEL GRENADE LAUNCHER
TAKING INTO ACCOUNT CLIMATIC CONDITIONS**

По представлению чл.-корр. РАРАН А.М. Сазыкина

А.В. Китаев¹, Д.И. Чистехин², А.А. Громов¹

¹*Филиал ВА МТО им. А.В. Хрулева (г. Пенза),*

²*Ржевский научно-исследовательский испытательный сертификационный центр*

A.V. Kitaev, D.I. Chistekhin, A.A. Gromov

Проведено экспериментальное исследование влияния параметров снежного покрова на эффективность автоматического противопехотного гранатомета. Разработана эмпирическая модель, прогнозирующая снижение скорости поражающих элементов в зависимости от глубины проникновения и плотности снега, которая позволяет использовать ее для тактических расчетов в арктических условиях.

Ключевые слова: противопехотный гранатомет, эмпирическая оценка, климатические условия, снежный покров, поражающие элементы, динамика торможения.

An experimental study of the effect of snow cover parameters on the effectiveness of an automatic anti-personnel grenade launcher was carried out. An empirical model has been developed that predicts a decrease in the velocity of striking elements depending on the depth of penetration and snow density, which allows it to be used for tactical calculations in Arctic conditions.

Keywords: anti-personnel grenade launcher, empirical assessment, climatic conditions, snow cover, striking elements, braking dynamics.

Современные боевые действия в условиях Арктики и других регионов с экстремальными климатическими условиями требуют учета влияния окружающей среды на эффективность применения оружия. Одним из ключевых факторов, определяющих поражающую способность автоматических противопехотных гранатометов, является взаимодействие осколков гранат со снежным покровом. Снег, обладающий изменчивыми физическими свойствами (плотность, темпера-

тура, структура), может существенно влиять на динамику торможения поражающих элементов (ПЭ), что, в свою очередь, определяет глубину их проникновения и зону поражения.

Несмотря на существующие исследования в области внешней баллистики и механики взаимодействия снарядов с различными средами, вопросы, связанные с поведением осколков гранат в снегу, изучены недостаточно. В частности, отсутствуют надежные эмпирические модели,

позволяющие прогнозировать снижение скорости ПЭ с учетом реальных параметров снежного покрова. Это создает трудности при тактическом планировании применения противопехотных гранатометов в зимних условиях.

Формальная постановка исследовательской задачи заключается в следующем: на основании известных габаритно-массовых характеристик ПЭ, параметров его геометрической формы и начальной скорости проникновения в снежный покров требуется разработать эмпирическую модель, позволяющую рассчитывать динамику снижения скорости ПЭ с учетом изменчивости параметров состояния снега, обусловленных метеорологическими факторами.

Особенностью разрабатываемой модели является ее ориентация на применение в тактических расчетах, что предопределяет следующие требования:

- учет возможности оперативного определения параметров снежного покрова в полевых условиях;
- допустимость приближенных расчетных оценок;
- ориентация на получение практически значимых результатов по определению глубины полного торможения ПЭ и расчета снижения скорости на заданной глубине проникновения.

С точки зрения классификации научных направлений, данное исследование относится к области изучения физических свойств природных сред, а именно — исследованию механических характеристик снежного покрова. Конкретным предметом изучения выступает динамическое сопротивление снежной массы проникновению высокоскоростных (сотни м/с) твердых тел с характерными размерами в миллиметровом диапазоне.

Для корректной постановки задачи необходимо учитывать:

- физико-механические свойства снега: неоднородность плотности по объему, возможное наличие ледяных включений, присутствие посторонних частиц;
- конструктивные особенности ПЭ: массу, геометрические параметры, характеристики формы.

Следует отметить, что естественный снежный покров обладает выраженной структурной неоднородностью, обусловленной: условиями

формирования (температурный режим, ветровая нагрузка), наличием ледяных кристаллов и их агрегатов, включением аэрозольных частиц и твердых примесей [9].

При этом вероятность образования ледяных включений существенно возрастает при понижении температуры снежной массы. В идеальных условиях экспериментального исследования требовалось бы использовать предварительно очищенный (просеянный) снег с контролируемой однородностью плотности по глубине. Однако в рамках настоящего исследования приняты следующие допущения: использован естественный снег без дополнительной очистки; не учитывается возможная слоистость снежного покрова.

Данные допущения обоснованы: ограниченностью материально-технических ресурсов; отсутствием необходимости в высокой точности расчетов; невозможностью оперативного учета слоистости в полевых условиях. Возникающий при этом разброс экспериментальных данных компенсируется применением методов статистической обработки и монотонной аппроксимации результатов. Принимается допущение, что из всего перечня параметров состояния снега значение для исследуемого процесса имеют только его физические характеристики. Снег является однородной дисперсной массой.

Опираясь на доступность быстрого измерения в полевых условиях, в число исходных параметров состояния снега необходимо включить: ρ — массовую плотность снега; T — температуру снега [5].

Влияние температуры снега T , по возможности, должно быть исключено, поскольку определение ее значения в полевых условиях затруднено. Высокоскоростными телами с миллиметровыми габаритами выступают ПЭ — осколки гранат и пули стрелкового оружия.

Исследованиями установлено, что на падение их скорости в различных средах влияют: m_q — масса ПЭ; S_m — площадь мишени, входящая в расчет силы сопротивления движению ПЭ, а также в ряде случаев — форма и длина ПЭ в виде эмпирического коэффициента формы. Определяющее значение имеет скорость входа ПЭ в снежную среду — V_0 . Закон сопротивления прониканию в снежную среду наиболее близок к закону сопротивления прониканию в воду.

На основе анализа исследований движения пуль в воде [3] перечень характеристик ПЭ, влияющих на падение скорости, можно ограничить значениями m_q и S_m . Поскольку явление кавитации в дисперсной снежной среде маловероятно, исходя из анализа физической сущности этого явления, продольным размером ПЭ (длиной) и эмпирическим описанием его формы можно пренебречь [3].

Таким образом, учет зависимости силы сопротивления внедрению в снег от формы и длины объекта утрачивает свое значение.

С учетом проведенного анализа свойств снега и физических конструктивных характеристик ПЭ, влияющих на сопротивление их движению в снегу, задача эксперимента уточняется в следующей формулировке. Располагая значениями массы ПЭ m_q , его площади миделя S_m и начальной скорости входа в снег V_0 , построить эмпирическую зависимость (математическую модель) для расчета падения скорости ПЭ с учетом массовой плотности ρ и температуры T снега.

Согласно постановке задачи экспериментальная установка должна включать в себя устройство для разгона ПЭ до сверхзвуковых скоростей (метательное устройство), имитирующее условия встречи пули или осколка со снежной преградой в реальных боевых условиях, когда скорость полета ПЭ перед встречей близка к максимуму разгона.

Эта скорость для пуль стрелкового оружия составляет от 500 до 1000 м/с, для осколков — до 1400 м/с. Для варьирования типоразмерами ПЭ, определяемыми значениями m_q и S_m , метательное устройство должно иметь возможность изменения габарита (калибра) и скорости метаемого элемента.

Применение в качестве метательного устройства образцов стрелкового оружия со штатными патронами нецелесообразно, поскольку варьирование калибром будет жестко связано со скоростью метания. Изменение скорости метания при одинаковом калибре и массе потребует значительного удаления метательного устройства от преграды или использования различных образцов оружия, перечень которых ограничен. Разделение эффектов влияния типоразмера и скорости встречи ПЭ с преградой в лабораторных условиях будет затруднено и, что немаловажно, финансово дорого в реализации эксперимента.

Наиболее оптимальным решением для проведения экспериментальных исследований явилось применение специализированной лабораторной баллистической установки гладкоствольного типа. Данная установка обеспечивает метание стандартизированных стальных сферических поражающих элементов с регулируемыми массогабаритными характеристиками в диапазоне диаметров 5,56–6,35 мм и масс 0,71–1,05 г. Применение сертифицированных промышленных патронов FixPistols F-D 6,8/18 Д5 гарантирует стабильное воспроизведение начальных скоростей в интервале 650–800 м/с с вариацией не более $\pm 2,5\%$ и повторяемостью выстрелов $\pm 1,2\%$ по скоростным характеристикам, что соответствует требованиям ГОСТ Р 50508–93 «Приборы наблюдательные телескопические. Методы контроля параметров» к баллистическому оборудованию [8].

Конструкция экспериментальной снежной преграды была разработана с учетом необходимости обеспечения стабильности физико-механических характеристик снежного покрова в процессе испытаний. Специальное удерживающее устройство позволяет формировать снежные брикеты с контролируемыми параметрами плотности (50–500 кг/м³) и температуры (–30...+0 °C), сохраняющими стабильность в течение всего периода проведения эксперимента. Конструктивные особенности установки обеспечивают возможность оперативного изменения толщины преграды в диапазоне 0,3–0,6 м с точностью позиционирования $\pm 0,01$ м, а также безопасную транспортировку и точное совмещение с линией выстрела.

Классификация снежных преград для испытаний (табл. 1) учитывает основные эксплуатационно-значимые параметры: плотность снежного покрова, его температурные характеристики и состояние [7]. Особое внимание уделено обеспечению механической стабильности снежного брикета при воздействии ударных нагрузок, что достигается за счет применения специальных армирующих элементов и термостабилизирующих покрытий. Конструкция преграды исключает возможность самопроизвольного разрушения или изменения геометрических параметров в процессе проведения серии экспериментов, что подтверждено контрольными испытаниями по методике НИИ прикладной механики № 1456-2018 [10].

Таблица 1

Классификация снежного покрова

Наименование	Плотность, кг/м ³	Температура, °С
Свежевыпавший сухой	50–150	от –2 до –10
Свежевыпавший мокрый	150–250	от –2 до –10
Лежалый сухой нормальный	250–500	от –2 до –10
Лежалый сухой мороженный	250–500	–30

Наиболее подходящим для выполнения этих требований является брикет снега, размещенный в трубе, торцы которой могут быть закрыты полиэтиленовой пленкой для исключения выпадения снега. Диаметр трубы должен быть таким, чтобы на всем участке прохождения имитатора ПЭ он не касался стенки трубы, и вместе с тем не создавал трудностей при формировании брикета и не прогибался под весом снега. Достаточным для этого является внутренний диаметр трубы не менее 100 мм.

Во избежание изменения состояния снега при подготовке эксперимента материал трубы должен обеспечивать низкую теплопроводность и достаточную устойчивость к нагрузкам на изгиб трубы. Наиболее подходящей для этих целей является пластиковая промышленная труба диаметром 110 мм. Варьирование толщиной брикета снега при использовании такой трубы может осуществляться разрезанием и сокращением ее исходной длины при подготовке опыта. Обязательное испытательное оборудование должно включать:

- весы для определения плотности снега через его массу и объем, определяемый длиной и внутренним диаметром трубы, а также для контроля массы имитатора ПЭ в опыте;
- аппарат охлаждения снега для варьирования его температурой;
- прибор для контроля температуры снега перед опытом;
- электронную систему для регистрации скорости имитатора ПЭ на входе и выходе из трубы,
- электронную систему для визуального подтверждения фактов входа имитатора ПЭ в трубу и выхода из нее;
- инструмент для контроля габарита имитатора ПЭ перед опытом.

На рис. 1 представлен внешний вид экспериментальной установки.

На рис. 2 показан кадр, снятый на высокоскоростную камеру Phantom MIRO 311, отражающий момент вылета имитатора ПЭ из снежного брикета.

Экспериментальная часть исследования базируется на применении современных методик

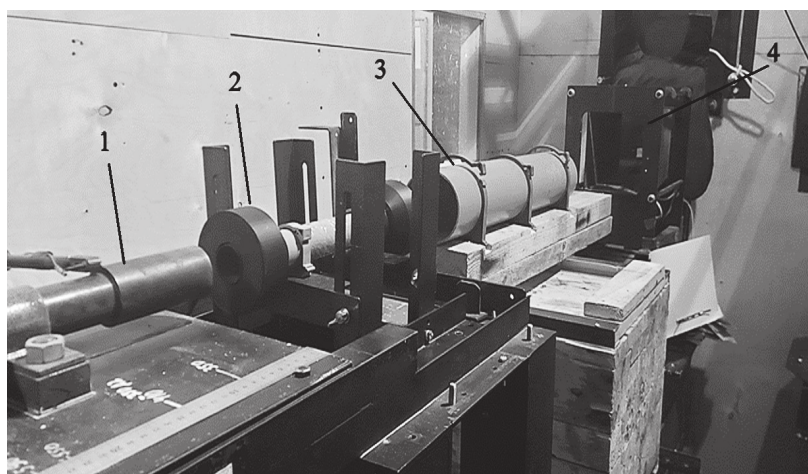


Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки: 1 — баллистический ствол; 2 — регистратор баллистический РБ-1000; 3 — труба для удержания снега; 4 — регистратор скорости пули РС-4М



Рис. 2. Регистрация момента вылета имитатора ПЭ

баллистических испытаний, обеспечивающих высокую точность и воспроизводимость результатов. Основное внимание уделено выбору оптимального способа моделирования процесса взаимодействия поражающих элементов со снежной преградой. Анализ современных работ в области внешней баллистики [2, 6] показал преимущества безразмерного подхода, основанного на теории подобия и размерностей, что подтверждается его успешным применением при моделировании аналогичных процессов.

Ключевым преимуществом безразмерного моделирования является существенное сокращение количества варьируемых параметров при сохранении полноты описания физического процесса. Это позволяет не только упростить математическую модель, но и расширить область ее применения за счет возможности переноса результатов на более широкий диапазон исходных условий. В ходе исследования было установлено, что данный подход особенно эффективен при изучении высокоскоростного взаимодействия тел с дисперсными средами.

В качестве базового безразмерного параметра принято относительное падение скорости поражающего элемента, определяемое как отношение текущей скорости к начальной. Такой выбор обусловлен физической природой изучаемого процесса и позволяет наиболее адекватно описать кинетику торможения в снежном покрове. Важно отметить, что предложенный подход обеспечивает требуемую точность расчетов при сохранении простоты практического применения, что особенно важно для тактических расчетов в полевых условиях.

Разработанная методика экспериментального исследования включает комплексный учет всех значимых факторов, влияющих на про-

цесс торможения, при этом обеспечивается оптимальное соотношение между точностью результатов и трудоемкостью проведения опытов. Особое внимание уделено верификации математической модели, для чего предусмотрена серия контрольных экспериментов с варьированием ключевых параметров в широких пределах. Полученные данные свидетельствуют о высокой адекватности предложенного подхода и его применимости для решения практических задач.

В качестве безразмерного отклика единственно возможным вариантом является относительное падение скорости ПЭ

$$\overline{\Delta}_v = \frac{V_0 - V}{V_0}.$$

Опираясь на структуру и состав дифференциальных уравнений, описывающих торможение в воде, исключая влияние кавитации, можно выделить возможные варианты представления безразмерных факторов процесса. С применением рекомендаций теории подобия был выделен единственный безразмерный фактор процесса, адекватно представляющий все исходные данные для моделирования процесса — безразмерная глубина внедрения

$$\bar{X} = \frac{X \rho S_m}{m_q}. \quad (1)$$

здесь X — размерная глубина внедрения [1].

Корректность выбора вида основного безразмерного фактора $\bar{X}$, выражение (1), подтверждается незначительным (до 10 %) отклонением всех экспериментально полученных значений безразмерного отклика $\overline{\Delta}_v$ от единой аппроксимирующей закономерности, приводимой ниже. План эксперимента построен в виде полного перебора сочетаний 3 типоразмеров имита-

тора ПЭ, 3 толщин (длин трубы) снежного брикета с многоуровневым варьированием сочетанием фактических плотностей и температур снега со значениями регистрируемой скорости на входе в брикет. Выдержка из плана с результатами приводится в табл. 2.

На первом этапе обработки экспериментальных данных был проведен детальный анализ влияния температурного фактора снежного покрова на процесс торможения поражающих элементов. На рис. 3 представлены графики падения скорости ПЭ по всему интервалу варьирования условиями эксперимента, отсортированными по температуре снега. Анализ позволяет сделать следующие выводы:

1) со снижением температуры снега увеличивается разброс результатов измерений, вероятно – из-за появления в снегу льдинок, нарушающих однородность снега;

2) заметного сдвига эмпирической кривой с изменением температуры не происходит, следовательно, температура снега самостоятельно на падение скорости не влияет, влияние реализует-ся через плотность снега;

3) температура снега может не рассматриваться как самостоятельный фактор.

Визуализация данных выполнена с применением методов статистического сглаживания для минимизации влияния случайных погрешностей измерений [4].

Варьирование характеристиками ПЭ и состоянием снега, обеспечивающее получение достоверной математической модели (эмпирической аппроксимации) зависимости $\Delta_V(\bar{X})$, проводилось на трех типоразмерах ПЭ, количественно представленных отношением $\frac{S_m}{m_q}$, а также многочисленными сочетаниями значений произведения $X\rho$, входящих в состав безразмерного фактора (1).

Интервалы варьирования составили: для безразмерного фактора $\bar{X}$ (0,8; 7,4) и для безразмерного отклика Δ_V (0,35; 1,0).

Эти интервалы указывают на практически полный охват прогнозируемого пространства безразмерных откликов (0; 1). Результирующее количество опытов для построения однофакторной модели $\Delta_V(\bar{X})$ составило 105, чего вполне достаточно для оценки достоверности модели. Однако при анализе результатов эксперимента было выделено 15 выбросов с отклонением результата аппроксимации более 10 %.

Таблица 2

Выдержка из плана эксперимента с результатами измерений

Имитатор ПЭ			Характеристики трубы				Снег				Скорость, м/с	
типоразмер	d , мм	m_q , г	внутр. радиус, м	длина, м	объем, м ³	масса пустой трубы, кг	масса трубы со снегом, кг	масса снега, кг	плотность снега, кг/м ³	температура снега, град С	на входе	на выходе
1	6,35	1,05	0,052	0,45	0,00382	0,420	0,985	0,57	147,8	–4	764	331
			0,052	0,45	0,00382	0,430	1,000	0,57	149,1	–4	778	373
			0,052	0,60	0,00510	0,515	1,860	1,35	263,9	–30	742	100
			...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
2	6,00	0,89	0,052	0,30	0,00255	0,280	0,520	0,24	94,2	–4	811	505
			0,052	0,30	0,00255	0,255	0,475	0,22	86,3	–4	820	525
			0,052	0,30	0,00255	0,285	0,520	0,24	92,2	–4	832	518
			...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
3	5,56	0,71	0,052	0,30	0,00255	0,280	0,595	0,32	123,6	–2	818	470
			0,052	0,30	0,00255	0,255	0,615	0,36	141,3	–2	876	494
			0,052	0,30	0,00255	0,285	0,615	0,33	129,5	–2	863	511
			...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

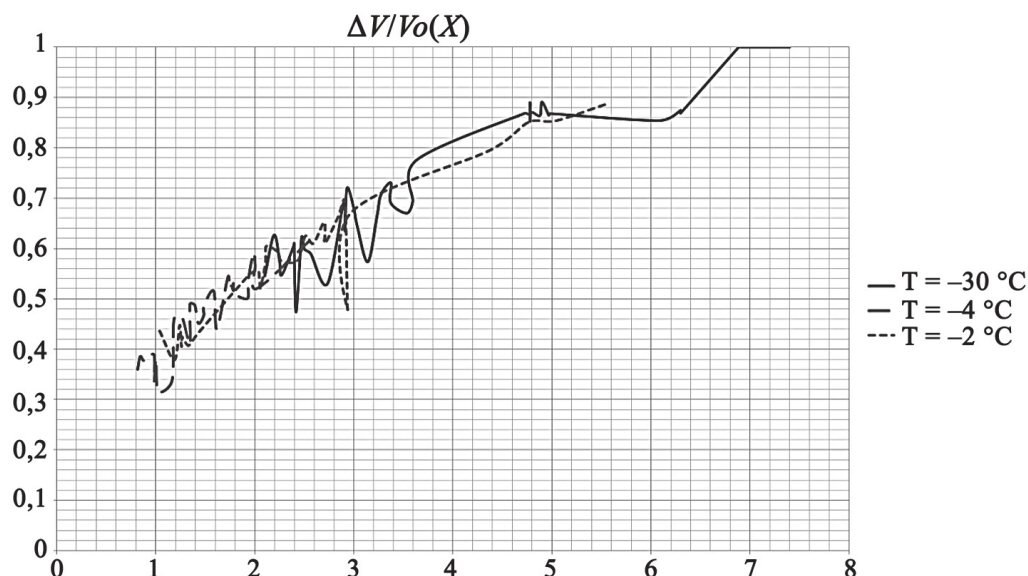


Рис. 3. Анализ вклада температуры снега в характер изменения относительной потери скорости ПЭ

После исключения выбросов была получена аппроксимация искомой зависимости по 90 опытам в виде:

$$\overline{\Delta V} = 1 - e^{-y},$$

где

$$y = \bar{X} e^{0,05(\bar{X}-8)(\bar{X}+1)}.$$

Качество полученной аппроксимации иллюстрируется на рис. 4.

При $\bar{X} > 8$ полное торможение ПЭ в снегу практически гарантировано, что позволяет определить размерную глубину внедрения только с использованием формулы (1). Модель охватывает все возможные сочетания размерных факторов в формуле (1). Это означает обеспечение воспроизводимости модели для осколков гранат,

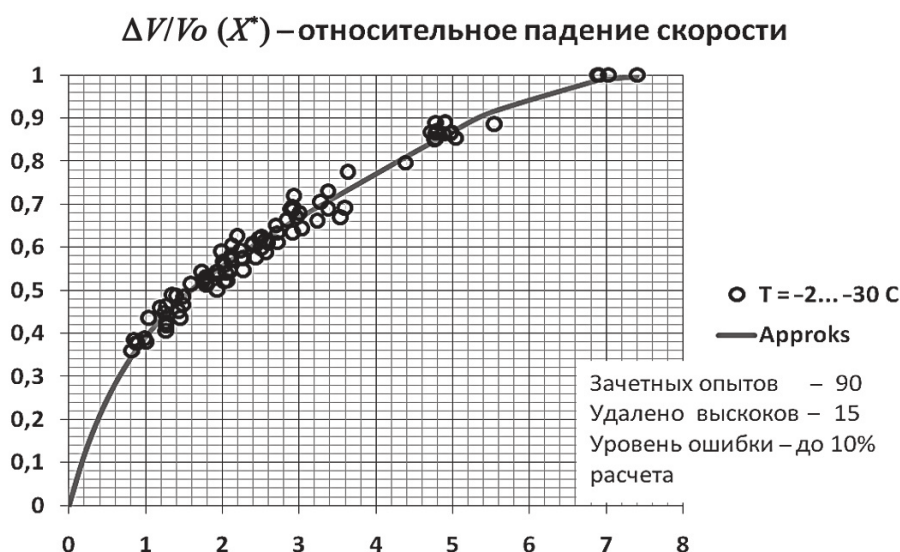


Рис. 4. Эмпирическая аппроксимация закона падения скорости ПЭ, внедряющегося в снег, при различном состоянии снега

имеющих меньший размер и одновременно меньшую массу, а также и для пуль крупного калибра с большей массой. Адекватность результатов эксперимента очевидна без определения значений критерия Фишера. Она подтверждается большим количеством опытов и малым уровнем ошибки расчета — до 10 %, находящейся на уровне ошибки измерений, связанной с неоднородностью структуры снега.

Таким образом, задача построения эмпирической зависимости (математической модели) для расчета падения скорости ПЭ с учетом состояния снега решена. Благодаря высокой адекватности результатов расчета, предложенный метод решения задачи может быть рекомендован к внедрению.

Выводы

1. Уточненная постановка задачи экспериментального исследования, располагая значениями массы ПЭ m_q , его площади миделя S_m и начальной скорости V_0 входа в снег, позволяет построить эмпирическую зависимость (математическую модель) для расчета падения скорости ПЭ с учетом состояния снега.

2. Объект испытаний (снег) в экспериментах представлен брикетом, находящимся в трубе, с изменяемыми параметрами состояния наполнителя, извлеченного из реальных природных насыпей, уплотняемых, увлажняемых и охлаждаемых по необходимости.

3. Анализ результатов эксперимента позволил исключить влияние температуры снега, как отдельного фактора, и ограничиться только учетом плотности снега.

4. Выбор безразмерного подхода к моделированию процесса внедрения ПЭ в снег создал предпосылки к получению однофакторной эмпирической математической модели.

5. План эксперимента построен с полным перебором на 3 уровнях сочетаний типоразмеров ПЭ и толщины брикета, с избыточным варьированием плотностью снега и скоростью входа в него ПЭ.

6. Полученная эмпирическая математическая модель имеет высокую адекватность и может быть использована для практического применения даже при увеличении размаха варьирования типоразмерами ПЭ.

Список источников

1. Бойко В.П., Рыбачков А.В. Единая методология моделирования снопа траекторий пуль и гранат при стрельбе очередями // Научные труды 3 Центрального научно-исследовательского института Министерства обороны Российской Федерации. Книга 58. М.: 3 ЦНИИ МО РФ, 2020. С. 32–41.
2. Коновалов А.А., Николаев Ю.В. Внешняя баллистика. М.: ЦНИИ информации, 1979. 228 с.
3. Галаш Ю.Ф. Динамика проникания тел в сыпучие и дисперсные среды. М.: Физматлит, 2008. 256 с.
4. Громов А.А., Потоцкий С.В., Павлюченко А.Н. и др. Экспериментальные и численные исследования по оценке пробития баллистических защитных пластин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2024. № 4. С. 159–163.
5. Савельев И.В. Курс общей физики. Том 1: Механика. Молекулярная физика. М.: Наука, 1982. 432 с.
6. Петров А.Н. Баллистика стрелкового оружия. СПб.: Политехника, 2015. 304 с.
7. Иванов С.П., Белов К.М. Физико-механические свойства снега и льда в арктических условиях. М.: МГУ, 2019. 178 с.
8. ГОСТ Р 50508-93. Средства баллистические. Методы испытаний на устойчивость к климатическим воздействиям. М.: Стандартинформ, 1993.
9. Смирнов В.А. Влияние экстремально низких температур на эксплуатационные характеристики вооружения // Военная мысль. 2021. № 5. С. 45–52.
10. Отчет НИИ прикладной механики № 1456-2018. Методика испытаний средств поражения в условиях снежного покрова. М.: НИИ ПМ, 2018. 67 с.

УДК 621.454

doi: 10.53816/20753608_2025_2_126

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ ПАСТООБРАЗНЫХ ТОПЛИВ MODELING THE COMBUSTION PROCESS OF PASTY PROPELLANTS

Чл.-корр. РАРАН В.А. Бабук, Э.С. Бурачек

БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

V.A. Babuk, E.S. Burachek

В статье рассматриваются методы моделирования горения высокоэнергетических пастообразных топлив для космических двигателей. Разработана физическая картина процесса и математический аппарат для моделирования. Проведен анализ результатов, подтверждена правомерность модели и ее применение для оценки рецептур. Определены пути ее улучшения.

Ключевые слова: топливо, условное топливо, скорость горения, структура топлива, пастообразное топливо.

The article discusses methods for modeling the combustion process of high-energy pasty propellants for space propulsion engines. A physical picture of the process and a mathematical apparatus for solving the modeling problem are presented. The analysis confirms the validity of the model and its applicability for estimating composition solutions. Directions for model improvement are outlined.

Keywords: propellant, conventional propellants, burning rate, propellant structure, pasty propellant.

Введение

Двигатели космического назначения предназначены для решения разнообразных задач, связанных с транспортировкой аппарата, коррекцией орбиты, торможением спускаемого аппарата и т.д. Универсальным требованием к подобным двигателям, как и ко всем изделиям, используемым в космосе, является обеспечение высоких массово-габаритных характеристик. Как правило, используются химические двигатели — двигатели на жидком (ЖРД) и твердом (РДТТ) топливе. Возможной альтернативой этим двигателям являются двигатели на пастообразном топливе (РДПТ). Совокупность достоинств, заимствованных от ЖРД и РДТТ, делает РДПТ перспективным инструментом

для решения различных задач. Сдерживающим фактором при создании высокоэффективных РДПТ является недостаточная изученность процесса горения пастообразных топлив в настоящее время.

К пастообразным топливам (ПТ) [1, 2] относятся высоковязкие гетерогенные наполненные системы, сохраняющие физико-химическую стабильность и вязкотекучее состояние в заданном температурном диапазоне эксплуатации и хранения [1]. Основная компонентная база пастообразных топлив сходна с компонентной базой твердых топлив. Однако пастообразные топлива отличаются использованием так называемого жидковязкого связующего [1]. В известном смысле пастообразные топлива близки по свойствам к твердым топливам с неотвержденным

связующим, которое обеспечивает седиментационную устойчивость топлива [1, 2].

Целью настоящей работы является создание модели процесса горения ПТ, обеспечивающей решение задачи прогнозирования закона скорости горения.

Состав исследуемых топливных композиций

Авторами работы [2] был разработан состав ПТ для двигательных установок космического назначения. Он включает перхлорат полиэтиленполиамины, пластифицированный этиленгликолем (ХПЕПА-22Э); октоген (НМХ); перхлорат аммония (ПХА) и алюминий (АI). Определен состав компонентов: ХПЕПА-22Э — 21%; НМХ — 28,27%; ПХА — 30%; АI — 20,73%. Данное рецептурное решение представляет собой базовый состав (Bas_0). Посредством модификации связующего с целью увеличения скорости горения [2] был получен топливный состав Bas_1. Добавление 0,5% (масс.) активированного угля в состав Bas_1 для изменения закона скорости горения — приводит к появлению состава Bas_2 [3]. В работе [4] исследуется влияние дисперсности окислителя при использовании состава Bas_2 на процесс горения. Таким образом, вводятся следующие композиции: Bas_3 (только мелкая фракция ПХА), Bas_4 (только крупная фракция ПХА). Последовательное развитие компонентного состава топливных композиций представлено схемой на рис. 1.

Результаты экспериментального исследования процесса горения

Применительно к ранее рассмотренным топливным композициям проведено экспериментальное исследование процесса горения, методика которого описана в работах [2, 3]. Результаты этого исследования обеспечивают определение закона скорости горения, характеристик процесса агломерации, а также свойств поверхностного слоя.

Зависимости, приведенные на рис. 2, 3 [4], иллюстрируют влияние рецептурных решений на скорость горения r_b и степень вовлеченности металлического горючего в агломерационный процесс Z_m^a .

Фиксируется образование каркасного слоя (КС), который представляет собой газопроницаемую объемную структуру, состоящую из углеродистых элементов, металла и его оксида, и находящуюся в поверхностном слое горящего топлива [5, 6]. Особенностью КС является то, что он занимает только часть поверхности свободной от частиц окислителя.

Отметим, что параметр Z_m^a коррелируется с долей поверхности горящего топлива, на которой имеет место формирование каркасного слоя.

Физическая картина процесса горения

Ранее, в работе [4], была представлена общая физическая картина процесса горения

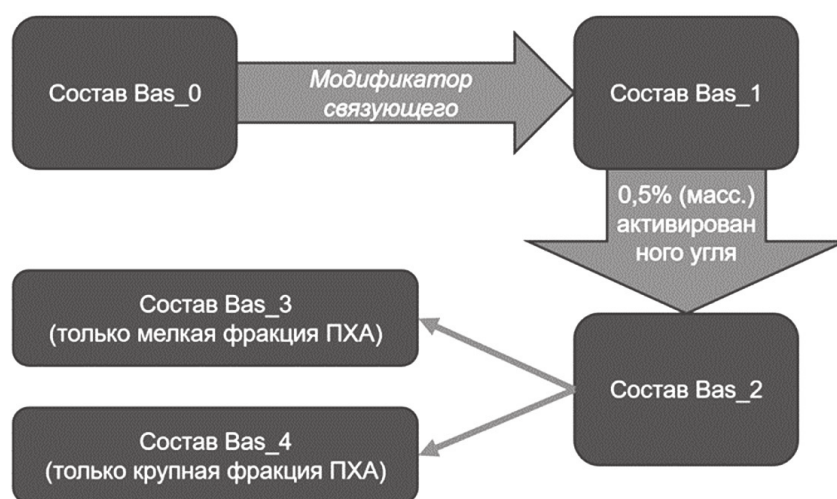


Рис. 1. Схема трансформации рецептурных решений

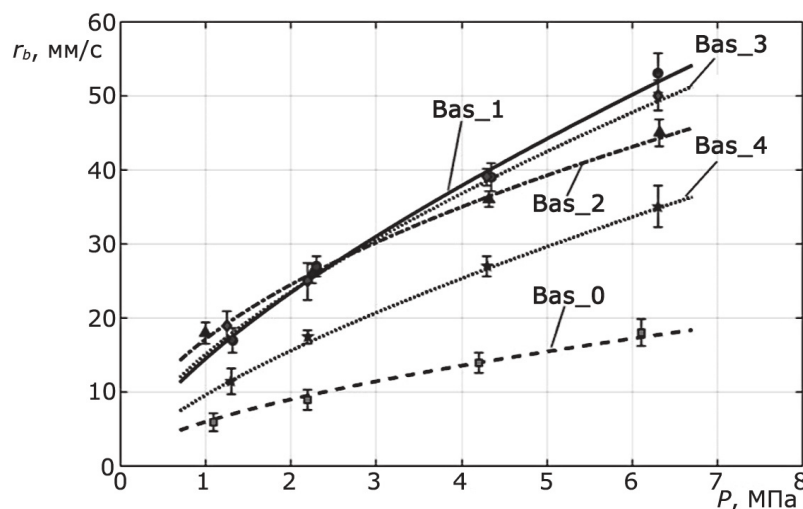


Рис. 2. Зависимость скорости горения топливных композиций от давления

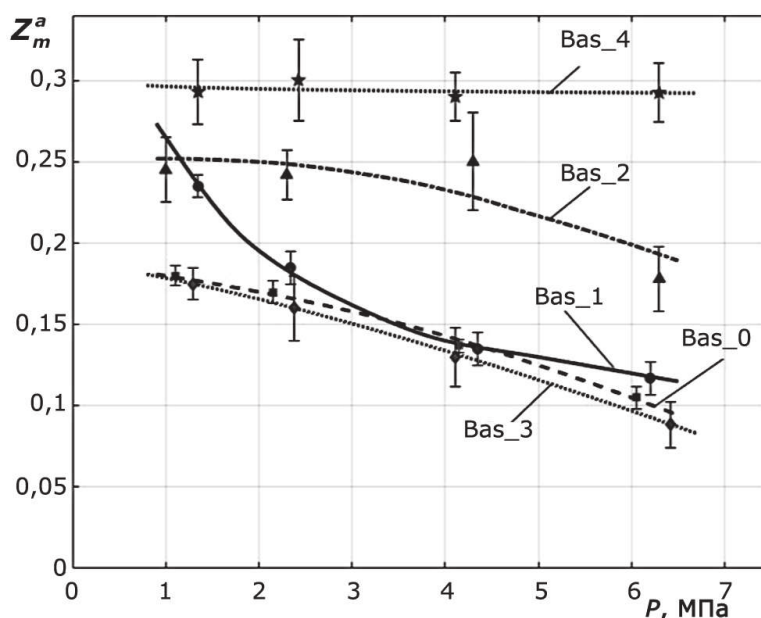


Рис. 3. Зависимости массовой доли агломерирующего металла от давления

исследуемых ПТ. Она базируется на введении понятий об условных топливах, которые связаны со структурой топлива. Эта структура описывается в свою очередь с помощью таких понятий, как «карман» и «межкарманный мостик» (МКМ). «Карман» — это ячейка композиции связующее — металл, ограниченная частицами окислителя, а «межкарманный мостик» — ячейка этой композиции между двумя частицами окислителя, формирующими «карман». Существенной особенностью «кармана» является возможность образования каркасного слоя, а следовательно, и агломератов. Установлено, что на-

личие КС имеет значительное влияние на закон скорости горения [6].

Учитывая тепловую природу процесса горения, скорость горения в существенной мере определяется тепловыми потоками, поступающими из газовой фазы в конденсированную фазу горящего топлива. В этой связи выделим источники тепловыделения (пламена) в газовой фазе. При горении «межкарманных мостиков» формируется топливная смесь, которая в значительной степени является однородной, образуя гомогенное (кинетическое) пламя. В границах «карманов» имеет место

формирование гомогенного пламени при наличии КС, гомогенного пламени при отсутствии КС и диффузионного пламени. Отдельно необходимо выделить тепловыделение, обусловленное сгоранием агломерирующего металла в пределах КС. Схема пламен в зоне горения представлена на рис. 4.

Таким образом, разработанное описание позволяет определить источники тепловыделения, обеспечивающие реализацию процесса горения. Это описание может служить основой для математического моделирования процесса горения рассматриваемых топлив.

Математическое описание процесса горения

В основе математического описания процесса горения ПТ лежит идеология модели конкурирующих пламен, также известная как Beckstead — Derr — Price (BDP) модель [7].

Допущением BDP-модели является утверждение о том, что поверхность горения — плоская. Следовательно, для упрощения проводимых расчетов не учитывается кривизна поверхности горения, которая имеет место при распространении волны горения.

Топливная композиция рассматривается как совокупность двух условных топлив (УТ), способных к самостоятельному горению:

1) гомогенное топливо — смесь горюче-связующего, порошка алюминия и мелкой фракции ПХА;

2) гетерогенное топливо — смесь горюче-связующего, порошка алюминия, мелкой и крупной фракции ПХА, НМХ.

Знание скоростей горения условных топлив и их содержания в составе ПТ позволяет определить и скорость горения топлива в целом [8]:

$$r_b = \frac{1}{\gamma_1 / r_{p1} + \gamma_2 / r_{p2}},$$

где γ_1 , γ_2 , r_{p1} , r_{p2} — объемные доли и скорости горения условных топлив.

Рассмотрим принципы математического описания процесса горения условных топлив. При этом примем следующие допущения:

- распределение параметров области горения является одномерным;
- температура газовой фазы в зависимости от пространственной координаты изменяется линейно;

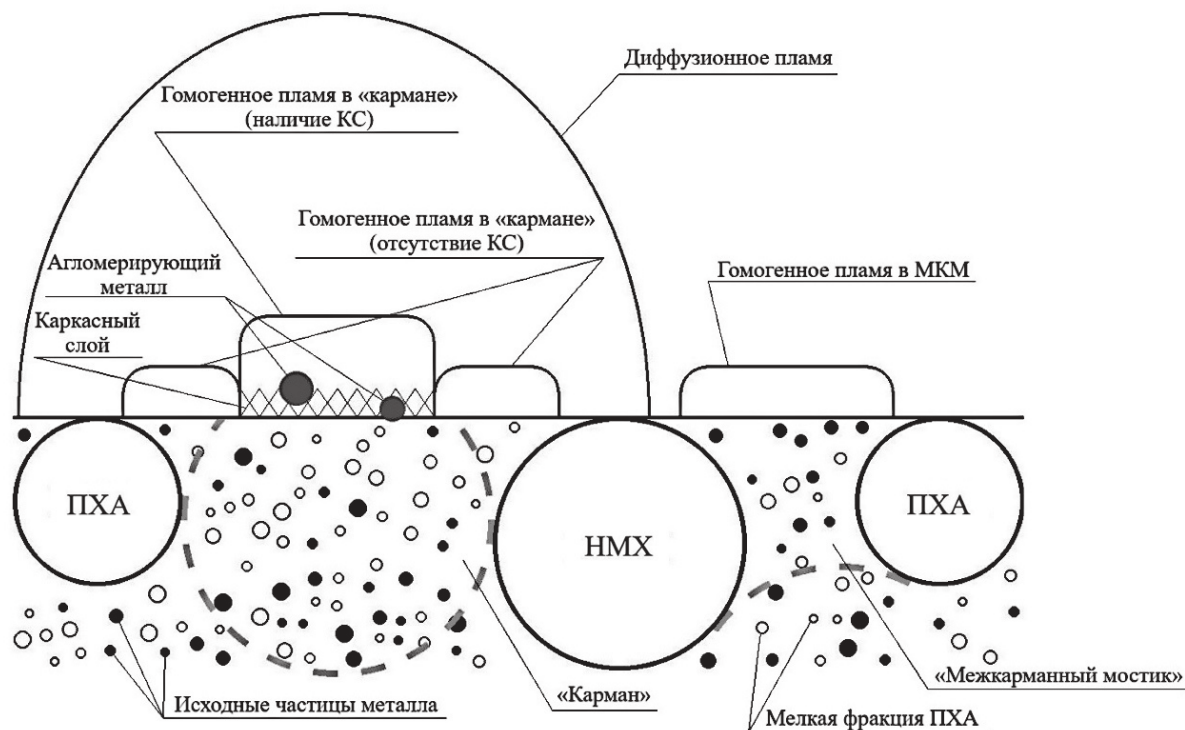


Рис. 4. Схематизация пламен в зоне горения

– реакции в конденсированной фазе осуществляются на поверхности горящего топлива;

– параметры диффузионного пламени определяются только молекулярной диффузией.

Учитывая идеологию BDP-модели и введенные допущения, уравнение, выражающее наличие теплового баланса на поверхности каждого УТ, имеет следующий вид:

$$q_{to_c} = r_p \rho_p [c_p (T_s - T_i) + \Delta H], \quad (1)$$

где q_{to_c} — плотность теплового потока, поступающая в конденсированную фазу из области горения;

r_p — линейная скорость горения условного топлива;

ρ_p — плотность исходного топлива;

c_p — удельная теплоемкость исходного топлива;

T_s, T_i — температура поверхности горения условного топлива и начальная температура топлива;

ΔH — удельная теплота физико-химических превращений в конденсированной фазе.

Соотношение (1) является следствием закона сохранения энергии. Массовая скорость горения может быть определена при использовании одного из основных соотношений химической кинетики — уравнения Аррениуса. Оценим процесс горения как реакцию нулевого порядка. Тогда массовая скорость горения УТ имеет следующий вид:

$$r_p \rho_p = A \cdot e^{-\frac{E}{RT_s}},$$

где A — предэкспонентный коэффициент;

E — энергия активации разложения условного топлива;

R — универсальная газовая постоянная.

Первое УТ располагается в пределах «межкарманных мостиков» (рис. 4). Интенсивность подвода тепла из зоны горения в газовой фазе зависит от кинетических факторов. Величина q_{to_c} определяется следующим образом:

$$q_{to_c} = q_{hf},$$

где q_{hf} — плотность теплового потока однородного пламени.

Величина q_{hf} зависит от температуры пламени и поверхности топлива, теплофизических свойств газовой фазы и параметров, определяющих кинетику химических реакций в этой фазе [9].

Второе условное топливо располагается в пределах «карманов». Оно имеет в значительной степени неоднородную структуру — реализуется механизм горения гетерогенного топлива. При определении q_{to_c} учитывается доля поверхности «кармана», которая покрыта каркасным слоем. В общем случае выражение для определения q_{to_c} имеет следующий вид:

$$q_{to_c} = (1 - \xi) \cdot q'_{hf} + \xi \cdot (q_{mb} + q''_{hf}) + q_{df},$$

где ξ — доля поверхности «кармана», на которой находится каркасный слой;

q'_{hf} — плотность теплового потока от однородного пламени при отсутствии каркасного слоя;

q_{mb} — плотность теплового потока, обусловленного горением металла в каркасном слое;

q''_{hf} — плотность теплового потока от однородного пламени при наличии каркасного слоя;

q_{df} — плотность теплового потока от диффузионного пламени.

Интенсивность подвода тепла от однородного пламени описывается также как и для первого условного топлива. Определение величины q_{df} базируется на знании температуры и высоты диффузионного пламени. Эта высота определяется при использовании размера частиц крупной фракции окислителя и коэффициента молекулярной диффузии [9].

При определении величины q_{mb} считается, что теплоподвод от КС определяется сгоранием металла в гетерогенном режиме [10]. Для отыскания этой величины используется соотношение следующего вида:

$$q_{mb} = H_{mb} \cdot e^{-\frac{E_m}{RT_m}} T_m;$$

$$T_m = k_m \cdot T_{melting} + (1 - k_m) \cdot T_{boiling},$$

где H_{mb} — постоянный коэффициент;

E_m — эффективная энергия активации;

T_m — температура металла;

k_m — коэффициент, учитывающий неопределенность температуры металла;

$T_{melting}$ — температура плавления оксида металла;

$T_{boiling}$ — температура кипения системы металл — оксид.

Приведенное выше описание предполагает наличие пространственного информационного обеспечения. Предполагается, что часть этого обеспечения должна быть получена при использовании экспериментальных данных, а другая — посредством применения расчетных средств. Рассмотрим используемые расчетные методы.

Информационное обеспечение

Расчетными методами могут быть определены характеристики пламен и параметры структуры топлива.

Для отыскания характеристик пламен предлагается использовать аппарат равновесной термодинамики [11]. В основе определения характеристик пламен лежит следующее допущение. Топливо состоит из совокупности фрагментов, горение которых осуществляется в адиабатных условиях с образованием равновесной смеси продуктов сгорания. Характеристики этой смеси и определяют характеристики соответствующего пламени. Исходные данные (условная формула и энтальпия) определяются исходя из содержания компонентов в соответствующем фрагменте.

Определим рассматриваемые фрагменты и тип пламени, которым они соответствуют.

1. Связующее, мелкая фракция ПХА, частично крупная фракция окислителя, Al — гомогенное пламя первого УТ.

2. Связующее, мелкая фракция ПХА, Al — гомогенное пламя второго УТ при отсутствии КС.

3. Связующее, мелкая фракция ПХА, Al — гомогенное пламя второго УТ при наличии КС.

4. Связующее, ПХА, НМХ, неагломерирующее металлическое горючее — диффузионное пламя второго УТ.

Результатом расчета являются температуры всех рассмотренных пламен.

Определение характеристик структуры осуществлялось при использовании модели, представленной в работе [12]. Эти характеристики обеспечивают отыскание соотношения между «карманами» и МКМ, параметров дисперсности «карманов» и частиц окислителя, формирующих «карманы» различных размеров.

Схематизация структуры при использовании таких понятий, как «карман» и МКМ, показана на рис. 5.

Входными данными используемой модели являются:

- параметры дисперсности частиц окислителя;
- содержание компонентов в составе топлива.

Результаты моделирования структуры ПТ для топливных составов Bas_1, Bas_2, Bas_3 и Bas_4 представлены в таблице.

Решение задачи многопараметрической оптимизации

Для подтверждения адекватности предложенной модели, а также получения ее информационного обеспечения используется оптимизационная процедура.

Следствием ее реализации является определение варьируемых параметров, обеспечивающих минимальное значение целевой функции, при наличии функциональных и параметрических ограничений.

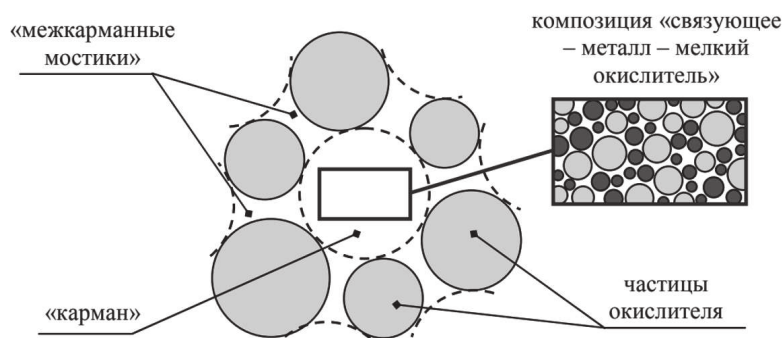


Рис. 5. Схематизация структуры ПТ

Результаты моделирования структуры исследуемых ПТ

	Средне-массовый размер «карманов», мкм	Массовая доля «карманов» в композиции «связующее — металл», мкм	Средне-массовый размер частиц, образующих «карман», мкм
Bas_1	104,67	0,702	204
Bas_2			
Bas_3	91,87	0,568	189
Bas_4	143,19	0,561	212

Целевой функцией является параметр, определяющий рассогласование между расчетными и экспериментальными данными:

$$err = \frac{\sum_{i=1}^k \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{((r_b)_i - (r_{exp})_i)^2}{(r_{exp})_i^2}} / n}{k},$$

где k — количество исследуемых топливных составов;

n — количество точек по давлению, используемых для оптимизации;

$(r_b)_i$ — расчетное значение скорости горения для i -го давления;

$(r_{exp})_i$ — экспериментально определенная скорость горения для i -го давления.

Абсолютное значение параметра err можно рассматривать как параметр, определяющий качество моделирования.

В качестве варьируемых используются параметры, которые определяют кинетику процессов в газовой и конденсированной фазах.

В условиях многопараметрической оптимизации велика вероятность того, что искомые величины примут значения, которые противоречат физической природе рассматриваемых процессов. Для решения этой проблемы вводится совокупность функциональных и параметрических ограничений. Рассмотрим эти ограничения.

Температура поверхности условных топлив принимается в диапазоне от 600 до 750 К, что соответствует экспериментально наблюдаемым значениям [9]. Параметрическое ограничение на энергию активации реакций в газовой фазе (МКМ и «карман») сводится к диапазону от $5e+4$ до $2e+5$ Дж/моль [13].

Кроме того, в рамках идеологии BDP-модели, вводится ограничение на соотношение плот-

ностей тепловых потоков от различных источников тепловыделения. Они должны быть «конкурентно способны». В настоящей работе применялось ограничение к плотностям тепловых потоков в «кармане», за исключением плотности теплового потока, поступающего от горящего металла в пределах КС, — максимальная плотность теплового потока может отстоять от минимального не более чем в 100 раз.

Для получения физически правомерных результатов требуется выполнение условия превышения линейной скорости горения МКМ над скоростью горения «кармана».

Решение оптимизационной задачи

К настоящему времени разработано множество алгоритмов решения оптимизационных задач — нахождения глобального минимума функции. В рамках настоящей работы используется метод дифференциальной эволюции (DE) [14]. Данный метод представляет собой прямой метод многомерной математической оптимизации, относящийся к классу стохастических алгоритмов оптимизации и использующий некоторые идеи генетических алгоритмов. Метод DE предназначен для нахождения глобального минимума недифференцируемых, нелинейных, мультимодальных функций от многих переменных. Основными достоинствами данного метода являются простота реализации алгоритма в программном коде и возможность распараллеливания вычислений, что позволяет сократить время счета на многоядерных ЭВМ.

Оптимизационным задачам с высокой степенью размерности может сопутствовать значительное количество локальных минимумов. Возникает проблема влияния начальных значе-

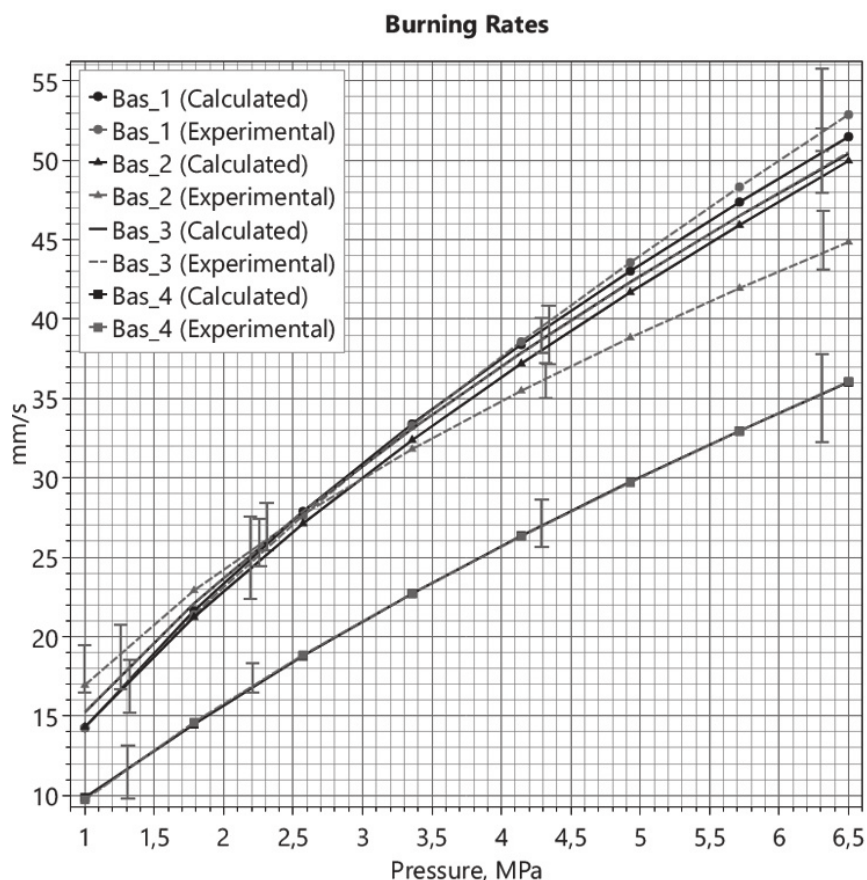


Рис. 6. График зависимости скорости горения от давления

ний варьируемых параметров на получаемый результат. Уверенность в соответствии полученного решения глобальному минимуму требует отдельного исследования. В рамках настоящей работы проводился многократный запуск оптимизационного алгоритма. Было показано, что ввиду стохастической природы алгоритма DE изменение значений не влияет на получаемый результат.

Обсуждение полученных результатов. Направление дальнейших работ

Анализ экспериментальных данных позволил сделать вывод, что процесс горения составов Bas_1, Bas_2, Bas_3, Bas_4 отличается только параметрами структуры (соотношением «карманов» и МКМ) и относительной поверхностью «карманов», на которой формируется каркасный слой (параметр ξ). Применительно к этим составам и была использована разработанная модель. Полученное значение целевой функции со-

ставляет величину 0,027. На рис. 6 приведены расчетные и экспериментальные зависимости скорости горения от давления.

Полученные результаты свидетельствуют, что наибольшие проблемы при моделировании процесса горения существуют для состава Bas_2 (рис. 6). Для остальных составов расчетные зависимости $r_b(P)$ находятся в пределах доверительных интервалов, полученных экспериментально (рис. 6). В целом можно говорить, что модель позволяет описывать основные закономерности процесса горения.

Состав Bas_2 отличается от состава Bas_1 только интенсификацией образования КС и, как следствие, существенно большей вовлеченностью металлического горючего в агломерационный процесс (рис. 3). Был сделан вывод о наличии проблем при описании теплового потока, возникающего вследствие наличия КС. По-видимому, при определении величины q_{mb} следует учитывать геометрические размеры и структуру каркасного слоя, а также влияние на эти характе-

ристики давления. Направление дальнейших работ по совершенствованию моделирования процесса горения должно быть связано с решением этой проблемы.

Заключение

При выполнении настоящей работы получены следующие основные результаты.

1. Разработан алгоритм описания сложного физического явления — процесса горения высокоэнергетического пастообразного топлива, базирующийся на использовании процедуры многопараметрической оптимизации.

2. Создана математическая модель процесса горения пастообразных топлив. Модель базируется на полученном экспериментальном материале. Она позволяет оценивать влияние различных рецептурных решений на закон скорости горения этих топлив. Эти решения связаны с изменением содержания компонентов, дисперсностью окислителя, наличием добавок, влияющих на формирование каркасного слоя. Определены направления совершенствования модели.

Список источников

1. Ракетно-прямоточные двигатели на твердых и пастообразных топливах. Основы проектирования и экспериментальной отработки / Соколкин В.А. [и др.]. М.: Физматлит, 2010. 321 с.

2. Бабук В.А., Куклин Д.И., Нарыжный С.Ю., Низяев А.А. Пастообразные топлива и закономерности их горения // Физика горения и взрыва. 2023. Т. 59. № 2. С. 125–132.

3. Babuk V.A., Kuklin D.I., Naryzhny S.Yu. Features of the mechanism of pasty propellants burning // Energetic Materials Frontiers. 2024. Vol. 5. Issue 3. Pp. 232–238.

4. Бабук В.А., Куклин Д.И., Нарыжный С.Ю., Низяев А.А. Рецептурные решения и закономерности горения пастообразных конденсированных систем // Горение и взрыв. 2024. Т. 17. № 3. С. 101–110.

5. Бабук В.А. Свойства поверхностного слоя и закономерности горения металлизированных твердых топлив // Физика горения и взрыва. 2009. Т. 45. № 4. С. 159–165.

6. Будный Н.Л., Куклин Д.И., Нарыжный С.Ю., Низяев А.А. и др. Промежуточные структуры в процессе горения высокоэнергетических конденсированных систем // Физика горения и взрыва. 2022. Т. 58. № 4. С. 16–23.

7. Beckstead M.W., Derr R.L., Price C.F. A model of composite solid-propellant combustion based on multiple flames. AIAA J, 1970; 8(12):2200-7.

8. G. Lengelle, J. Duterque, and J.F. Trubert, Physico-Chemical Mechanisms of Solid Propellant Combustion, in V. Yang, T.B. Brill, and W.Z. Ren, (Eds), Solid Propellant Chemistry, Combustion, and Motor Interior Ballistics, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Reston, 2000. Pp. 287–334.

9. Пономаренко В.К. Ракетные топлива: учебник. СПб.: ВИККА им. А.Ф. Можайского, 1995. 619 с.

10. Valery Babuk, Ildar Dolotkazin, Alexey Gamsov, Andrey Glebov, Luigi T. DeLuca, and Luciano Galfetti. Nanoaluminum as a Solid Propellant Fuel // Journal of Propulsion and Power, 2009. V. 25. No. 2. Pp. 482–489.

11. Термодинамические и теплофизические свойства продуктов сгорания. Т. 1; под ред. В.П. Глушко. М. 1971. 266 с.

12. Бабук В.А., Низяев А.А. Моделирование структуры смесевых твердых топлив и проблема описания процесса агломерации // Химическая физика и мезоскопия. 2014. Т. 16. № 1. С. 31–42.

13. Карзунов М.Д., Бабук В.А. Моделирование процесса горения пастообразных топлив // Молодежь. Техника. Космос: труды XV общероссийской молодежной науч.-техн. конф. в 4 т. 2023. Т. 1. С. 72–75.

14. R. Storn and K. Price. Differential evolution — A simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces // J. Global Optim. 1997. Vol. 11. No 4. Pp. 341–359.

УДК 620.179.1

doi: 10.53816/20753608_2025_2_135

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ
МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ОБЪЕКТОВ
АЗОТОКИСЛОРОДОДОБЫВАЮЩИХ СТАНЦИЙ
С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ**

**TECHNICAL DIAGNOSTICS OF NITROGEN AND OXYGEN PRODUCTION
STATIONS METAL STRUCTURES USING THE ACOUSTIC EMISSION METHOD**

По представлению академика РАН В.Ю. Мелешко

И.А. Меделяев, А.В. Челноков, В.А. Гатауллин

Военная академия Ракетных войск стратегического назначения имени Петра Великого

I.A. Medelyaev, A.V. Chelnokov, V.A. Gataullin

Информационная модель агрегата (сооружения) ракетного комплекса при динамическом нагружении может быть представлена системой с одной степенью свободы. Для сложных технических систем такие оценки имеют смысл первого приближения, но для решения задачи подтверждения требований заказчика к изделию, часто, таких оценок оказывается достаточно.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, дефект, акустическая эмиссия, сосуд, техническое диагностирование/

An information model of a rocket complex unit (structure) under dynamic loading can be represented by a system with one degree of freedom. For complex technical systems, such estimates make sense as a first approximation, but to solve the problem of confirming the customer's requirements for the product, such estimates often turn out to be sufficient.

Keywords: non-destructive testing, defect, acoustic emission, vessel, technical diagnostics.

Исследование проблем оценки технического состояния оборудования, применяющегося как на опасных производственных объектах, так и в сфере обеспечения обороноспособности государства, имеет крайне важное значение. К такому оборудованию относятся и агрегаты криогенной техники, в частности азотокислорододобывающие станции. Выявление дефектов и неисправностей элементов криогенной техники, возникающих в процессе эксплуатации и приводящих к снижению безопасности использования и большим экономическим потерям, связа-

но со своевременным проведением ряда работ по достоверному установлению мест предварительного разрушения конструкций. Данные работы строго регламентированы руководящими документами как в области промышленной безопасности страны, так и в сфере деятельности Министерства обороны Российской Федерации. Однако руководящие документы не могут учесть всех конструктивных и эксплуатационных особенностей большого количества подконтрольных объектов, в связи с чем возникает потребность проведения исследовательских

работ с целью совершенствования методик технического диагностирования. Представленное исследование направлено на решение проблемных вопросов технического диагностирования элементов азотокислорододобывающих станций, применяемых как на предприятиях общепромышленного назначения, так и на объектах, связанных с обеспечением обороноспособности государства.

Исследования проводились применительно к элементам азотокислорододобывающих станций СТАД-100, которые являются составной частью систем заправки компонентами продуктов разделения воздуха.

В технологическом отделении станции особое внимание следует уделить блоку разделения воздуха, который, в свою очередь, включает в себя оборудование, работающее под избыточным давлением (ОРД) [1]. Требования промышленной безопасности устанавливают необходимость проведения периодических технических освидетельствований ОРД, а также в установленных случаях экспертизы безопасности, в рамках которой проводятся испытания оборудования и техническое диагностирование — определение технического состояния, задачами которого являются контроль технического состояния объекта, поиск мест и определение причин отказов (неисправностей) прогнозирование технического состояния, влияющего на установление условий и параметров дальнейшей эксплуатации [2, 3].

На сегодняшний день проблемным вопросом является техническое диагностирование (ТД) элементов ОРД СТАД-100 с применением методов неразрушающего контроля (НРК). Это обусловлено следующими объективными причинами:

- сложное конструктивное исполнение сосудов блока разделения воздуха (сосудов БРВ);
- отсутствие методики технического диагностирования, позволяющей в полном объеме оценить состояние металлоконструкций сосудов БРВ.

Все сосуды БРВ агрегата СТАД-100 изолированы несъемным теплоизоляционным материалом типа K-FLEX, существенно сужающим выбор применяемых методов НРК [1]. Демонтаж (для доступа непосредственно к металлоконструкциям) теплоизоляционного материала и

его последующий монтаж должны проводиться по методике предприятия-изготовителя квалифицированным персоналом. Это не всегда может быть выполнено для станций, подвергаемых техническому диагностированию по месту эксплуатации. Некачественная изоляция, с учетом условий воздействия криогенной температуры рабочей среды — азота и кислорода, приведет к неправильному функционированию всего агрегата в целом. В связи с этим возникает задача оценки возможности диагностирования сосудов БРВ без демонтажа теплоизоляционного покрытия, выбора соответствующего метода НРК.

Дефектоскопия материалов конструкций в процессе изготовления и эксплуатации показывает, что исходные дефекты практически всегда присутствуют в элементах конструкций. Поэтому разрушение, как правило, инициируется в местах предварительного нарушения сплошности.

Основными процессами, приводящими к преждевременному выходу сосудов и трубопроводов БРВ из строя, являются процессы зарождения и распространения трещин, а также пластическое деформирование элементов. Одним из значимых последствий развития дефектов конструкций для ОРД является потеря герметичности.

В настоящее время перспективным методом НРК, позволяющим оценить техническое состояние внутренних сосудов БРВ, является метод акустической эмиссии (АЭ), который обладает характерными особенностями, определяющими его возможности параметры, области применения, достоинства и ограничения [4–7]:

- комплексный характер метода исследования материалов и процессов неразрушающего контроля и технического диагностирования (включает в себя механику и физику разрушения, акустику, теорию сигналов и т.д.);
- обнаружение и регистрация только развивающихся дефектов, что позволяет классифицировать дефекты не по размерам, а по степени их опасности для контролируемого объекта;
- высокая чувствительность к растущим дефектам относительно других методов;
- интегральность, которая заключается в том, что используя один или несколько преобразователей акустической эмиссии (ПАЭ), установленных неподвижно на поверхности объекта, можно проконтролировать весь объект;

- возможность контроля различных технологических процессов и процессов изменения свойств и состояния материалов в реальном времени;

- выявляемость дефекта методом АЭ независимо от его формы;

- меньше количество ограничений, связанных со свойствами и структурой материалов, чем для других методов НРК;

- возможность обнаруживать потерю герметичности — наиболее важный критерий при диагностировании ОРД;

- высокое отношение эффективность/стоимость в области НРК и ТД.

Для реализации возможностей метода АЭ по выявлению развивающихся дефектов или негерметичности оборудования необходимо нагрузить объект после установки ПАЭ: для ОРД — провести пневматические испытания [2, 4].

Непосредственный контакт ПАЭ с контролируемой поверхностью сосуда БРВ не представляется возможным по причине наличия теплоизоляции. Возможным вариантом применения метода АЭ, способным решить задачу оценки состояния конструкций, является установка ПАЭ на отходящие от внутреннего сосуда трубопроводы.

Данный способ применения АЭ к внутренним сосудам БРВ требует предварительных исследований, а именно:

- исследование акустических свойств материала объекта контроля (скорости распространения ультразвуковой волны);

- исследование акустического тракта конструкции.

Исследование скорости распространения ультразвуковой волны проводилось на образце толщиной 2 мм, выполненным из высоколегированной стали аустенитного класса 12Х18Н10Т, из которого изготавливаются сосуды БРВ. Значение скорости распространения ультразвуковой волны находится в интервале 5932 ± 28 м/с.

В рамках оценки прохождения и преобразования сигналов в акустическом тракте сосуда БРВ были проведены испытания на ректификационной колонне высокого давления, а также выбрана подходящая схема расположения ПАЭ, обеспечивающая 100 % контроля металлоконструкций сосуда БРВ (рис. 1).

В рамках первого эксперимента на верхний (значения параметров АЭ № 2 на рис. 2–5) и нижний (значения параметров АЭ №1 на рис. 2–5)

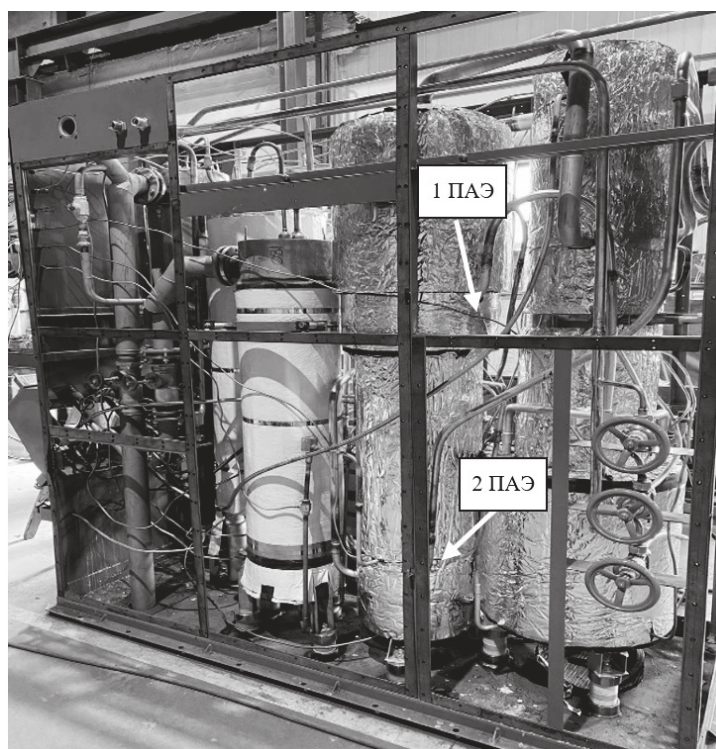


Рис. 1. Расстановка ПАЭ на ректификационной колонне высокого давления

трубопроводы ставились по одному ПАЭ. При помощи имитатора сигнала АЭ Су-Нильсена производился излом выдвинутого на 3–4 мм стержня на нижнем трубопроводе. АЭ, трижды вызванная изломом стержня, фиксировалась на двух ПАЭ.

Значения параметров АЭ при имитации сигналов (в зависимости от времени) представлены на рис. 2–5.

Результаты эксперимента показали, что установки двух ПАЭ на контролируемом объекте достаточно для оценки технического состояния ректификационной колонны высо-

кого давления по выбранным параметрам сигналов АЭ, значения которых представлены в таблице.

Для уточнения схемы расстановки ПАЭ с учетом необходимости контроля состояния трубопроводов были проведены исследования, в ходе которых ПАЭ устанавливался на нижнем трубопроводе ректификационной колонны высокого давления, источником АЭ выступал имитатор сигнала Су-Нильсена, излом которого производился пять раз через каждые 50 см по мере удаления от места установки ПАЭ.

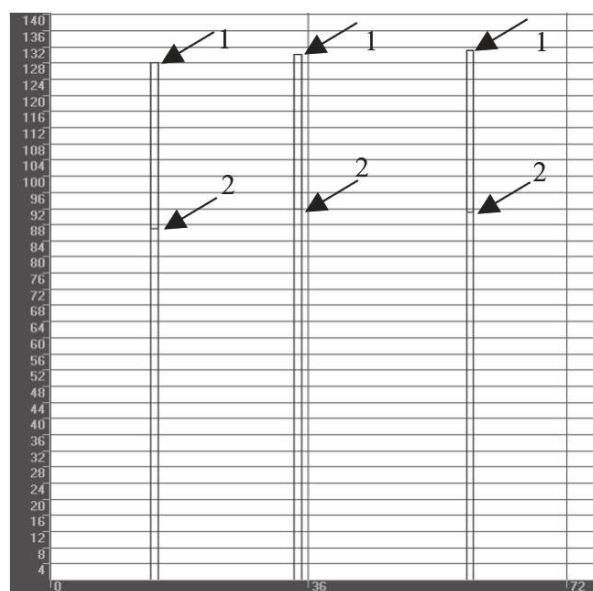


Рис. 2. Средняя энергия АЭ

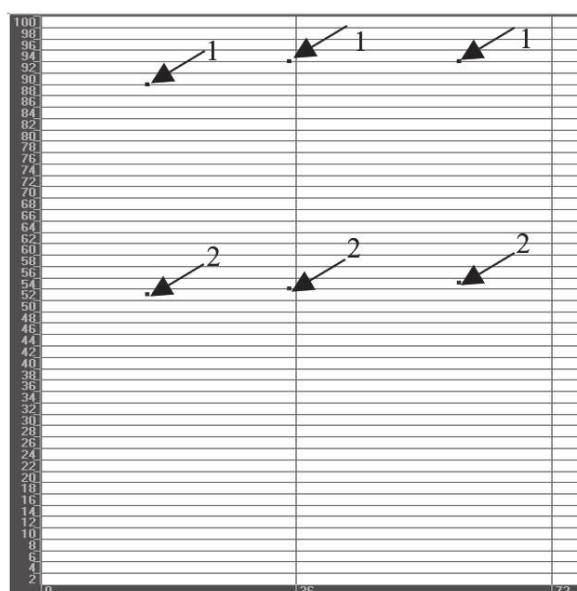


Рис. 3. Средняя амплитуда АЭ

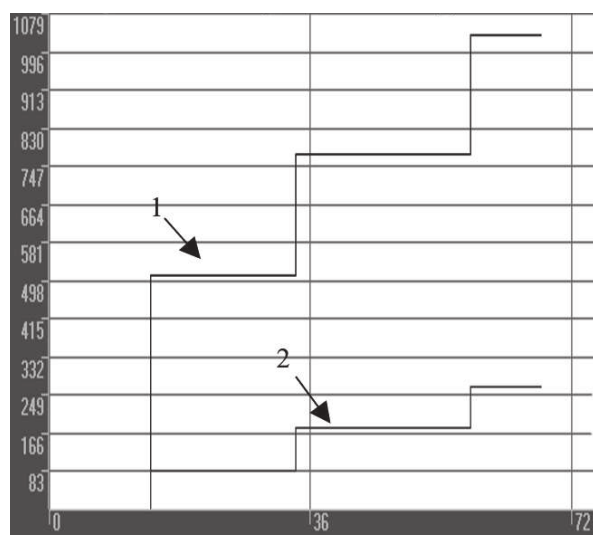


Рис. 4. Сумма энергии АЭ

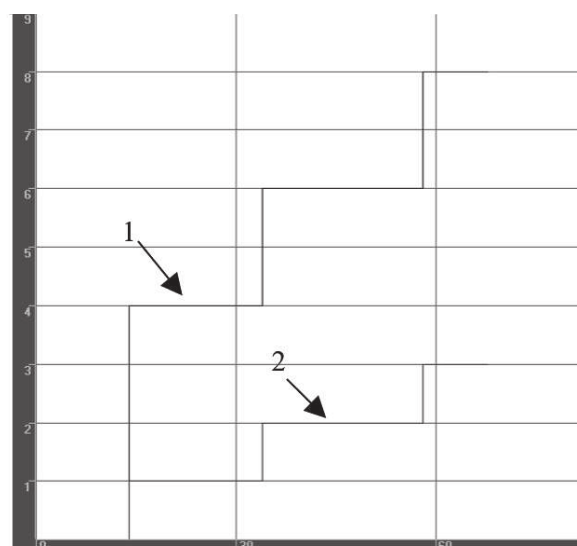


Рис. 5. Сумма импульсов АЭ

Стоит отметить конструктивную особенность соединений элементов, входящих в состав блока разделения воздуха, где отходящие трубопроводы от ректификационной колонны высокого давления выполнены из стали 12Х18Н10Т, спаяны с трубопроводами, выполненными из меди марки МЗ. Такое сложное соединение с применением разных материалов требует особого внимания из-за неопределенности параметров акустического тракта, а также высокого коэффициента затухания скорости распространения продольной акустической волны в меди и медных сплавах.

Результаты имитации сигналов АЭ в конструкциях трубопроводов представлены на рис. 6, 7.

Сложное внутреннее конструктивное строение ректификационной колонны высокого дав-

ления влияет на распространение акустической волны, по этой причине по значениям параметров АЭ, зафиксированных двумя ПАЭ, ярко выражено затухание акустической волны в металлоконструкциях колонны (таблица).

Исходя из информативности полученных значений параметров АЭ на реальном объекте и рекомендаций, указанных в пособии [6], стоит отметить целесообразность использования для контроля технического состояния (развития трещиноподобного дефекта) ректификационной колонны высокого давления методом АЭ амплитудного критерия [4] с пороговым значением амплитуды в 50 дБ.

Выбранная схема расстановки ПАЭ (на отходящие от внутреннего сосуда трубопроводы) обеспечивает контроль технического состояния объекта и может быть использована для

Таблица

Результаты эксперимента с двумя ПАЭ

Параметры АЭ	Ср. энергия АЭ			Ср. амплитуда АЭ			Сумма энергии АЭ			Сумма импульсов АЭ		
№ излома № ПАЭ	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
I ПАЭ	128	130	131	88	92	92	510	780	1050	4	6	8
II ПАЭ	87	92	92	51	52	53	100	190	290	1	2	3

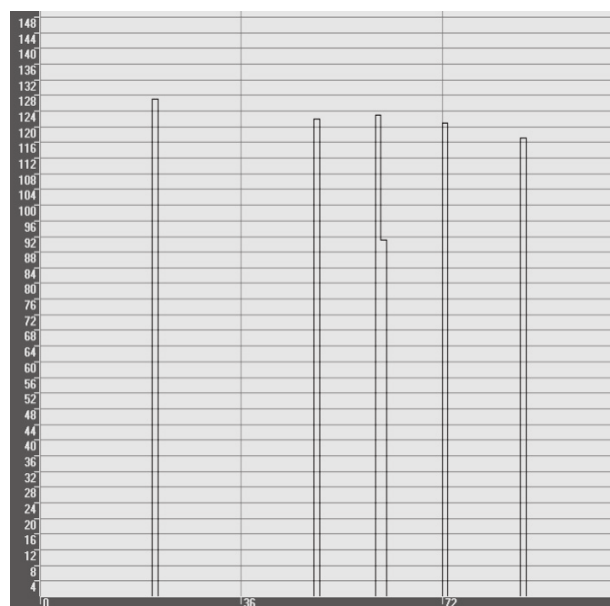


Рис. 6. Средняя энергия АЭ

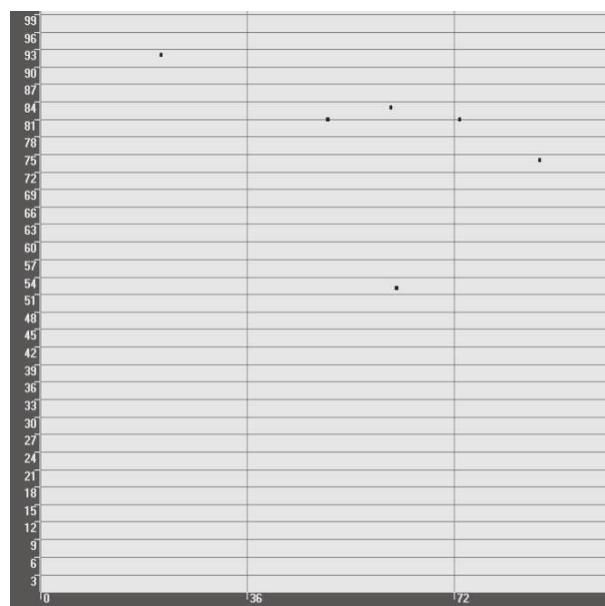


Рис. 7. Средняя амплитуда АЭ

оценки технического состояния металлоконструкций ректификационной колонны высокого давления станции СТАД-100 в рамках технического освидетельствования и экспертизы безопасности при проведении пневматических испытаний с одновременным контролем методом АЭ.

Результаты экспериментального исследования являются основой для разработки методики технического диагностирования с применением метода АЭ.

Направление дальнейшего исследования: установление значений параметров сигналов АЭ при пластическом деформировании элементов металлоконструкций сосудов БРВ станции СТАД-100 и выбор критерия оценки степени опасности указанного источника АЭ.

Исследование направлено на обеспечение требуемого уровня достоверности оценки технического состояния объекта с применением метода АЭ и выявления развивающихся дефектов металлоконструкций и потери герметичности элементов криогенной техники с целью повышения безопасности их эксплуатации. Надежность и безопасность эксплуатации технических устройств на опасных производственных объектах и объектах Министерства обороны является важным элементом процессов, направленных на достижение технологического суверенитета и безопасности государства.

Список источников

1. Руководство по эксплуатации станции транспортабельной азотокислорододобывающей СТАД-100 / КВ 0029.00.000 РЭ, 2016.
2. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности при использовании оборудования, работающего под избыточным давлением». Приказ Ростехнадзора от 15 декабря 2020 года № 536.
3. ГОСТ 20911–89. Техническая диагностика. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 2009. 9 с.
4. ГОСТ Р 52727–2007. Техническая диагностика. Акустико-эмиссионная диагностика. Общие требования. М.: Стандартиформ, 2007. 12 с.
5. Барат В.А., Иванов В.И. Акустико-эмиссионная диагностика: учеб. пособие. М.: Издательский дом «Спектр», 2017. 368 с.
6. Иванов В.И., Бигус Г.А., Власов И.Э. Акустическая эмиссия: учеб. пособие. М.: Издательский дом «Спектр», 2015. 191 с.
7. Гневко А.И., Соловов С.Н., Мукоме-ла М.В., Челноков А.В. Способы применения акустической эмиссии для обеспечения надежности и долговечности металлоконструкций // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2019. № 4-1 (336). С. 77–83.

УДК 623.4

doi: 10.53816/20753608_2025_2_141

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПРОТИВООСКОЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ**
**EXPERIMENTAL AND THEORETICAL STUDY OF THE PERFORMANCE
OF ANTI-SHATTERING PRODUCTS**

По представлению чл.-корр. РАН Н.М. Сильникова

А.С. Пучков, И.В. Гук, А.И. Спивак, С.Н. Васильева

НПО Спецматериалов

A.S. Puchkov, I.V. Guk, A.I. Spivak, S.N. Vasileva

Установлено, что мотивированное решение о возможности размещения противоосколочного экрана должно приниматься отдельно для каждой модификации устройства для защиты от взрыва в зависимости от кинетических параметров осколочного потока и спутного потока газов, характерных для подрыва зарядов взрывчатого вещества нормативной массы, содержащих поражающие элементы.

Ключевые слова: Устройство для защиты от взрыва, воздушная ударная волна, избыточное давление во фронте воздушной ударной волны, спутный поток газов, осколочное поле.

It is shown that a reasoned decision on the possibility of placing an anti-fragmentation screen should be made separately for each modification of an explosion protection device depending on the kinetic parameters of the fragmentation flow and the associated gas flow characteristic of the detonation of explosive charges of standard mass containing damaging elements.

Keywords: Explosion protection device, air shock wave, excess pressure in the air shock wave front, cocurrent gas flow, fragmentation field.

При планировании и проведении работ по обнаружению и уничтожению взрывоопасных предметов (ВОП) в процессе ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций на арсеналах (базах) хранения боеприпасов и при гуманитарной очистке (разминировании) местности одними из основных задач являются: обеспечение безопасности персонала, минимизация разрушений за счет локализации фугасного действия и осколочных полей, возникающих при разрывах ВОП.

При организации работ по очистке местности от ВОП [1] подготовленными специалистами

ми по их обнаружению [2] и нейтрализации с использованием специализированной техники [3] большое значение имеет использование мобильных устройств для защиты от взрыва (УЗВ).

Для локализации последствий взрыва ВОП, содержащих заряды взрывчатых веществ (ВВ) широкое применение получили УЗВ «Фонтан» различных моделей контейнерного и мобильного типа, разработки и производства АО «НПО Спецматериалов», которые подтвердили свои высокие защитные свойства при локализации оболочечных, безоболочечных, усиленных

зарядов взрывчатого, в том числе под водой и направленного действия [4–9].

УЗВ «Фонтан» снижают до минимума человеческие жертвы и разрушения за счет эффективного подавления фугасного, осколочного, термического и термобарического действия взрывов. Они многократно снижают амплитуду избыточного давления во фронте воздушной ударной волны (ВУВ), размывают и выстилают фронт ВУВ, предотвращают возгорания, термическое и термобарическое поражения за счет уникальных амплитудно-частотных и релаксационных характеристик специального многофазного диспергента, являющегося основной рабочей средой изделия [5].

Однако конструкция УЗК в штатной комплектации не всегда способна уменьшить кинетическую энергию до безопасного уровня поражающих элементов (ПЭ), образующихся при подрыве ВОП, находящихся в УЗК. Так, конструкции УЗК «Фонтан-1» модели 05К и «Фонтан-2» модели 05У при подрыве в них ручных гранат типа РГО обеспечивают только снижение на расстоянии 2 м количества ПЭ на 80 %, а не полностью их ликвидируют [5].

В связи с этим, одним из направлений совершенствования конструкций УЗК является включение в их состав специальных противоосколочных экранов различных конструкций, способных эффективно подавлять осколочные потоки ПЭ, образующихся при подрыве ВОП, размещенных в УЗВ [5].

При разработке противоосколочных экранов в составе УЗВ необходимо рассмотреть поражающие факторы в ближней зоне взрыва, за исключением бризантного и термического воздействия.

Взрыв представляет собой экзотермическую химическую реакцию с превращением ВВ во взрывные газы, характеризующиеся высоким давлением и высокой температурой [10]. Часть энергии образовавшихся газов разрушает оболочку ВОП, в которую заключен заряд ВВ, и передает разлетающимся ПЭ высокую кинетическую энергию. Другая часть энергии газов превращается в тепло в виде расширяющегося огненного шара, а также в звук, световое и тепловое излучение. Оставшаяся часть энергии (до 40 %) за счет быстрого расширения образовавшихся газов формирует ударную волну (УВ).

Быстро расширяющиеся при взрыве газы вытесняют окружающий воздух в стороны, сжимая его. Плотный слой сжатого воздуха распространяется от источника взрыва в форме шара или полусферы, образуя воздушную ударную волну (ВУВ). Передняя граница зоны сжатия носит название фронта УВ и характеризуется чрезвычайно высокими значениями избыточного давления. Вслед за фазой сжатия (фаза положительного давления) следует фаза разрежения, в которой давление ниже атмосферного (отрицательная фаза).

Любая поверхность, обращенная в сторону взрыва, подвергается воздействию не только фронта избыточного ударного давления, но и давления, оказываемого массой воздуха, распространяющегося с высокой скоростью сразу же за ним (спутный поток УВ). Рядом с местом взрыва это давление воздуха может быть таким же высоким, как и давление фронта ВУВ, быстро снижаясь по мере удаления. Это динамическое избыточное давление производит повреждающее действие и обладает метательным эффектом. Течение газа за УВ представляет сложную структуру, состоящую из спутного потока газов, движущегося со сверхзвуковой скоростью на начальном этапе, а позже непрерывно замедляющегося [10]. С ростом интенсивности УВ скорость спутного потока возрастает и при большой интенсивности эта скорость пропорциональна квадратному корню из сжатия $(p_2/p_1)^{0.5}$, где p_2 — давление, устанавливаемое УВ, p_1 — давление в газе до прихода УВ.

В результате обработки экспериментальных данных [10] получены статистические модели зависимости скорости спутного потока газа за УВ $V_{сп}$ от скорости УВ в невозмущенном покое газе $V_{ВУВ}$ с использованием метода наименьших квадратов. Было рассмотрено несколько видов функций $y = f(x, a, b, \dots)$ и выбрана функция, для которой суммарная погрешность $\sum_{i=1}^n [f(x_i, a, b, \dots) - y_i]^2$ оказалась минимальной.

Вид статистической модели зависимости скорости спутного потока газа за УВ $V_{сп}$ от скорости УВ в невозмущенном покое газе $V_{ВУВ}$ представлен в табл. 1.

Вид зависимости скорости спутного потока газа за УВ $V_{сп}$ от скорости УВ в невозмущенном покое газе $V_{ВУВ}$ представлен на рис. 1.

Таблица 1

Вид статистической модели зависимости скорости спутного потока газа за УВ $V_{сн}$ от скорости УВ в невозмущенном покое газе $V_{вув}$

Вид статистической модели	Коэффициенты модели		Среднее отклонение, %	Средне-квадратическое отклонение	Коэффициент корреляции
	a	b			
$Y = a \exp(b/x)$	3090,425	-1372,814	7	0,077	0,997

Примечание — область определения аргумента от 340 до 1925 м/с

Анализ результатов, представленных в табл. 1 и на рис. 1, показывает, что в ближней зоне от взрыва скорость спутного потока газов соизмерима с потенциальной скоростью ПЭ в осколочном потоке. В связи с этим обстоятельством при проектировании противоосколочных экранов в составе УЗВ и оценке их работоспособности необходимо учитывать особенности распространения спутного потока газов и ПЭ в осколочном потоке, образующихся при подрыве ВОП, размещенного внутри УЗВ. При скорости спутного потока газов, превышающей скорость ПЭ в осколочном потоке, велика вероятность разрушения корпуса УЗВ с размещенным на нем противоосколочным экраном спутным потоком газа, в результате чего ПЭ, обладающие меньшей скоростью, не могут быть задержаны ни разрушенным корпусом УЗВ, ни разрушенным противоосколочным экраном. В противном случае, когда скорость ПЭ превышает скорость спутного потока газа, ПЭ, взаимодействуя с корпусом УЗВ, частично нарушают его целостность и могут быть задержаны как корпусом УЗВ, так и дополнительным противоосколочным экраном, размещаемым за корпусом УЗВ. Следующий за осколочным потоком спутный поток

газов эффективно диссипирует энергию взрыва за счет разлета диспергента, содержащегося в УЗВ.

В связи с этими обстоятельствами, для проектирования противоосколочных экранов для конкретных конструкций УЗВ, предназначенных для локализации нормативных зарядов ВВ, содержащих ПЭ, был разработан методический аппарат экспериментально-теоретических исследований для оценки целесообразности и эффективности использования противоосколочных экранов в комплекте с УЗВ.

Проиллюстрируем содержание и реализацию методического аппарата на примере проектирования противоосколочного экрана для УЗВ «Фонтан-2» модели 20У при подрыве в нем ВОП, содержащего заряд ПВВ-4 массой 1,5 кг и готовые поражающие элементы (ГПЭ) в виде стальных шариков массой 1,05 г.

Характеристики УЗВ «Фонтан-2» модели 20У представлены в табл. 2 [5].

Пластичное ВВ ПВВ-4 состоит из гексогена ($80 \pm 2\%$) и связующего ($20 \pm 2\%$), представляющего смесь 3 частей веретенного масла и 1 части стеарата кальция. Характеристики ПВВ-4 представлены в табл. 3 [5].

Вид зарядов ПВВ-4 со стальными шариками массой 1,05 г представлен на рис. 2.

Экспериментально-теоретические исследования методического аппарата проектирования противоосколочных экранов в составе УЗВ состоят из следующих этапов:

1) исследование закономерностей распространения спутного потока газов при подрыве нормированного заряда ВВ в ближней зоне от места подрыва в полигонных условиях;

2) исследование закономерностей распространения ГПЭ в осколочном потоке при подрыве нормированного заряда ВВ в ближней зоне от места подрыва;

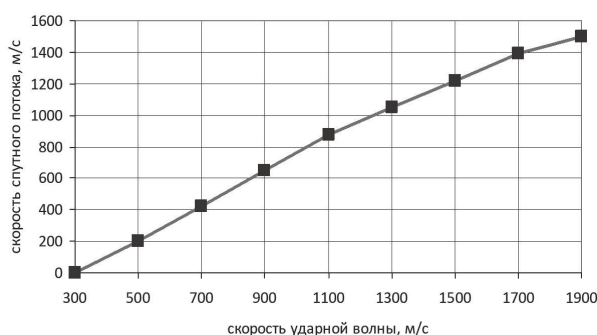


Рис. 1. Зависимости скорости спутного потока газа за УВ от скорости УВ в невозмущенном покое газе

Таблица 2

Характеристики УЗВ «Фонтан-2» модели 20У

Модель изделия	Наружные габаритные размеры, мм	Размеры внутренней полости, мм	Внутренний объем, не более, куб. дм	Масса не более, кг	Масса локализуемого заряда в ТЭ*, кг
«Фонтан-2» 20У	780×780×480	520×520×340	90	50	2,0

*ТЭ — тротиловый эквивалент

Таблица 3

Характеристики ПБВ-4

№ п/п	Наименование	Величина
1	Плотность, г/см ³	1,42
2	Скорость детонации, м/с	7000
3	Теплота взрыва, ккал/кг	910
4	Объем продуктов взрыва, л/кг	850
5	Бризантность, мм	21
6	Фугасность, мл	280
7	Тротиловый эквивалент	1,3



Рис. 2. Вид зарядов из ПБВ-4 с ГПЭ перед испытаниями

3) сравнение скоростей спутного потока газов и ГПЭ в осколочном потоке при подрыве нормированного заряда ВВ в ближней зоне от места подрыва;

4) принятие предварительного решения о целесообразности разработки противоосколочного экрана в составе УЗВ;

5) экспериментальное обоснование целесообразности разработки противоосколочного экрана в составе УЗВ с использованием специализированного стендового оборудования в полигонных условиях;

6) экспериментальная проверка избыточного давления во фронте ВУВ при подрыве нормированного заряда ВВ, содержащего ГПЭ, размещенного в УЗВ с противоосколочным экраном;

7) принятие мотивированного решения целесообразности разработки и эффективности противоосколочного экрана в составе УЗВ.

В ходе реализации этапа 1 экспериментально-теоретических исследований была проведена серия подрывов, при которых определялось время прихода спутного потока газов к нормативным рубежам, снабженным контактными блокировками, а именно:

– к внешнему контуру УЗВ «Фонтан-2» модели 20У;

– к рубежу на расстоянии 2,0 м снаружи от изделия «Фонтан-2» модели 20У.

Контактные блокировки были изготовлены из проволоки толщиной 0,12 мм.

С использованием полученных результатов были определены скорость прихода спутного потока газов к внешнему контуру УЗВ «Фонтан-2» модели 20У, которая составила 1002 м/с, а также скорость прихода спутного потока на расстояние 2,0 м снаружи от изделия «Фонтан-2» модели 20У, которая составила 292 м/с.

В ходе реализации этапа 2 экспериментально-теоретических исследований была проведена серия подрывов, при которых определялись времена прилета ГПЭ в составе осколочного потока к щитам мишенной обстановки, на которых размещены рамы-мишени.

Оценка скорости ГПЭ производилась методом контактной блокировки участка траектории с использованием рам-мишеней, размещенных на щитах в мишенной обстановке. Запуск измерительной цепи осуществлялся в момент подрыва заряда ВВ.

Схема мишенной обстановки представлена на рис. 3.

В результате экспериментов на расстоянии 2 м от точки взрыва была получена средняя

скорость сферических ГПЭ, которая составила 1562 м/с.

Средняя начальная скорость V_0 ГПЭ любой формы может быть определена при следующих допущениях:

- плотность воздуха вдоль траектории движения ГПЭ постоянна;
- влияние силы тяжести пренебрежимо мало;
- коэффициент лобового сопротивления не зависит от скорости ГПЭ по зависимости [9]

$$V_0 = \frac{V_{\text{изм}}}{e^{\frac{-i_{43} \cdot C_x \cdot \rho_a \cdot S_M \cdot z}{2m}}},$$

где $V_{\text{изм}}$ — измеренная скорость ГПЭ на заданном расстоянии от заряда ВВ;

ρ_a — плотность воздуха при температуре 15 °С и давлении 760 мм рт. ст.;

i_{43} — функция лобового сопротивления по закону 1943 года;

C_x — коэффициент формы по закону 1943 года;

S_M — площадь мишени ГПЭ;

m — масса ГПЭ;

z — расстояние до рамы-мишени от заряда ВВ.

Для ГПЭ сферической формы массой 1,05 г средняя начальная скорость может быть определена по зависимости [9]

$$V_0 = \frac{V_{\text{изм}}}{e^{-0,015 \cdot z}}.$$

В результате расчетов была получена средняя начальная скорость сферических ГПЭ, которая составила 1610 м/с.

В ходе реализации этапа 3 экспериментально-теоретических исследований было проведено сравнение начальных скоростей спутного потока газов и ГПЭ в осколочном потоке при подрыве нормированного заряда ВВ в ближней зоне от места подрыва. Установлено, что начальная скорость ГПЭ в осколочном потоке при подрыве нормированного заряда ВВ массой 2 кг в тротильном эквиваленте в ближней зоне от места подрыва превышает начальную скорость спутного потока газов.

В ходе реализации этапа 4 экспериментально-теоретических исследований принято предварительное решение о целесообразности разработки противоосколочного экрана в составе УЗВ «Фонтан-2» модели 20У.

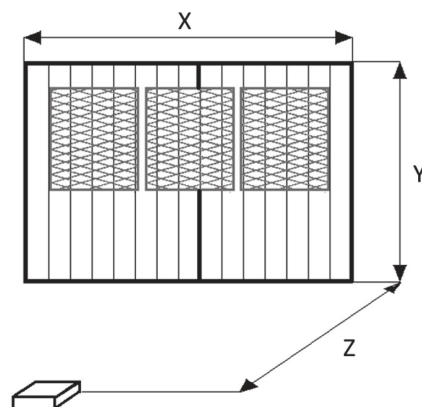


Рис. 3. Схема мишенной обстановки для определения скорости ПЭ с использованием рам-мишеней ГПЭ ($X = 3$ м, $Y = 1,5$ м, $Z = 2$ м)

В ходе реализации этапа 5 экспериментально-теоретических исследований была подтверждена целесообразность разработки противоосколочного экрана в составе УЗВ с использованием специализированного стендового оборудования в полигонных условиях.

Специализированное стендовое оборудование представляет собой конструкцию, состоящую из сварного каркаса, изготовленного из металлического прутка, размеры которого выбираются исходя из геометрических размеров применяемого УЗВ. На металлических прутках, на проушинах, размещаются четыре прямоугольные металлические броне пластины, толщина которых выбирается исходя из гарантированного их непробития ГПЭ, образовавшимися при подрыве заряда ВВ, размещенного в УЗВ.

Толщина броне пластин выбирается исходя из статистической модели зависимости показателя противоосколочной стойкости $V_{50\%}$ защитной структуры, изготовленной из стали СПС-43, от толщины δ защитной структуры, которая имеет вид [11]

$$V_{50\%} = 35,37\delta^2 - 127,92\delta + 420,07.$$

Среднее отклонение статистической модели составляет 52,4 м/с, коэффициент корреляции — 0,992 при области определения аргумента от 2,5 до 6,5 мм.

Анализ статистической модели показывает, что, например, защитная структура, представляющая собой стальную броне панель из стали СПС-43 толщиной 6,5 мм обладает противоосколочной стойкостью $V_{50\%}$ на уровне 1083 м/с.

Для испытаний с использованием УЗВ «Фонтан-2» модели 20У специализированное стендовое оборудование в собранном виде имеет размеры 860×860×500 мм [11].

Вид специализированного стендового оборудования представлен на рис. 4.

Алгоритм размещения в стендовом оборудовании заряда ВВ с ГПЭ, УЗВ «Фонтан-2» модели 20У при подготовке к испытаниям представлен на рис. 5.

При подготовке к испытаниям по периметрам УЗВ «Фонтан-2» модели 20У и стендового оборудования размещается контактная блокировка для определения времени прихода спутного потока газов.

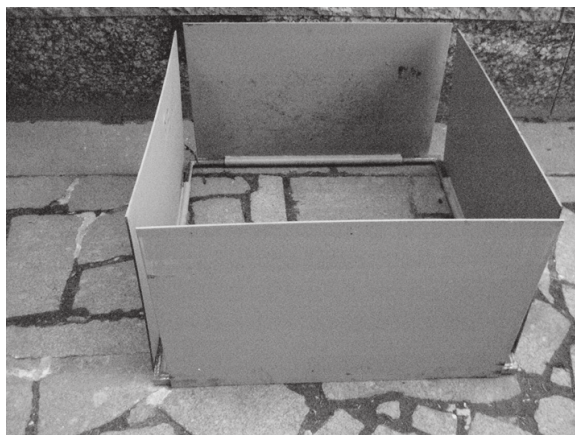


Рис. 4. Вид специализированного стендового оборудования

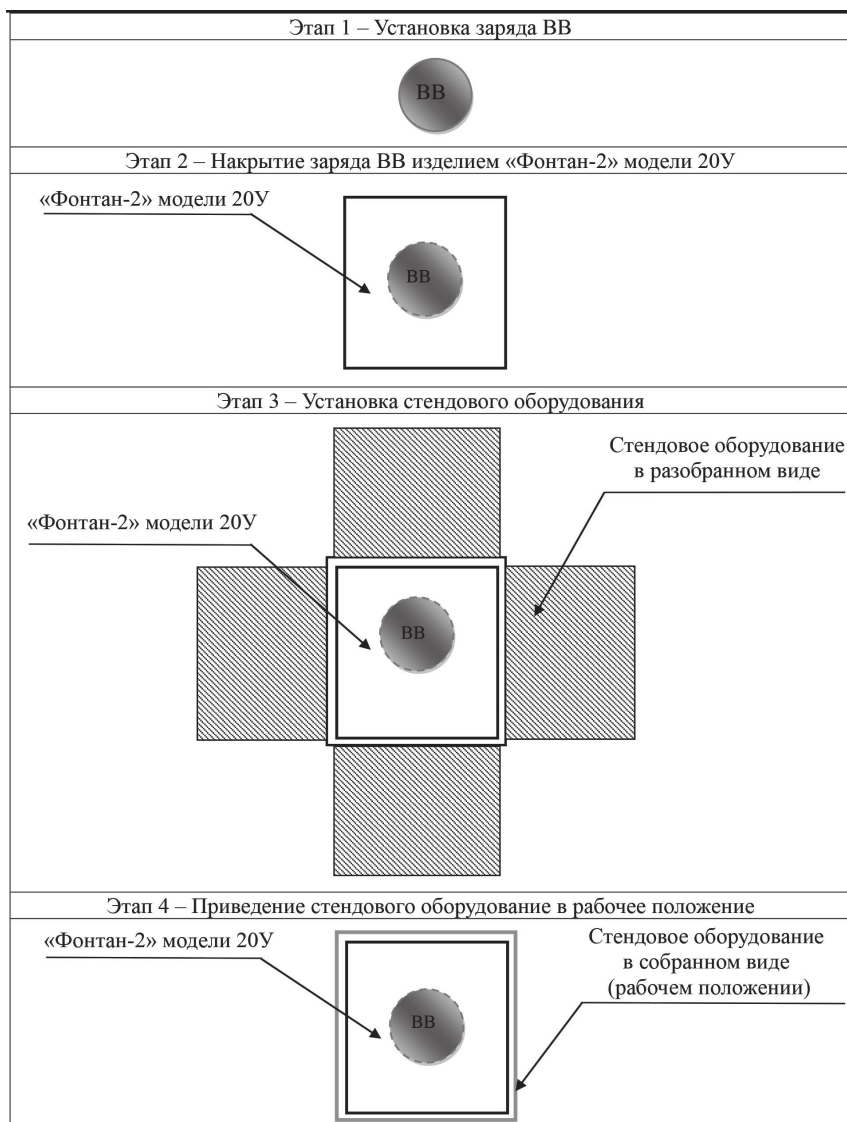
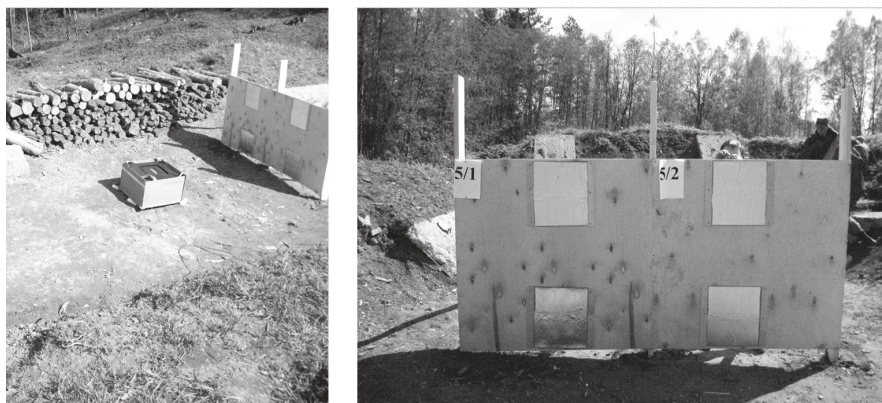


Рис. 5. Алгоритм подготовки к испытаниям опытной лабораторно-испытательной базы по оценке работоспособности противоосколочных экранов в составе УЗВ



а

б

Рис. 6. Вид стендового оборудования в мишенной обстановке (а) и щита-свидетеля с рамами-мишенями (б) перед испытаниями

Прямоугольные бронепластины стендового оборудования способны свободно вращаться на металлическом каркасе за счет проушин, и после прихода спутного потока они из вертикального положения перемещаются в горизонтальное положение. В связи с тем, что противоосколочная стойкость бронепластин превышает кинетические характеристики ГПЭ, образующихся при подрыве заряда ВВ, они должны быть задержаны элементами стендового оборудования, если скорость ГПЭ в осколочном потоке превышает скорость спутного потока газов. Если скорость спутного потока газов превышает скорость осколочного потока, то элементы стендового оборудования за счет воздействия на них спутного потока газов займут горизонтальное положение до попадания в них ГПЭ из осколочного потока.

Как правило, стендовое оборудование размещается в мишенной обстановке с целью возможной регистрации характеристик ГПЭ из осколочного потока, в случае когда бронезащитные элементы стендового оборудования займут горизонтальное положение до прихода к ним осколочного потока.

Вид стендового оборудования в мишенной обстановке перед испытаниями представлен на рис. 6.

В результате проверки установлено, что скорость воздействия спутного потока газов на внешний контур от момента взрыва до момента разрушения изделия «Фонтан-2» модели 20У составила 921 м/с, что соответствует показателю, полученному на этапе 1 исследования.

При этом скорость воздействия спутного потока газов на внешний контур стендового оборудо-

вания от момента взрыва до момента его раскрытия составила 636 м/с.

В результате осмотра бронепластин стендового оборудования было установлено, что в них имеются отпечатки от ГПЭ из состава осколочного потока, образовавшегося при подрыве заряда ВВ, размещенного в УЗВ. При этом в щите мишенной обстановки следов от попадания ГПЭ не обнаружено.

Вид бронепластины стендового оборудования с отпечатками от ГПЭ после испытаний представлен на рис. 7.

В ходе реализации этапа 6 экспериментально-теоретических исследований оценивалась эффективность функционирования УЗВ, оснащенного противоосколочным экраном, по снижению уровня избыточного давления во фронте ВУВ при подрыве в нем нормированного заряда ВВ, содержащего ГПЭ.



Рис. 7. Вид бронепластины стендового оборудования после испытаний

Избыточное давление во фронте ВУВ регистрировалось измерительным комплексом в составе: пьезоэлектрические датчики давления ПД-7-1,5М, цифровой многоканальный осциллограф на базе персонального компьютера и платы сбора информации L-783. Расстояние от датчиков давления до заряда ВВ составляло 3,0; 3,5; 4,0; 4,5 м. Схема установки датчиков давления представлена на рис. 8.

В результате обработки экспериментальных данных, полученных при подрыве заряда ПВВ-4 массой 1,5 кг в УЗВ «Фонтан-2» модели 20У, снабженном противоосколочным экраном, результатов эксперимента по подрыву открытого заряда ТНТ массой 2 кг [11] и нормативных показателей [5], получены статисти-

стические модели зависимости избыточного давления во фронте ВУВ от расстояния до точки подрыва с использованием метода наименьших квадратов. Было рассмотрено несколько видов функций $y = f(x, a, b, \dots)$ и выбрана функция, для которой суммарная погрешность $\sum_{i=1}^n [f(x_i, a, b, \dots) - y_i]^2$ оказалась минимальной.

Вид статистических моделей зависимости избыточного давления во фронте ВУВ от расстояния до точки подрыва представлен в табл. 4 и на рис. 9.

Анализ результатов, представленных на рис. 9 и в табл. 4, показывает, что при подрыве заряда ПВВ-4 массой 1,5 кг в УЗВ «Фонтан-2» модели 20У, снабженным противоосколочным

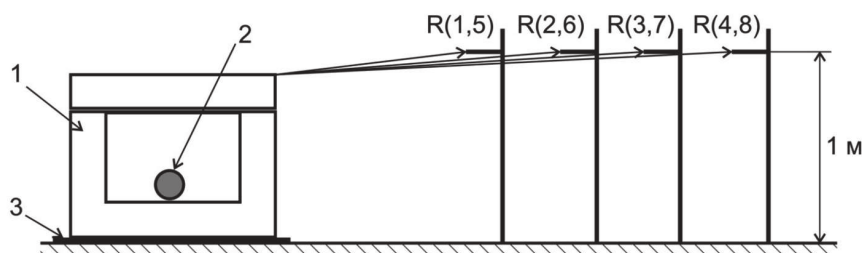


Рис. 8. Схема расположения (вид сбоку) заряда ПВВ-4 (2), УЗВ (1), бронеплиты (3) и датчиков давления

Таблица 4

**Вид статистической модели зависимости избыточного давления во фронте ВУВ
от расстояния до точки подрыва**

№ п/п	Обозначение ВЗУ	Вид статистической модели	Коэффициенты модели		Среднее отклонение, %	Среднеквадра- тическое отклонение	Коэффициент корреляции
			a	b			
1	Открытый подрыв заряда ТНТ массой 2 кг	$Y = a x^b$	2330,924	- 2,410	4	0,051	0,999
2	Подрыв заряда ПВВ-4 массой 1,5 кг в УЗВ «Фонтан-2» модели 20У, снабженном противоос- колочным экраном	$Y = a x_b$	121,116	- 1,644	2	0,030	0,993
3	Подрыв заряда ТНТ массой 2 кг в УЗВ «Фонтан-2» модели 20У	$Y = a b^x$	252,442	0,590	3	0,029	0,999

Примечание — область определения аргумента от 1,5 до 4,5 м

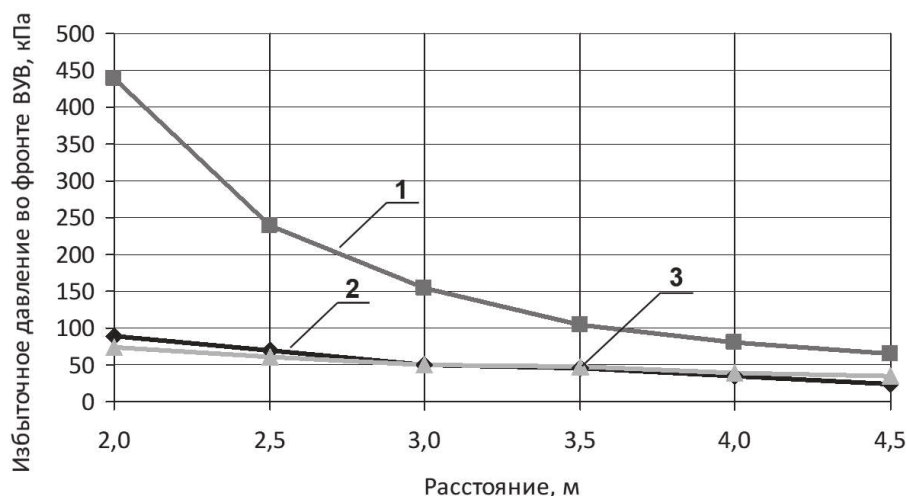


Рис. 9. Вид зависимостей избыточного давления во фронте ВУВ от расстояния до точки подрыва: 1 — при открытом подрыве заряда ТНТ массой 2,0 кг; 2 — при подрыве заряда ТНТ массой 2,0 кг в штатном УЗВ «Фонтан-2» модели 20У; 3 — при подрыве заряда ПВВ-4 массой 1,5 кг в УЗВ «Фонтан-2» модели 20У, снабженном противоосколочным экраном

экраном, уровень избыточного давления во фронте ВУВ на расстоянии 2,0...3,5 м от места взрыва уменьшается в 2,7...4,8 раза по сравнению с уровнем, характерным для открытого подрыва заряда ТНТ массой 2 кг (ТЭ заряда ПВВ-4 массой 1,5 кг). При этом уровень избыточного давления во фронте ВУВ при подрыве заряда ПВВ-4 массой 1,5 кг в УЗВ «Фонтан-2» модели 20У, снабженном противоосколочным экраном, не превышает 50 кПа на расстоянии 3 м от места взрыва, что соответствует нормативным требованиям, предъявляемым к УЗВ «Фонтан-2» модели 20У, у которых отсутствует дополнительный элемент в качестве противоосколочного экрана.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что наличие противоосколочного экрана не влияет на эффективность УЗВ по подавлению фугасного действия размещенного в нем заряда ВВ.

В случае если наличие противоосколочного экрана в составе УЗВ существенно снижает его защитные функции по подавлению фугасного действия взрыва размещенного в нем заряда ВВ, необходимо провести дополнительные исследования по совершенствованию конструкции противоосколочного экрана, связанные с изменением его конфигурации, способа крепления к УЗВ, заменой используемых материалов.

В ходе реализации этапа 7 экспериментально-теоретических исследований с учетом полученных ранее положительных результатов может быть выработано мотивированное решение о целесообразности разработки противоосколочного экрана в составе УЗВ «Фонтан-2» модели 20У.

В случае получения отрицательных результатов в ходе выполнения этапов 4 и 6 экспериментально-теоретических исследований принимается мотивированное решение о нецелесообразности оснащения УЗВ конкретной модели противоосколочным экраном.

Таким образом, разработанный методический аппарат экспериментально-теоретических исследований позволяет принять мотивированное решение о целесообразности/нецелесообразности использования противоосколочных экранов в конкретных конструкциях УЗВ, предназначенных для локализации нормативных зарядов ВВ, содержащих ПЭ.

Список источников

1. Васильев Н.Н., Спивак А.И., Васильев В.Д. и др. К вопросу организации работ по очистке местности от взрывоопасных предметов после чрезвычайных происшествий на объектах хранения боеприпасов // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические

средства противодействия терроризму. 2012. № 3–4. С. 20–30.

2. Васильев Н.Н., Спивак А.И., Дунилов К.К. и др. Пути повышения эффективности подготовки специалистов по осуществлению разведки и нейтрализации минно-взрывных устройств // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2011. № 3–4. С. 68–71.

3. Сильников М.В., Спивак А.И., Пугачев А.Н., Сазыкин А.М. К вопросу разработки специализированной техники обеспечения разминирования и выполнения специальных задач // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2015. № 3. С. 85–90.

4. Пучков А.С., Спивак А.И., Васильева С.Н., Фроленков Ю.А. Оценка эффективности устройств для защиты от взрыва при подрыве толстостенных взрывоопасных предметов // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2024. № 9–10. С. 52–63.

5. Васильев Н.Н., Спивак А.И., Дмитриев В.Я. 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.

6. Васильев Н.Н., Спивак А.И., Дмитриев В.Я. и др. К вопросу снижения фугасного действия взрыва устройствами для защиты от взрыва «Фонтан» при срабатывании усилен-

ных зарядов // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2014. № 5–6. С. 47–54.

7. Сильников М.В., Гук И.В., Михайлин А.И., Шишкин В.Н. Экспериментальное и теоретическое исследование эффективности действия технических устройств на основе гетерогенной двухфазной среды для подавления поражающих факторов подводного взрыва // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2018. № 1 (101). С. 59–68.

8. Сильников М.В., Михайлин А.И., Шишкин В.Н., Гук И.В. Экспериментальное исследование эффективности действия технических средств на основе гетерогенной двухфазной среды для защиты от подводного взрыва // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2018. № 5–6 (119–120). С. 58–65.

9. Михайлин А.И., Спивак А.И., Чернышов М.В. и др. Разработка и испытания комбинированных средств локализации поражающих факторов взрыва с эффектом направленного взрыва. Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2011. № 7–8. С. 9–16.

10. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.-Л.: Гостехиздат, 1950. 676 с.

11. Васильев Н.Н., Спивак А.И., Дмитриев В.Я., Малинин А.А. К вопросу оценки противоосколочной стойкости защитных структур // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2014. № 1–2. С. 68–72.

УДК 623.4

doi: 10.53816/20753608_2025_2_151

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ
СТРЕЛОВИДНЫХ ПОРАЖАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ
НА ЗАЩИТНЫЕ СТРУКТУРЫ**

**COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE IMPACT
OF ARROW-SHAPED IMPACTORS ON DEFENSE STRUCTURES**

По представлению чл.-корр. РАРАН Н.М. Сильникова

А.И. Спивак, Р.А. Печеник, Д.Н. Васильев, А.А. Котова, В.Д. Насонов, С.Н. Васильева

НПО Спецматериалов

A.I. Spivak, R.A. Pechenik, D.N. Vasiliev, A.A. Kotova, V.D. Nasonov, S.N. Vasiliev

В статье представлена сравнительная оценка стойкости к воздействию стреловидных поражающих элементов полимерных защитных шлемов и защитных шлемов «Колпак 20» с комбинированной защитной структурой. На основе серии экспериментов показано, что баллистический предел стойкости полимерного шлема к воздействию стреловидных поражающих элементов составляет 120 м/с. Баллистический предел стойкости защитного шлема «Колпак 20» с комбинированной защитной структурой к воздействию стреловидных поражающих элементов составляет более 707 м/с, что более чем в 5,9 раз выше показателя, установленного для защитной структуры полимерного шлема.

Ключевые слова: стреловидный поражающий элемент, защитный шлем, полимерная защитная структура, комбинированная защитная структура, баллистический предел пробития защитной структуры.

The article presents a comparative assessment of the resistance to the impact of arrow-shaped striking elements of polymer protective helmets and protective helmets «Kolpak 20» with a combined protective structure. Based on a series of experiments, it is shown that the ballistic limit of resistance of the polymer helmet to the impact of arrow-shaped striking elements is 120 m/s. The ballistic limit of resistance of the protective helmet «Kolpak 20» with a combined protective structure to the impact of arrow-shaped striking elements is more than 707 m/s, which is more than 5.9 times higher than the indicator established for the protective structure of the polymer helmet.

Keywords: arrow-shaped striking element, protective helmet, polymer protective structure, combined protective structure, ballistic penetration limit of protective structure.

Основными направлениями развития боевой экипировки военнослужащих Сухопутных войск, Воздушно-десантных войск и морской пехоты ВМФ России, в том числе защитных шлемов, являются снижение массы; снижение демаскирующих свойств и повышение защитных свойств от регламентированных средств поражения [1, 2].

Одним из направлений снижения массы защитных шлемов является применение в их конструкциях полимерных материалов. Характеристики полимерных бронешлемов представлены в табл. 1 [3].

Полимерные шлемы, изготовленные с применением арамидных тканей или материалов

из сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ), обладают существенным преимуществом по сравнению с ранее производимыми шлемами из металлических материалов или стеклопластика. Так, при одинаковой массе в 1,5 кг полимерные шлемы обеспечивают противоосколочную стойкость $V_{50} \%$ на уровне 650–680 м/с, в то время как для стальных шлемов этот показатель составляет всего 250 м/с.

Однако такие шлемы имеют и ряд недостатков. Во-первых, это низкая стойкость к пробитию высокоскоростными стреловидными поражающими элементами (СПЭ) — одним из важных факторов поражающего воздействия современных артиллерийских боеприпасов [3]. Во-вторых, высока вероятность значительного запреградного воздействия на голову из-за расслоения тканевых слоев при поражении и образования выпучины на внутренней поверхности корпуса шлема. Кроме этого, необходимо учитывать влияние климатических факторов (перепады температур, атмосферные осадки, солнечная радиация) на сохранение защитных свойств полимерных шлемов в процессе их эксплуатации [3].

Опыт проведения специальной военной операции показал, что несмотря на запрет международной конвенции от 2008 года вооруженные силы Украины (ВСУ) широко используют шрапнельные артиллерийские снаряды. Так, в состав боекомплекта 155-мм французской самоходной артиллерийской установки CAESAR входят шрапнельные снаряды [4]. Вид 155-мм французской самоходной

артиллерийской установки CAESAR и разрыва ее шрапнельного снаряда представлен на рис. 1.

Характеристики зарубежных шрапнельных артиллерийских снарядов, содержащих стреловидные поражающие элементы, представлены в табл. 2 [4].

Схема 105-мм снаряда APER-S XM580E1 «BEEHIVE» представлена на рис. 2 [4].

Кроме этого, в арсенале ВСУ имеются шрапнельные снаряды советского производства, которые им достались после раздела вооружения СССР. При совершении провокаций в городах Ирпень и Буча Киевской области мирное население было обстреляно шрапнельными снарядами, содержащими СПЭ. Британские издания опубликовали результаты судебно-медицинской экспертизы тел, в которых были обнаружены СПЭ. Вид этих СПЭ представлен на рис. 3 [4].

Эта версия британских изданий шла вразрез с официальной позицией Киева, который утверждал, что люди на улицах были казнены российскими военными с использованием огнестрельного оружия. Наличие таких СПЭ доказывает, что погибшие попали под обстрел шрапнельными снарядами украинской артиллерии [4].

Кроме этого, отмечаются случаи поражения СПЭ военнослужащих, экипированных полимерными шлемами. На рис. 4 представлена голова военнослужащего после пробития полимерного шлема СПЭ, причем часть подтулейного устройства шлема оказалась прикрепленной к голове за счет СПЭ [5].

Таблица 1

Характеристики полимерных бронешлемов

№ п/п	Наименование бронешлема, производитель	$V_{50\%}^*$, м/с	Площадь защиты, дм ²	Масса, кг
1	Бронешлем облегченный инд. 6Б26 (Россия)	600	11,0	0,90
2	Бронешлем инд. 6Б27 (Россия)	700	12,0	1,25
3	Бронешлем десантника инд. 6Б28 (Россия)	580	11,0	1,00
4	Бронешлем инд. 6Б7-1М (Россия)	650	12,5	1,20
5	Бронешлем инд. 6Б47 (Россия)	650	12,0	1,00
6	Бронешлем ACH Gentex (США)	669	11,5	1,39
7	Бронешлем 303AU Rabintex (Израиль)	700	11,5	1,25
8	Бронешлем ВК-4 Sestan-Busch (Хорватия)	720	12,6	1,58
9	Бронешлем ACH Zebra Armour (ЮАР)	660	11,5	1,30
10	Бронешлем Advanced Combat MKU (Индия)	650	11,0	1,53
11	Бронешлем ВК-3 Mars Armor (Болгария)	650	11,5	1,45

Примечание: * $V_{50\%}$ — показатель противоосколочной стойкости, скорость при которой вероятность непробития защитной структуры равна 0,5



а



б

Рис. 1. Вид 155-мм французской самоходной артиллерийской установки CAESAR (а) и разрыва шрапнельного артиллерийского снаряда (б)

Таблица 2

Характеристики зарубежных шрапнельных артиллерийских снарядов, содержащих СПЭ

№ п/п	Калибр, индекс снаряда, система	Разработчик	Скорость снаряда, м/с	Количество СПЭ, шт.	Масса ПЭ, г
1	105 мм APER-S XM580E1 «BEEHIVE»	США	914–945	9000	0,52
2	152 мм снаряд M625 к танку M551 «Шеридан»	США	686	10000	0,85
3	105 мм M546 к гаубице M101	США	494	8000	0,52
4	90 мм XM580E1 к пушке M-41 танков M47/M48 Patton III	США	914	4100	0,52
5	90 мм Canister M377 к пушке M-41 танков M47/M48 Patton III	США	851–914	5600	0,52
6	105 мм APERS-T к танковой пушке L7 к танкам «Центурион», «Леопард-1», M60, «Абрамс», K1	Велико-британия	1174	5000	—

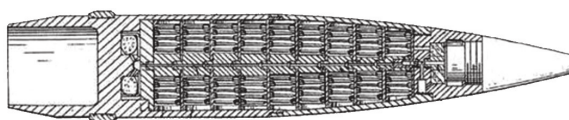


Рис. 2. Схема 105-мм снаряда APER-S XM580E1 «BEEHIVE» (США)



Рис. 3. Вид СПЭ, обнаруженного в телах жителей г. Буча

Для оценки баллистического предела полимерного шлема класса защитной структуры Бр 1 была проведена серия экспериментов стрельбой из 8,05-мм гладкого баллистического ствола с использованием камеры высокого давления, соединенной системой шлангов с баллоном с гелием [6, 7]. Шлем крепился с помощью штатной подтулейной системы на деревянном макете головы. Перед каждым выстрелом с помощью лазерного целеуказателя (ЛЦУ) уточнялась точка прицеливания. Скорость СПЭ массой 1,26 г определялась на участке траектории длиной 0,40–0,42 м от дульного среза на фоне контрастного щита при помощи скоростной видеокамеры, с погрешностью ± 9 м/с.

В результате испытаний по утвержденной и апробированной методике [8] был установлен баллистический предел стойкости полимерного шлема к воздействию СПЭ, который составил 120 м/с. При более высокой скорости СПЭ

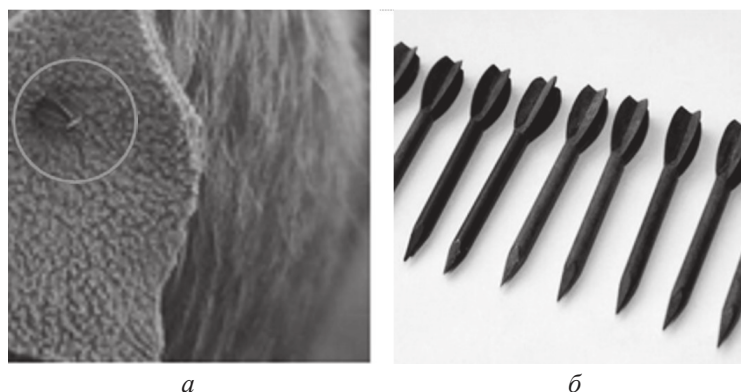


Рис. 4. Вид головы военнослужащего после пробития полимерного шлема СПЭ (а) и вид СПЭ (б)

обеспечивается гарантированное его проникание за тыльную сторону защитной композиции шлема. Виды поражения полимерного шлема при различных скоростях СПЭ представлены на рис. 5.

Кроме этого, для оценки пробивной способности СПЭ массой 0,85 г при взаимодействии с полимерными защитными структурами была проведена серия экспериментов [4]. Испытаниям подвергалась типовая тканево-полимерная защитная структура шлема, размещенная для обстрела на специальном деревянном манекене головы. При испытаниях определялись: факт пробития защитной структуры (выхода СПЭ за пределы защитной структуры) и величина выхода СПЭ за пределы полной защитной структуры. Испытания проводились в диапазоне скоростей СПЭ от 175 м/с до 550 м/с. При проведении испытаний на всех выстрелах были зафиксированы случаи пробития защитных структур (выход «носика» СПЭ за пределы защитных структур). В результате обработки экспериментальных данных получена статистическая модель зависимости глубины выхода СПЭ из защитной структуры от скорости СПЭ при взаимодействии с защитной структурой с использованием метода наименьших квадратов.

Вид статистической модели зависимости глубины выхода СПЭ из защитной структуры от скорости СПЭ представлен в табл. 3.

Анализ результатов испытаний полимерных шлемов показывает, что в зависимости от массы СПЭ баллистический предел шлема составляет 120–140 м/с, что подтверждает значительное могущество шрапнельных артиллерийских снарядов, содержащих СПЭ, при стрельбе по живой силе, экипированной полимерными шлемами.

В связи с полученными неудовлетворительными результатами по стойкости полимерных шлемов к воздействию СПЭ была проведена серия экспериментов по определению стойкости комбинированных шлемов к воздействию СПЭ [6, 7]. В качестве объекта испытаний был использован шлем защитный «Колпак 20» НМРБ.305232.002ТУ производства АО «НПО Спецматериалов», предназначенный для защиты головы человека от пуль огнестрельного оружия по классу защитной структуры Бр 2 ГОСТ Р 57560 и осколков по классу защитной структуры С2 (с баллистическим пределом $V_{50\%}$ не менее 800 м/с). Вид шлема защитного «Колпак 20» представлен на рис. 6.

Площадь защиты шлема «Колпак 20» по классу защитной структуры Бр 2 составляет 10 дм² при массе 1,86 кг. Шлем состоит из корпуса, амортизирующей и удерживающей систем, образующих подтулейное устройство. Корпус состоит из стальной заготовки и защитного элемента, изготовленного из СВМПЭ «РУССИЛ» [9, 10], запрессованного с внутренней стороны заготовки. Из СВМПЭ «РУССИЛ» делается заготовка, которая впоследствии методом термопрессования крепится к стальной основе. Процесс изготовления заготовок из СВМПЭ «РУССИЛ» на заводе специальных материалов АО «НПО Спецматериалов» представлен на рис. 7.

Удерживающая система шлема «Колпак 20» имеет четыре точки крепления к корпусу и состоит из подбородочного и затылочного ремней, обеспечивающих индивидуальную регулировку изделия по объему головы и высоте посадки. Изделие изготавливается универсальным по размеру на головы с обхватом от 55 до 62 см. Амортизирующая система шлема изготавливается в виде

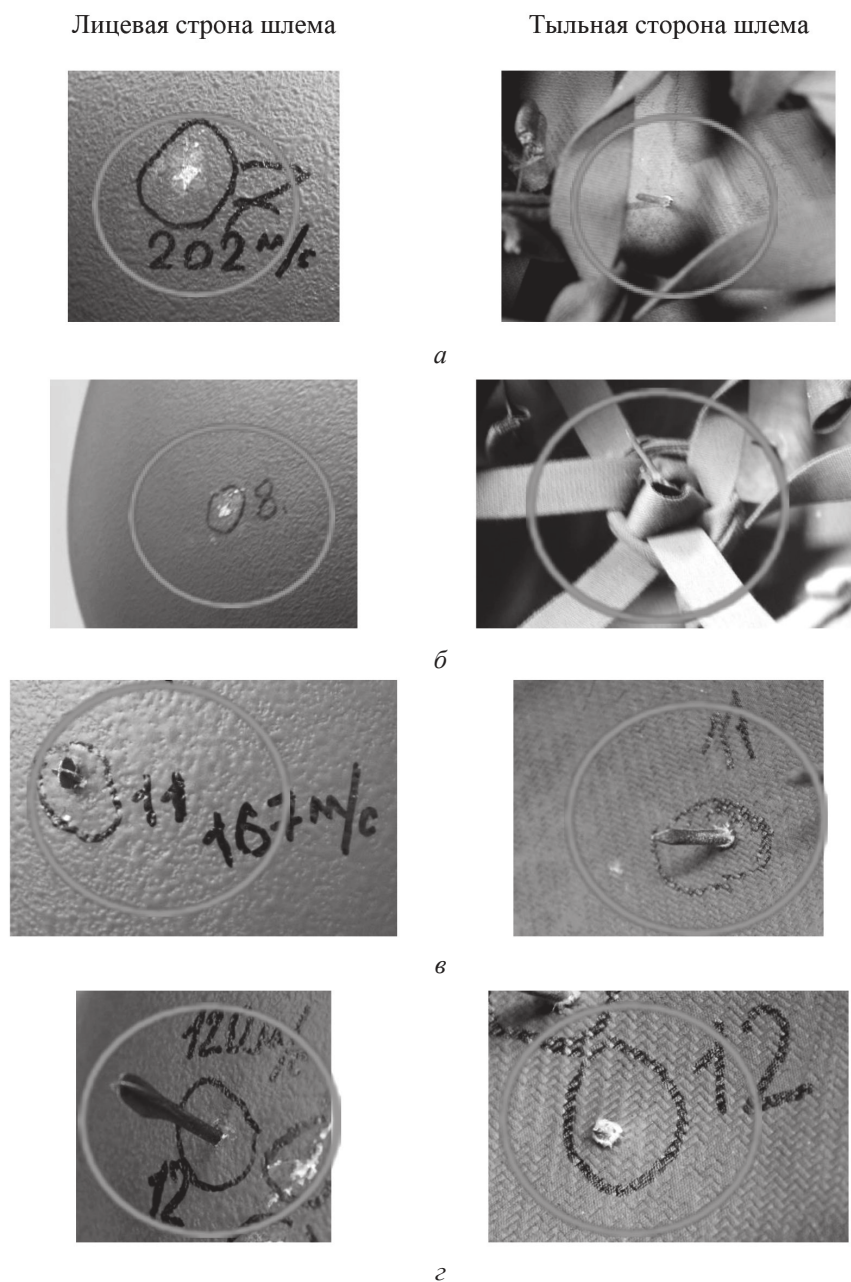


Рис. 5. Виды поражения полимерного шлема СПЭ при различных скоростях:
 а — $V_{СПЭ} = 202$ м/с; б — $V_{СПЭ} = 193$ м/с; в — $V_{СПЭ} = 167$ м/с, г — $V_{СПЭ} = 120$ м/с

Таблица 3

Вид статистической модели зависимости глубины выхода СПЭ из защитной структуры от скорости СПЭ при взаимодействии с защитной структурой

№ п/п	Масса СПЭ, г	Вид статистической модели	Коэффициенты модели		Среднее отклонение, %	Средне- квадрати- ческое отклонение	Коэффи- циент корреляции
			a	b			
1	0,85	$Y = a + bx^2$	-0,652	0,00033	4	0,600	0,9990

Примечание: область определения аргумента от 175 м/с до 550 м/с



Рис. 6. Вид шлема защитного «Колпак 20»

подушек из вспененных полимерных материалов. Изделие упаковывается в индивидуальную сумку.

Вид шлема защитного «Колпак 20» на голове военнослужащего представлен на рис. 8.

Стрельба СПЭ по шлему защитному «Колпак 20» производилась из нарезного баллистического ствола с использованием специальной

сборки, расположенной в гильзе 7,62×39 мм или в гильзе 7,62×54R мм. Защитный шлем крепился с помощью штатной подтулейной системы на деревянном макете головы. Перед каждым выстрелом с помощью ЛЦУ уточнялась точка прицеливания.



Рис. 7. Процесс изготовления заготовок из СВМПЭ «РУССИЛ» для шлемов защитных «Колпак 20»



Рис. 8. Вид шлема защитного «Колпак 20» на голове военнослужащего

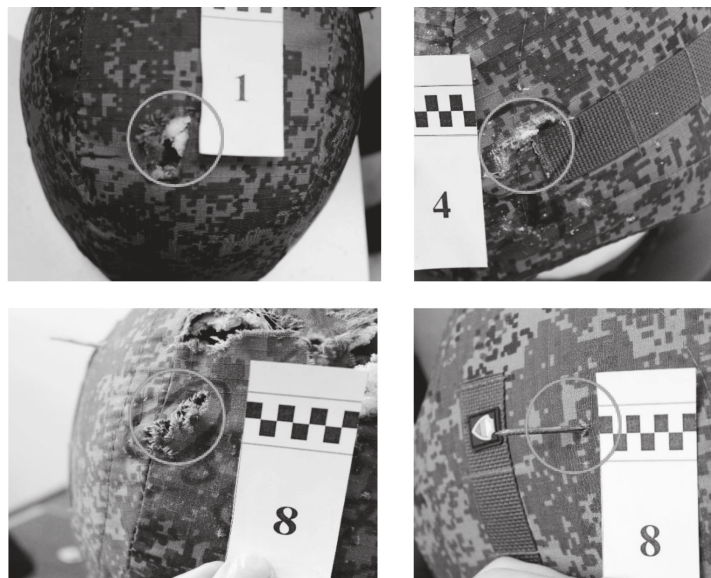


Рис. 9. Вид характерных повреждений чехла шлема после рикошета СПЭ

Стрельба проводилась в диапазоне скоростей СПЭ от 192 м/с до 707 м/с. На всех выстрелах были получены непробития защитных структур. СПЭ при взаимодействии с защитной структурой шлема рикошетировали от стальной поверхности. При этом, чехол шлема выполнил роль противорикошетного экрана и подавляющее большинство СПЭ после рикошета от стальной поверхности шлема были удержаны чехлом. Вид характерных повреждений чехла шлема после рикошета СПЭ представлен на рис. 9.

Анализ результатов, представленных на рис. 9, показывает, что остаточная кинетическая энергия СПЭ после рикошета при взаимодействии с защитной структурой шлема (опыт № 8) позволяет СПЭ продолжить движение внутри чехла на некоторое расстояние с последующим разворотом и вторичным частичным прониканием через чехол шлема.

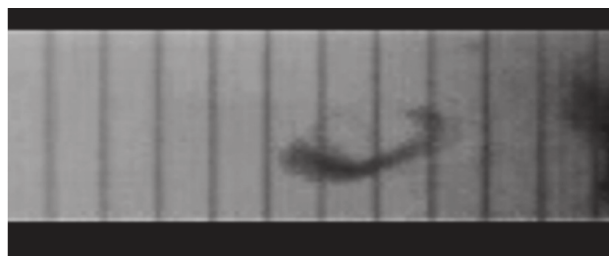
Кроме этого, отмечаются единичные случаи обратного рикошета СПЭ от поверхности защитной структуры шлема. При этом, СПЭ после взаимодействия с защитным шлемом

значительно деформируется и не представляет значительной опасности после рикошета. Вид СПЭ при движении по направлению к защитной структуре защитного шлема представлен на рис. 10, а вид рикошетирующего от поверхности защитного шлема деформированного СПЭ — на рис. 11.

Таким образом, защитная структура шлема защитного «Колпак 20» гарантированно обеспечивает стойкость к воздействию СПЭ при скорости до 707 м/с, что в 5,9 раз выше показателя, установленного для защитной структуры полимерного шлема. Полученные результаты по оценке стойкости защитных шлемов различных конструкций к воздействию СПЭ, содержащихся в артиллерийских шрапнельных снарядах, могут быть использованы для оценки поражения живой силы в средствах индивидуальной бронезащиты [11] в условиях информационной неопределенности [12]. Шлем защитный «Колпак 20» значительно превосходит полимерные шлемы по противопопульной стойкости, противоосколочной стойкости и стойкости



Рис. 10. Вид СПЭ при движении по направлению к защитной структуре шлема защитного



*Рис. 11. Вид деформированного СПЭ,
рикошетирующего от поверхности шлема
защитного*

к воздействию СПЭ и является надежным средством индивидуальной бронезащиты, позволяющем существенно сократить боевые потери военнослужащих с локализацией травмы в область головы.

Список источников

1. Зубарев И.И., Самородский М.В., Бойко В.П. и др. Основные направления развития боевой экипировки военнослужащих Сухопутных войск, Воздушно-десантных войск, и морской пехоты ВМФ // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2013. № 3–4 (57–58). С. 45–54.
2. Чикирев О.С., Карпов И.А. О создании боевой экипировки военнослужащих Вооруженных сил России. // Защита и безопасность. 2009. № 3. С. 23–25.
3. Харченко Е.Ф. Композитные, текстильные и комбинированные бронематериалы. Том 2. Современные защитные структуры и средства индивидуальной бронезащиты. М., 2014. 350 с.
4. Пучков А.С., Спивак А.И., Печеник Р.А. и др. Проблемные вопросы разработки средств индивидуальной бронезащиты и оценки их стойкости к воздействию стреловидных поражающих элементов шрапнельных артиллерийских боеприпасов // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2024. № 2 (132). С. 125–133.

5. Игольчатый поражающий элемент (флешетт) пробивший шлем нашего бойца. URL: <https://dzen.ru/b/ZCWZnuH6fyhkKtlb?ysclid=mb0kabwx5s918068325> (дата обращения: 02.06.2025).

6. Пучков А.С., Спивак А.И., Печеник Р.А. Промежуточный отчет по НИР «Разработка методики испытаний средств индивидуальной бронезащиты на стойкость к воздействию готовых стреловидных поражающих элементов шрапнельных артиллерийских снарядов». СПб.: АО «НПО Спецматериалов», 2024. 19 с.

7. Пучков А.С., Спивак А.И., Печеник Р.А. Отчет об испытаниях шлемов защитных на стойкость к воздействию стреловидных поражающих элементов. СПб.: АО «НПО Спецматериалов», 2025. 17 с.

8. Методика проведения испытаний защитных структур на стойкость к воздействию стреловидных поражающих элементов. СПб.: АО «НПО Спецматериалов», 2024. 12 с.

9. Сильников Н.М., Фомичев А.Б., Гук И.В. и др. Защита судовых конструкций сверхвысокомолекулярным полиэтиленом «РУССИЛ» // Актуальные проблемы защиты и безопасности: Труды XXVII Всероссийской научно-практической конференции. 2024. Т. 2. С. 96–99.

10. Гук И.В., Новак О.С. Нет силы против «РУССИЛа» // Защита и безопасность. 2024. № 3 (110). С. 24–25.

11. Васильева С.Н., Денисов А.В., Гук И.В. Модель оценки поражения живой силы в средствах индивидуальной бронезащиты // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2022. № 5–6 (167–168). С. 76–84.

12. Васильев Н.Н., Спивак А.И., Пугачев А.Н. и др. Методологические проблемы информационной неопределенности при разработке средств индивидуальной бронезащиты // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2014. № 11–12. С. 11–16.

УДК 677.024.8: 677.017: 620.22

doi: 10.53816/20753608_2025_2_159

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ ВЫРАБОТКИ ТКАНЕЙ ИЗ ГИБКОЦЕПНОГО ПОЛИМЕРА

DESIGNING THE STRUCTURE AND TECHNOLOGY OF FABRIC PRODUCTION FROM HIGH-MOLECULAR-WEIGHT POLYETHYLENE FIBER

По представлению чл.-корр. РАРАН Н.М. Сильникова

И.А. Прохорова¹, О.С. Новак², Е.А. Ризванова², О.А. Петрожицкая²

¹Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна,

²НПО Спецматериалов

I.A. Prokhorova, O.S. Novak, E.A. Rizvanova, O.A. Petrozhitskaya

Авторы статьи рассматривают перспективные технологии получения комплексных нитей из сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) и возможность его производства на химических предприятиях РФ. Уникальность свойств СВМПЭ в сочетании с особенностями структурных свойств текстильных материалов, создаваемых технологическими возможностями оборудования, позволяют расширить сферу применения СВМПЭ. На примере тканого полотна показана возможность проектирования заданной структуры ткани для «мягких» элементов средств индивидуальной защиты.

Ключевые слова: сверхвысокомолекулярный полиэтилен, жидкая и твердая технологии гелеформования волокна, структура комплексных нитей, структура ткани, проектирование структуры и технологии выработки ткани.

The authors article consider promising technologies for obtaining complex threads from ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) and the possibility of its production at chemical plants in the Russian Federation. The unique properties of UHMWPE in combination with the peculiarities of the structural properties of textile materials created by the technological capabilities of the equipment make it possible to expand the scope of application of UHMWPE. Using the example of woven fabric, the possibility of designing a given fabric structure for «soft» elements of personal protective equipment is shown.

Keywords: ultra-high molecular weight polyethylene, liquid and solid fiber gel-forming technologies, complex yarn structure, fabric structure, fabric structure design and production technologies.

В настоящее время во всем мире происходит много вооруженных конфликтов и войн. Это приводит к тому, что постоянно появляются и совершенствуются все новые виды смертельного оружия и боеприпасов. Как следствие этот факт влечет за собой повышение требований к защитным свойствам средств индивидуальной броне-

защиты (СИБ): необходимы качественные СИБ, обеспечивающие высокую противоосколочную стойкость при достаточно малом весе изделия и его высокой степени эргономичности. Защита военнослужащих от поражения пулями и осколками является важнейшей задачей в области бронезащиты [1]. Для достижения этих целей

во всем мире непрерывно ведутся работы по поиску новых материалов. Среди них не последнее место занимают текстильные полотна: тканые, трикотажные и нетканые полотна, изготавливаемые из высокопрочных нитей и волокон. Однако технические и технологические возможности текстильных материалов используются недостаточно полно, что частично связано с односторонностью исследований в этой области.

К группе так называемых «суперволокон», обладающих сверхвысокой прочностью, относятся не только арамидные волокна, но и волокна из сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ). Высокая прочность и очень высокая износостойкость при сравнительно низкой плотности ($0,96\text{--}0,97\text{ г/см}^3$) СВМПЭ способствуют тому, что текстильные материалы, изготовленные из них, являются одними из самых перспективных материалов в различных отраслях техники [2]. Область применения комплексных и комбинированных нитей из СВМПЭ огромна. Это и разнообразные тканые и нетканые материалы для улавливания воды и других жидкостей при добыче нефти и газа, фильтры для фильтрации агрессивных жидкостей и газов. Это и легкие бронезащитные материалы с высокой ударной стойкостью, а также это спецодежда, используемая в различных природных условиях. Такая одежда характеризуется большой износостойкостью, долговечностью, небольшим весом [2]. Кроме этого, применение текстильных материалов из СВМПЭ нитей актуально для спортивной одежды и спортивного инвентаря.

Однако для каждого из этих направлений необходимо проведение системных научных исследований, позволяющих прогнозировать необходимые свойства спецматериала на основе изучения структуры текстильных материалов, изготовленных из них. Многообразие эксплуатационных возможностей текстильных материалов из СВМПЭ волокон определяется не только способами получения и свойствами самого волокна, но и во многом зависит от структурного строения самого текстильного материала, определяемого технологическими режимами получения текстильных полотен.

Для того, чтобы понимать эксплуатационное «поведение» текстиля, полученного из СВМПЭ волокон, необходимо представлять технологию получения СВМПЭ волокна. Для этого рассмо-

трим некоторые патентованные решения получения сверхвысокопрочного волокна из полиэтилена, технологии которых используются на современных производствах.

Одним из эффективных и технологических способов получения сверхвысокопрочных нитей из гибкоцепного полимера является метод гелеформования с дальнейшим вытягиванием волокон, который описан в патенте [3]. Получение высокопрочной нити включает стадии растворения полимера в парафиновом масле, экструзии прядильного раствора через фильеру, охлаждения прядильных струй в ванне с изопропанолом для образования геля, трехстадийного ориентационного термовытягивания не отмытой от растворителя филаментной геле-нити в среде парафинового масла, ее промывки от масла с помощью гексана, сушки от гексана и намотки на шпули [3]. Гель-нить, состоящую из 512 или 1024 отдельных филаментов, непрерывно подают на пластификационное вытягивание, а затем принимают в цилиндрический контейнер. Контейнеры с гель-нитью, прошедшей предварительное вытягивание, передают на второй этап вытягивания — четырехстадийное ориентационное термовытягивание. Благодаря тому, что на завершающие стадии ориентационного вытягивания подают нить с линейной плотностью в 40–45 раз ниже, чем у исходной, прогрев ее отдельных филаментов до требуемой температуры происходит в потоке горячего газа равномерно и за короткий промежуток времени. Прошедшую первую и вторую стадии ориентационного вытягивания нить крестообразно наматывают на цилиндрическую бобину (рис. 1) приемно-намоточной машины. Масса паковки составляет до 5 кг, намотка — крестообразная. Форма, структура и масса

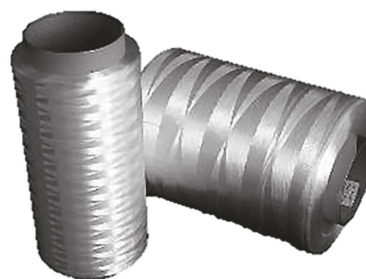


Рис. 1. Готовая паковка комплексной нити
из СВМПЭ

паковки удовлетворяют требованиям технологических процессов подготовки нитей к ткачеству и поэтому такие пакеты могут без особых дополнительных обработок использоваться как для подготовки основных нитей, так в качестве утка на современных бесчелночных станках.

Второй способ получения волокна из гибкоцепного полимера также основан на получении отдельных филаментов из расплава раствора полиэтилена [4]. Этот способ отличается от предыдущего тем, что невытянутая пряжа проходит дополнительно через зону усиленного сужения 1 (рис. 2), предусмотренную в нагреваемой секции воротников 2 (рис. 2), вызывая тем самым усиленную ориентацию волокна. Прядение полиэтиленовой невытянутой пряжи осуществлялось на низкой скорости 1000 м/мин или еще меньше. Малая скорость способствует равномерному охлаждению и затвердеванию отдельных филаментов. После высушивания, полиэтиленовая невытянутая пряжа растягивается, проходя многоэтапно множество вытяжных валов 3 и 4 (рис. 2). Растяжение происходит в диапазоне температур от 110 °С до 125 °С и является необходимым для придания волокну высокой прочности. Поскольку в процессе растяжения несколько сотен или тысяч полиэтиленовых мультифиламентных нитей проходят через бесконтактную нагревательную камеру, поверхностное трение сводится к минимуму. Тем самым уменьшая дефекты пряжи и обеспечивается равномерная тепловая эффективность мультифиламентов, что в последующем способствует эффективной технологической переработки полученных комплексных нитей в текстильные полотна [4].

Поняв технологию формирования СВМПЭ волокна, можно объяснить причину уникальности его свойств. Она заключается в том, что за счет вытягивания и усиления ориентации волокон при формировании, молекулярная структура волокна, состоящая из длинных цепей полиэтилена, получается вытянутой в одном направлении (рис. 3).

За счет длины каждой отдельной молекулы СВМПЭ волокно приобретает свою прочность. Силы Ван-дер-Ваальса, действующие между молекулами, здесь относительно слабы. Но поскольку молекулы очень длинные и каждая цепочка притягивается к другим с помощью большого количества сил Ван-дер-Ваальса, об-

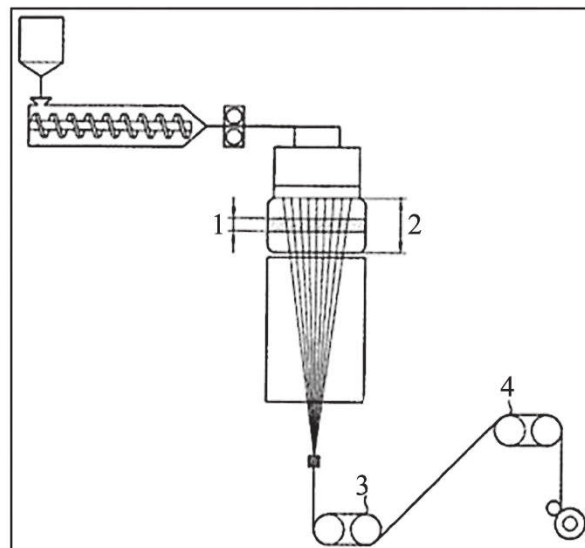


Рис. 2. Схема установки для получения комплексной СВМПЭ нити с применением технологии гель-формования

щая межмолекулярная прочность волокна становится очень высокой. За счет этого волокно, а также нити, или текстильные полотна, изготовленные из них, способны выдерживать очень большие нагрузки на растяжение [5, 6].

В Российской Федерации в настоящее время существуют несколько установок для синтеза порошков СВМПЭ с помощью метода жидкого гель-формования по приведенным выше технологиям. Это следующие мощные предприятия химической отрасли: «Томскнефтехим», проектная мощность 1000 т/год, «Казаньоргсинтез», проектная мощность 1000 т/год; компания «Сибур» одна из крупнейших интегрированных нефтегазохимических компаний России, г. Тобольск; компания «Формопласт» СПб, Россия [7].

Таким образом, из-за уникальности свойств СВМПЭ волокна есть производственная потребность в сверхвысокопрочных нитях нового поколения и есть возможность получать такие волокна и нити на химических производствах Российской Федерации.

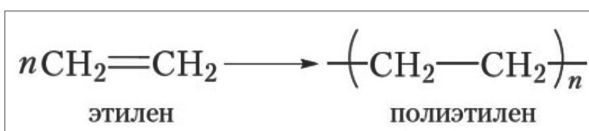


Рис. 3. Структурная формула СВМПЭ

Однако производству текстильных полотен из СВМПЭ нитей в настоящее время не уделяется достаточного внимания, что связано с определенными трудностями реализации технологического процесса. Большая часть текстильных материалов из этого сырья закупается в настоящее время в Китае что, естественно, ограничивает и технологические возможности получения тканей заданных структур, и как следствие, возможности их применения. Необходимы разработки технологии получения заданной структуры ткани для конкретного назначения.

Проектирование заданной структуры и технологии производства тканей из СВМПЭ комплексных нитей для «мягких» элементов СИБ в соответствии с требованиями заказчика — АО «НПО Спецматериалов» показаны ниже.

Из научных публикаций [1–6] известно, что для «мягких» элементов СИБ, в состав которых входят тканые полотна, необходима поверхностная плотность пакета не менее 4 кг/м^2 . Исходя из заданного числа слоев в пакете, например 25 слоев, поверхностная плотность однослойной ткани должна составлять не менее 160 г/м^2 . Необходимо спроектировать такую структуру ткани, которая обеспечила бы выполнение заданного требования.

На первом этапе проектирования необходимо выбрать или разработать экспериментально прототип ткани для проектирования. В нашем случае принято второе решение, что за второе решение согласно которому в лабораторных условиях Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и

дизайна (СПбГУПТД) на экспериментальном макете, полностью моделирующим процесс автоматического ткачества, выработано 25 образцов ткани размером $300 \times 200 \text{ мм}$. В последующем проведено определение структурных параметров всех образцов ткани (табл. 1, 2), средние значения которых приняты за исходные параметры для дальнейшего проектирования ткани по заданной поверхностной плотности. Переплетение ткани, ее внешний вид и структура показаны на (рис. 4).

Исследование СВМПЭ нитей и полученной из них ткани осуществлялись оптическим методом с помощью микроскопа MICROCOLOR 2000 250B-LAB. Микросрезы ткани и комплексной нити представлены на рис. 5. В табл. 1, 2 представлены результаты статистической обработки замеров основных показателей структурного строения ткани, характеризующих заполнение ткани нитями основы и утка и определённых по микросрезам.

По представленной фотографии микросреза ткани можно заметить, что нити основы в ткани практически не изгибаются, а сечение уточной нити по форме близко к эллипсу. Согласно теории фазового строения ткани, ткань такой структуры относится к 1 фазе строения, в которой нити основы в процессе ткачества практически не изгибаются, а уток имеет максимальную волну изгиба. Этот факт следует учитывать во время проектирования структуры ткани при определении заполнения ткани волокнистым материалом. Также из представленной фотографии нити основы (рис. 5, б) можно заметить, что отдельные

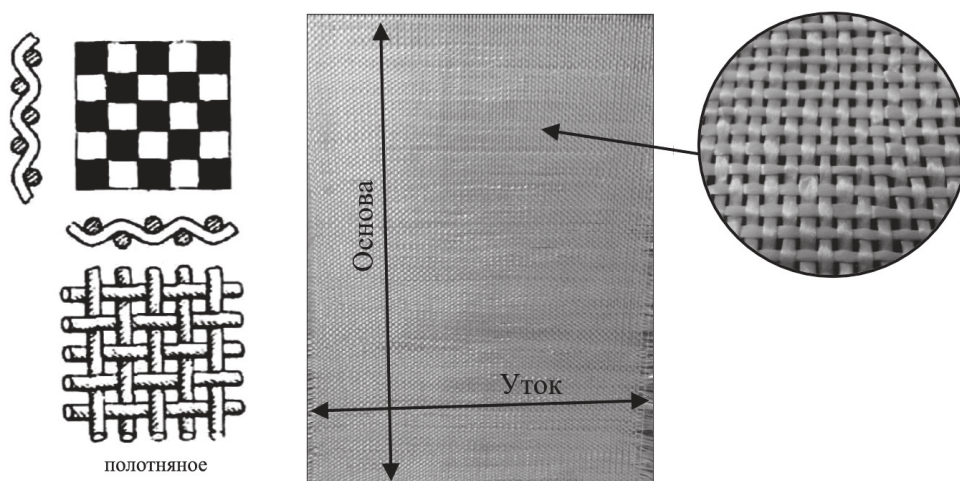


Рис. 4. Ткань полотняного переплетения из СВМПЭ волокна

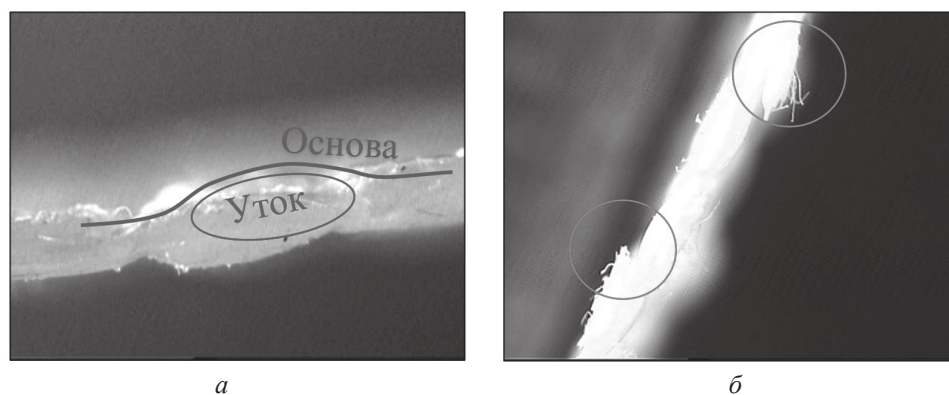


Рис. 5. Микросрезы сечения ткани вдоль нитей основы (а) и нити основы (б)

филаменты нити основы разорваны. Этот факт нужно учитывать при разработке технологии подготовки нитей из СВМПЭ к ткачеству.

С учетом требований к эксплуатации ткани принято решение спроектировать уравновешенную ткань квадратного строения, т.е. в основе и утке должны использоваться нити одинаковой плотности и ткань, полученная в процессе тка-

чества, должна иметь одинаковое число нитей по основе и утку. Условию уравновешенности структуры наиболее удовлетворяют простейшие переплетения, такие как, например, полотняное, саржа 2/2, рогожка и другие. На первом этапе ограничимся использованием только полотняного переплетения.

Для проектирования ткани используется метод проектирования ткани заданной поверхностной плотности, разработанный проф. О.С. Кутеповым [8]. Метод устанавливает зависимость между поверхностной плотностью ткани $M_{м^2}$, линейной плотностью нитей (T_o ; T_y) и коэффициентами плотности ткани по основе и утку (K_o и K_y). Методика проектирования изложена в [9].

По данным ткани-прототипа, согласно [9], имеем:

- приведенный показатель: $X = 0$;
- приведенный показатель: $Y = 0,54$;
- коэффициент неуравновешенности по числу нитей: $m = 0,56$;
- коэффициент неуравновешенности по линейной плотности: $n = 1$;
- коэффициент плотности по основе: $K_o = 13,71$.

Последовательность проектирования новой ткани квадратного строения заданной поверхностной плотности $M_{м^2} = 160 \text{ г/м}^2$ изложена ниже.

1. Средняя линейная плотность нитей в проектируемой ткани.

По заданию к проектированию в новой ткани необходимо сохранить линейные плотности нитей основы и утка, такие же, как и используемые в производстве, то есть $T'_o = T_o = 89 \text{ текс}$; $T'_y = T_y = 89 \text{ текс}$. Тогда $T'_{ср} = 89 \text{ текс}$.

Таблица 1

Показатели строения ткани, принятой за прототип

Показатели	Значение
Расстояние между основными нитями, мм	0,405
Расстояние между уточными нитями, мм	0,541
Условный средний диаметр комплексной нити, мм	0,878

Таблица 2

Результаты расчетов структурных характеристик ткани, принятой за прототип

№	Показатели	Значения
1	Линейная плотность нитей, текс:	
	– по основе, T_o	89
	– по утку, T_y	89
2	Число нитей, нитей/10 см:	
	– основы, P_o	46
	– утка, P_y	87
3	Уработка, %:	
	– по основе, a_o	0
	– по утку, a_y	0,3
4	Поверхностная плотность ткани, принятой за прототип, $M_{м^2}$, г/м ²	170,6

2. Число нитей на 10 см в ткани квадратного строения при поверхностной плотности, равной $M''_{м^2} = 160$ г/м², равно

$$P_{кв} = \frac{M''_{м^2} \cdot (1 - 0,01 \cdot Y)}{0,02 \cdot T_{ср}} =$$

$$= \frac{160 \cdot (1 - 0,01 \cdot 0,15)}{0,02 \cdot 89} = 89,75 \text{ нитей/10 см.}$$

Принимаем $P_{кв} = 90$ нитей/10 см.

3. Коэффициент плотности ткани квадратного строения при тех же условиях равен

$$K_{кв} = 0,0316 \cdot P_{кв} \cdot \sqrt{T_{ср}} =$$

$$= 0,0316 \cdot 90 \cdot \sqrt{89} = 26,83.$$

4. Коэффициент плотности в проектируемой ткани квадратного строения

$$K''_{о,у} = \frac{2 \cdot K_{кв} \cdot m'}{\sqrt{(m' + n') \cdot (m' + 1)}} =$$

$$= \frac{2 \cdot 26,83 \cdot 1}{\sqrt{(1+1) \cdot (1+1)}} = 26,83.$$

5. Число нитей основы и утка на 10 см в проектируемой ткани

$$P''_{о,у} = \frac{K'_о}{0,0316 \cdot \sqrt{T'_о}} =$$

$$= \frac{26,83}{0,0316 \cdot \sqrt{89}} = 90,003 \text{ нитей/10 см.}$$

Принимаем плотность нитей в проектируемой квадратного строения $P''_о = P''_у = 90$ нитей/10 см.

6. Поверхностная плотность проектируемой ткани при полученных расчетом параметрах строения ткани и сохранении исходной линейной плотности нитей основы и утка составит

$$M''_{м^2} = \frac{10 \cdot P''_о \cdot T'_о}{10^3} + \frac{10 \cdot P''_у \cdot T'_у}{10^3 \cdot (1 - 0,01 \cdot a_y)} =$$

$$= \frac{10 \cdot 90 \cdot 89}{10^3} + \frac{10 \cdot 90 \cdot 89}{10^3 \cdot (1 - 0,01 \cdot 0,3)} =$$

$$= 161,24 \text{ г/м}^2.$$

Таким образом, спроектирована уравновешенная ткань квадратного строения со следующими структурными показателями:

– линейная плотность нитей основы и утка:

$$T''_о = T''_у = 89 \text{ текс;}$$

– число нитей основы и утка на 10 см ткани:

$$P''_о = P''_у = 90 \text{ нитей/10 см;}$$

– поверхностная плотность ткани:

$$M''_{м^2} = 161,24 \text{ г/м}^2.$$

Погрешность в расчетах не превышает 5 % от заданного первоначально значения, равного $M''_{м^2} = 160$ г/м².

Следующим этапом проектирования ткани является выбор технологического оборудования и разработка технологии подготовки ткацких паков — ткацкого навоя и уточной паковки.

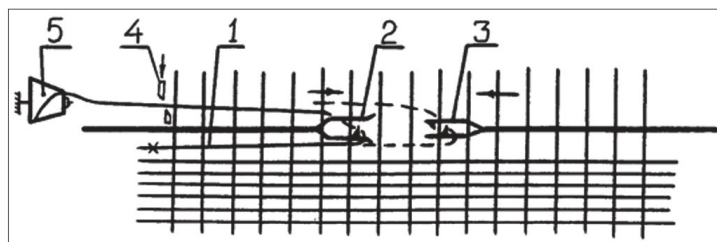
Исходными данными для выбора типа ткацкого станка являются показатели технической характеристики ткани. Кроме того, необходимо учитывать, возможности ткацкого станка для выработки ткани различной напряженности (с различным коэффициентом наполнения нитями основы и утка) и главное — возможностей станка, осуществлять точность прокладывания синтетических комплексных нитей в зев. Нами предложен современный бесчелночный высокоскоростной рапирный ткацкий станок фирмы RIFA модели RFRL31 [11]. Техническая характеристика ткацкого станка указана в табл. 3.

Особенностью прокладывания нити в зев на этом станке является применение в качестве механизма прокладки гибких рапир с захватами по типу Gabler (рис. 6, а) [10], что позволяет гарантировать прокладывание в зев скользких синтетических нитей из СВМПЭ волокон.

Таблица 3

Техническая характеристика высокоскоростного рапирного ткацкого станка

	Параметры	Значения
1	Марка ткацкого станка фирмы RIFA	RFRL31
2	Ширина заправки по берду, см	170–360 (190)
3	Число оборотов главного вала станка, об/мин	300–650
4	Диапазон плотности по утку, нитей/см	2–200
5	Диапазон используемой пряжи: – хлопок и синтетическое волокно, текс; – филаментная нить, дТекс	500–5 10–1650
8	Поверхностная плотность вырабатываемой ткани, г/м ²	20–850



а

б

Рис. 6. Прокладывание утка с помощью гибких рапир: а — схема прокладки по типу Gabler; б — момент передачи нити захватами рапир на станке

Для подготовки ткацкого навоя необходимо разработать технологию приготовления, с учетом эмульсирования или шлихтования нитей, с целью снижения ворсистости и снятия статического электричества нитей. Уточную нить можно использовать с паковок, поставляемых заводом-изготовителем.

В результате проведенных исследований установлено, что уникальные свойства СВМПЭ волокна создают неограниченные возможности его применения не только в виде волокна или нитей, но и в качестве различных комбинаций этих и других материалов на основе текстильных полотен — тканых, трикотажных и нетканых полотен. Разнообразие структурных характеристик этих материалов в сочетании с уникальными свойствами СВМПЭ нитей только расширяют сферу применения таких материалов и позволяют изготавливать различные изделия, выпуск которых ранее был невозможен.

Список источников

1. Сильников М.В., Химичев В.А. Средства индивидуальной СПб.: Фонд «Университет», 2000. 480 с.
2. Бхатнагар А. Легкие баллистические материалы; пер. с англ. под общ. ред. С. Л. Баженова. М.: Техносфера, 2011. 392 с.
3. Способ получения высокопрочной нити из сверхвысокомолекулярного полиэтилена: пат. 2334027 Рос. Федерация. № 2007133325/04; за-

явл. 06.09.2007; опубл. 20.09.2008, Бюл. № 26. 12 с.

4. Seong-Hoon Kim, Jong-Hoon Park, Dong-Hwan Cha, US Patent No. 10 513 803 (24 December 2019).

5. Ельяшевич Г.К. Структура и долговременные механические свойства ориентированного полиэтилена // Физика твердого тела. 2005. Т. 47. Вып. № 6. С. 986–993.

6. Сергеева Е.А., Ибатуллина А.Р., Брысаев А.С. Прочностные характеристики композиционных материалов на основе плазмоактивированных сверхмолекулярных полиэтиленовых волокон // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т.15, № 18. С. 33–35.

7. ООО «Формопласт». URL: <https://www.formoplast-spb.ru/volokna-svmp> (дата обращения: 10.04.2025).

8. Кутепов О.С. Строеение и проектирование тканей. М.: Легпромбытиздат, 1988. 218 с.

9. Прохорова И.А. Теория технологических процессов ткачества. Проектирование тканей: учеб. пособие. СПб.: СПб ГУ промышленных технологий и дизайна, 2024. 107 с.

10. Choogin V., D.Hui, E.Chepelyuk, L.Daniel. Technology of woven fabric for textile composites: Textbook for students of all form of education of textile departments of Universities. ELSEVIER, Amsterdam-Oxford — New York-Tokyo, 2005.

11. Высокоскоростной рапирный ткацкий станок RFRL31. URL: <http://rifa-texmachine.ru/2018/1-4-rfrl31-high-speed-rapier-loom.html> (дата обращения: 10.04.2025).

УДК 03.81.31

doi: 10.53816/20753608_2025_2_166

**ПРОМЫШЛЕННОСТЬ БЛОКАДНОГО ЛЕНИНГРАДА — ФРОНТУ.
«ЛЕНИНГРАД — ФРОНТ, КАЖДЫЙ ЛЕНИНГРАДЕЦ — БОЕЦ»**

**INDUSTRY OF BESIEGED LENINGRAD TO THE FRONT.
«LENINGRAD IS A FRONT, EVERY LENINGRADER IS A FIGHTER»**

В.А. Чубасов^{1,2}, А.С. Алешин^{1,3}, чл.-корр. РАРАН А.М. Сазыкин^{2,3}

¹БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова,

²Михайловская военная артиллерийская академия, ³НПО Спецматериалов

V.A. Chubasov, A.S. Aleshin, A.M. Sazykin

В статье показаны мужество и стойкость, проявленные защитниками Ленинграда при героической обороне города, сыгравшей важную роль в разгроме немецко-фашистских войск под Ленинградом в период Великой Отечественной войны. Благодаря сплоченности и самоотверженности жителей Ленинграда, ставших в единый боевой строй наших войск или во всем им помогавших, Ленинград оказался непреодолимым для врага форпостом.

Ключевые слова: Великая Отечественная война, блокада, Ленинград, фронт, оборона, эвакуация, промышленность, заводы, вооружение, оборудование, снаряды, мины, индустрия.

The article shows the courage and fortitude shown by the defenders of Leningrad during the heroic defense of the city, which played an important role in the defeat of the Nazi troops near Leningrad during the Great Patriotic War. Thanks to the cohesion and selflessness of the inhabitants of Leningrad, who joined our troops or helped them in every way, Leningrad proved to be an insurmountable outpost for the enemy.

Keywords: Great Patriotic War, blockade, Leningrad, front, defense, evacuation, industry, factories, armament, equipment, shells, mines, industry.

Введение

24 июня 1945 года в Москве на Красной площади состоялся Парад Победы — демонстрация торжества Человека, отстоявшего свое высокое звание в жесточайшей, кровопролитной схватке. Победители говорили своим детям и внукам: «Дорогие отроки и девочки, и вы — совсем маленькие! Запомните этих грозных и очень добрых людей, избавивших вас от кнута и виселицы... Пусть в вашей невинной памяти навеки запишется этот день, полный всяческих благоуханий. Та-

ких подарков детям не дарил еще никто. И если когда-нибудь усталость надломит ваше вдохновение или грянут черные минуты, от которых мы, немножко постаревшие и смертные, не можем оборонить вас на расстоянии веков, — вспомните этот день, и вам смешна станет временная невзгода. Вам будет так, как если бы вы раскрыли бесконечно святую книгу творческой муки, беззаветного героизма и бессонного труда. Эта книга называется — Великая Отечественная война».

Именно сегодня, когда события Великой Отечественной войны и блокады Ленинграда стали

достоянием истории, когда наше государство готовится отметить 80-летний юбилей Победы, нас, внуков и правнуков героев тех незабываемых дней, волнуют подробности того грозного времени, и в первую очередь, вопрос, как удалось выстоять Ленинграду, теперь уже городу-герою.

Основная часть

Враг поставил себе цель во что бы то ни стало овладеть городом. Ряд быстрых штурмов, попыток обхода, блокада — все было направлено на то, чтобы сломить сопротивление, ворваться в город. Может быть, нигде с такой ясностью не было продемонстрировано единство всех граждан города, составивших нераздельный гарнизон гигантской крепости. Борьба велась на земле, на воде и в воздухе; летом, под осенними дождями, в долгие зимние вьюги и морозы предельной крепости. Все, что нужно было фронту, давали заводы, работавшие день и ночь. Под бомбами и снарядами врага трудящиеся занимались всеми работами, какие нужны были для целей обороны. Каждый дом был приспособлен для сопротивления; каждый житель, как матрос на корабле, знал свое боевое место.

«Накануне Великой Отечественной войны Ленинград был крупнейшим индустриальным, научным и культурным центром нашей страны. Здесь развивается тяжелое электромашиностроение и станкостроение — основа индустриализации. Заводы Металлический и «Электросила» строят турбины и генераторы для ДнепроГЭС. Поковки и отливки для них делают Ижорский завод и «Красный путиловец». Вступает в строй Нижне-Свирская ГЭС. Развивается современное судостроение и приборостроение. Пущен целлюлозно-бумажный комбинат на р. Сясь. Заработал первый блюминг, выпущен первый синтетический каучук. Строятся новые предприятия. Заводы и фабрики реконструируются и оснащаются лучшим оборудованием. На своих реконструированных предприятиях город давал промышленных изделий намного больше, чем вся промышленность царской России. Около 20% всех производимых в стране машин делали ленинградские заводы. Ленинград становится лабораторией страны, крупным центром конструкторской, исследовательской и научной мысли, кузницей высококвалифицированных кадров.

Тысячи ученых трудились над актуальными проблемами физики, химии, металлургии, горного дела, физиологии, общественных наук, способствуя внедрению научных достижений, помогая тем самым укреплению могущества и богатства страны. Предприятия города освоили строительство и сооружали крупные морские суда, энергетическое оборудование, паровозы, сельскохозяйственную технику, варили сталь, изготавливали подъемные краны, текстильные и бумагоделательные машины, сложные приборы» [2].

С первых дней войны резко возросла роль ленинградской индустрии. Город, располагающий огромным производственным потенциалом, многоотраслевой промышленностью, должен был быстро наладить выпуск различного вооружения, боеприпасов, снаряжения, дать фронту новейшую технику. Промышленность превращалась в мощный арсенал. Крупные предприятия, сократив или вовсе прекратив производство гражданской продукции, начали изготавливать для фронта бронированные железнодорожные платформы с артиллерийскими установками, реактивные снаряды, выпускать серийно танки КВ и другие, бронепоезда, бронированные колпаки, бронемашины, пушки, выполняли заказы противовоздушной обороны и Инженерного управления Ленинградского военного округа [3].

По мере приближения вражеских войск к Ленинграду все более осложнялась работа промышленных предприятий. Налаживать производство стало труднее. Нужно было заниматься эвакуацией промышленного оборудования на восток страны, демонтировать его и в то же время выполнять возрастающие требования фронта. Частые бомбежки и обстрелы нарушали ритмичную работу, наносили повреждения, влекли за собой жертвы и потери, но рабочий класс, закаленный трудностями, упорно и настойчиво делал свое дело. Ничто не сломило его волю к борьбе с врагом [4].

Было немало трудностей, на которые наталкивалось развитие военного производства. С первых же месяцев войны остро встал вопрос о кадрах квалифицированных рабочих. Много их ушло в Красную Армию, в народное ополчение, на строительство оборонительных рубежей, эвакуировалось с предприятиями в тыл страны.

В этих условиях руководство города обращается к ветеранам, женщинам и молодежи, зовет

их на производство, к станкам, чтобы заменить ушедших на фронт. Несколько тысяч рабочих разных специальностей пришли на предприятия из системы трудовых резервов, но основным пополнением все же были женщины.

Для оказания помощи предприятиям в налаживании производства в июле 1941 года при горкоме ВКП(б) была создана комиссия во главе с академиком Н.Н. Семеновым по рассмотрению и реализации запросов обороняющих город частей. В комиссию вошли академики Б.Г. Галеркин, А.Ф. Иоффе, профессора Я.Б. Зельдович, Ю.Б. Харитон, Н.Н. Миролюбов, А.А. Петров, Д.В. Тищенко, М.П. Шателен и др. Свою деятельность эта комиссия прекратила в 1945 году, внося большой вклад в развитие оборонной промышленности. При горкоме ВКП(б) действовала также техническая комиссия под руководством директора Котлотурбинного института Н.Г. Никитина. В нее входили видные ученые, опытные инженеры и директора, вносявшие новые изменения в процессы литья корпусов для снарядов и мин, штамповки снарядных гильз, оказана техническая помощь многим предприятиям города [1].

На выпуск вооружения и боеприпасов были переориентированы ведущие отрасли промышленности — машиностроительная, электротехническая, оптическая, химическая, легкая и пищевая. Заводы «Электросила», «Электроаппарат», «Буревестник» с производства оборудования для электростанций были переключены на выпуск мин. Сталепрокатный и проволоочно-канатный заводы вместо выполнения заказов для тракторных предприятий стали выпускать крепеж для танков, ленты для патронов, гранаты и автоматы [5]. «Севкабель» и «Красная заря» увеличили производство военно-полевых средств связи. Завод резинотехнических изделий перешел на производство аэростатов заграждения, противохимической одежды, резиновой обуви.

Вагоностроительному заводу им. Егорова, приступившему к выпуску мин и некоторых видов армейского снаряжения, пришлось изготовить для этой цели несколько десятков специальных станков, большое количество штампов, приспособлений и инструментов. Завод им. Второй пятилетки, производивший в кооперации с Кировским машины для бумажной промышленности, полностью перешел на про-

изводство боеприпасов и узлов для танков КВ. Детали и узлы для танков Кировскому заводу как головному предприятию поставляли Ижорский, Металлический, «Русский дизель» и многие другие заводы.

Однако в условиях приближения немецких войск к Ленинграду и угрозы его полного окружения крайне необходимой стала массовая эвакуация производственного персонала и населения, оборудования важнейших промышленных предприятий, материалов, полуфабрикатов, технической документации.

Выполняя постановление ЦК ВКП(б) и СНК СССР от 27 июня 1941 года, Военный совет Северного фронта 28 июня 1941 года определил, что эвакуации из Ленинграда в первую очередь подлежат квалифицированные рабочие, инженеры и служащие, оборудование, станки и машины важнейших предприятий, ценные сырьевые ресурсы, цветные металлы. Перемещение в города Поволжья, Урала, Сибири, Средней Азии авиационных заводов началось в конце июня, оборудования Наркомата вооружения — с 3 июля, а крупнейших машиностроительных, электротехнических, приборостроительных, оптических и смежных с ними предприятий, конструкторских бюро, учебных и научно-исследовательских институтов, военных училищ и академий — с 11 июля [6]. С 13 июля началась эвакуация заводов Наркомата черных металлов, предприятий тяжелого машиностроения: Невского машиностроительного завода, заводов подъемно-транспортного оборудования, «Русский дизель», «Экономайзер», частично Металлического, станкостроительного, «Светланы», «Электросилы» и др. [1]. Всего к началу сентября 1941 года из Ленинграда было вывезено 92 предприятия [7]. За период с 29 июня по 27 августа из города выехали 164320 рабочих, ИТР, служащих и членов их семей [7]. На новых местах заводы размещались таким образом, чтобы между ними осуществлялась широкая производственная кооперация. Так, на базе Челябинского тракторного завода и эвакуированного в Челябинск и Свердловск оборудования ленинградских Кировского, Ижорского, № 174 и Харьковского дизельных заводов было создано одно из наиболее крупных танкостроительных предприятий, получившее в народе название «Танкоград» [8]. Уже в конце 1941 года

оно стало посылать на фронт тяжелые боевые танки KB [7].

В результате вывоза большого количества агрегатов, станков, машин и оборудования производственная мощность ленинградских заводов и фабрик уменьшилась до 48,7% от довоенной, а по предприятиям Наркомата боеприпасов — на 50,6%. Компенсировались эти потери за счет лабораторий, НИИ, высших учебных заведений, ремонта находившегося на складах и считавшегося непригодным старого оборудования [9].

Перестройка промышленности на военный лад принесла свои плоды, усилиями сотен тысяч рабочих и специалистов промышленность Ленинграда стала выпускать большое количество разных видов вооружения, боеприпасов и снаряжения.

Выпуск продукции для фронта затруднялся постоянными артиллерийскими обстрелами и бомбардировками. В особенно тяжелом положении оказались предприятия, расположенные в южной части города. Некоторые цеха Кировского завода разместились в производственных помещениях ряда предприятий. Для бесперебойного снабжения фронта боеприпасами и вооружением были созданы предприятия-дублиеры. Ленинградские рабочие делали все, чтобы дать фронту как можно больше боеприпасов и вооружения. Полуголодные, они иногда сутками не выходили из цехов, выполняя оборонные задания [10].

Производственные трудности усугублялись тем, что на предприятиях в это время преобладал уже женский труд, техника безопасности отсутствовала. Помещения были лишены света и не отапливались. В этих условиях истощенные трудящиеся в темных, холодных цехах обмороженными, потрескивающими от холода руками изготавливали оборонную продукцию.

Особенно сложным было положение с боеприпасами. В довоенное время их производство ограничивалось главным образом выпуском морских снарядов, мин, торпед, в меньшей мере — мин и снарядов для сухопутной артиллерии [1]. В первые недели блокады положение со снарядами, минами, порохом и взрывчаткой оказалось даже хуже, чем с хлебом и мукой. В дни ожесточенных сентябрьских боев наши войска израсходовали почти все, что у них имелось. Перед Ленинградом встала проблема последнего выстре-

ла [1]. В городе не хватало сырья для производства чугуна, сортовой и листовой стали, железа и других металлов [1]. К заготовке лома и отходов цветных металлов было привлечено население. В каждом домохозяйстве и учреждении были выделены ответственные за сбор и приемку цветных металлов, установлены места их хранения до момента сдачи заготовительным организациям. За каждую тонну сборщики лома получали от заготовителей по 300 руб. [1]. На всех предприятиях был произведен точнейший учет сырья и материалов [1]. Не хватало не только металла, но и тротила. На подвоз его надежды не было, а наладить производство в городе не представлялось возможным. Группа ученых под руководством профессора А.Н. Кузнецова заменила тротил аммониевой селитрой, смешанной с кремнеалюминиевым компонентом. Сплав «П» под названием «синал» стал основным видом блокадной взрывчатки. Им снаряжались снаряды, ручные гранаты и мины. Производство «синала» в короткое время было организовано на Невском химкомбинате. В порядке кооперации с ним сотрудничали заводы «Автоген», Кирпичный № 1, Горный и Аллюминиевомагниевого институты. Интендантом 1-го ранга Чернышевым был создан заменитель пороха. Для производства боеприпасов, которое было организовано на 14 предприятиях, использовали и взрывчатку, которая извлекалась из неразорвавшихся немецких бомб [7].

Строгий учет и нормированное использование металла, наряду с применением новых видов взрывчатки, дали возможность уже в сентябре 1941 г. значительно увеличить производство боеприпасов. Наряду с крупными предприятиями к их изготовлению были привлечены мастерские, ремесленные училища, артели промкооперации. Мелкие предприятия этого профиля размещались в пустых цехах заводов и фабрик, в бывших овощехранилищах. Применять механические методы прессования, заливки, шнекования оказалось невозможным из-за отсутствия электроэнергии и пара. Поэтому было решено использовать ручной способ. Женщины «уплотняли» взрывчатку в снарядах деревянными или латунными пестиками [7]. Производство боеприпасов во втором полугодии 1941 года по сравнению с первым возросло в 10 раз [5].

История не знает примеров столь продолжительной осады такого крупного индустриаль-

ного центра и многомиллионного города. Почти девятьсот дней ленинградцы самоотверженно сражались за свой город, ежеминутно смотря смерти в глаза. Много ленинградцев — воинов и жителей города — погибло в те дни. Но павших заменили живые, и каждый знал, каждый был уверен, что придет победа, что Ленинград будет возрожден.

Плечом к плечу с воинами Ленинградского фронта сражались за Ленинград трудящиеся города. Рабочие ленинградских предприятий, несмотря на страшные лишения, продолжали работу для фронта.

«Ленинград — фронт, каждый ленинградец — боец». Эти слова отражали весь уклад жизни в осажденном городе.

Спад промышленного производства пришелся на декабрь 1941 года и продолжался до весны 1942 года. Однако, несмотря на истощение, холод, отсутствие электроэнергии и, невзирая на бомбежки и обстрелы, рабочие продолжали трудиться над выполнением фронтовых заказов. Так, Кировский завод ремонтировал танки. Минометное вооружение производилось на заводах им. Макса Гельца, им. Энгельса, им. Второй пятилетки, им. Карла Маркса, «Вулкан», «Госметр». Непрерывно шел ремонт боевой техники. Только с 15 декабря 1941 по 15 марта 1942 гг. было отремонтировано 53 танка, 43 артиллерийских орудия, 37 самолетов, 700 оптических приборов, большое количество минометов и стрелкового оружия [11]. Основное же внимание обращалось на выпуск новой продукции. За тот же период было изготовлено и передано фронту 88 полковых пушек, 2657 автоматов, 479 минометов, 95 тыс. корпусов снарядов и мин, снаряжено 256 тыс. артиллерийских и минометных выстрелов, произведено 435 тыс. взрывателей, 29 млн капсюлей.

На ряде предприятий, несмотря на нехватку оборудования, и сырья, производились принципиально новые виды вооружения. Ленинградские предприятия первыми освоили выпуск реактивной техники. Ими изготавливались не только легендарные БМ-13, БМ-16 и их модификации, но и первые тяжелые фугасные ракеты вращательного типа конструкции М.Н. Алешина. Впервые в военной истории были разработаны ракеты класса «земля — воздух». Первый в мировой практике залп ракет с воды был нанесен

«морскими катюшами» с Финского залива по немецким позициям под Петергофом.

Прорыв блокады в январе 1943 года, позволивший восстановить связь со страной по суше, существенно улучшил положение осажденного города. Враг еще стоял у его стен, а ленинградцы уже принялись за восстановление заводов и фабрик, городского хозяйства и жилого фонда. Однако возрождать производство приходилось на изношенных станках и машинах. Более того, из Ленинграда вплоть до ноября 1943 года продолжался вывоз наиболее ценного оборудования, поскольку в условиях блокады оно еще не могло быть эффективно использовано, а в восточных районах ощущался его недостаток.

Главное внимание в последний год блокады уделялось восстановлению и дальнейшему развитию оборонной промышленности. По мере укрепления и расширения материально-технической базы ленинградские предприятия наращивали выпуск танков, пулеметов, автоматов, реактивных и артиллерийских снарядов. Следует отметить, что за период блокады на 294 предприятиях города было изготовлено 43 тыс. автоматов, 3 тыс. пулеметов, 11 тыс. минометов, 4166 орудий калибра 42 и 76 мм, около 10 млн снарядов. Было отремонтировано 225 тыс. автоматов, восстановлено или произведено 2 тыс. танков, 1500 самолетов, а также большое количество другой боевой техники [1]. Но наряду с обеспечением фронта и флота всем необходимым и созданием резервов для готовившегося наступления по полному снятию блокады такие заводы, как «Электросила», Металлический, «Севкабель», «Экономайзер», «Красный выборжец», «Красный химик», «Светлана», Невский машиностроительный и ряд других возобновляли производство машин, станков, энергетического оборудования и других видов продукции, необходимой для восстановления всех отраслей народного хозяйства. Однако в 1943 году на пути возрождения ленинградской промышленности и перевода ее производства на рельсы мирного строительства были сделаны лишь первые шаги. В целях быстрого ввода в действие восстанавливались наиболее важные объекты, которые были меньше разрушены, требовали меньше трудовых и материальных ресурсов. Остальные пришлось восстанавливать в последующие годы.

Вот отдельные фрагменты жизни блокадного города Ленинграда. *Охтинское «заведение по выделке ударных колпачков и мастерская для приготовления затравочных стрелок», Охтинский пороховой завод, нынешний ФГУП НПП «Краснознаменец».* В годы Великой Отечественной войны завод работал в режиме блокадного города. В самом начале войны, в 1941 году коллективу предприятия пришлось второй раз пройти по кругу одних и тех же драматических событий. Как и в марте 1918 года, в 1941 году в режиме чрезвычайной срочности пришлось демонтировать производственные мощности и вместе с кадрами и их семьями направить в глубь страны. Станки, оборудование, технологи, руководители и специалисты, ИТР и рабочие положили начало образованию нового военного производства — Муромского приборостроительного завода. Его директором был назначен главный инженер «Краснознаменца» В.М. Костылев. «За образцовое выполнение заданий правительства по производству и освоению новых видов боеприпасов» завод был награжден орденом Красной Звезды (1943 г.) [12].

Станция Ржевка. В 1941–1942 гг. станция Ржевка была единственным железнодорожным узлом, через который осуществлялось снабжение Ленинграда продуктами питания и горючим, происходила перевозка военных грузов, эвакуация ленинградцев и раненых. Станция имела два проездных и пять маневровых путей, один тупик и три ветки. Утром 29 марта 1942 года район станции, поселок Ржевка и завод «Краснознаменец» подверглись интенсивному артиллерийскому обстрелу со стороны немцев. К началу обстрела на путях станции находилось около 400 вагонов, из которых 130 были с боеприпасами, а прочие — с пустой тарой из-под взрывчатых веществ, теплушки и пассажирские вагоны с эвакуированными из города женщинами, детьми и ранеными. Взрывом огромной силы и огнем были уничтожены вокзал, стоящие на путях эшелоны и жилые дома поселка. Погибли сотни людей, железнодорожники, военнослужащие, работники милиции, эвакуируемые ленинградцы и жители поселка [12].

Ржевский полигон — Научно-исследовательский полигон ракетного и артиллерийского вооружения Главного артиллерийского управления. В 1941 году полигон входит в состав войск

Ленинградского фронта и переименовывается в Испытательный артиллерийский полигон. За отличное выполнение боевых заданий командование по обеспечению, изготовлению и внедрению в войска новых видов артиллерийского вооружения в трудных условиях блокады Ленинграда в период Великой Отечественной войны полигон в 1944 году награждается орденом Красного Знамени, а в 1945-м — орденом Отечественной войны I степени. В этот период начальником полигона является генерал-майор Оглоблин И.Н. Накануне Великой Отечественной войны именно здесь испытывалась легендарная «катюша», принятая на вооружение Красной Армии 21 июня 1941 года. В 1940 году здесь начались испытания крупнокалиберных артиллерийских установок для линейных кораблей. Но жизнь внесла свои коррективы, и 406-мм снаряды полетели на наступающих гитлеровцев прямо с полигона. В дни блокады здесь также снаряжалась и батарея № 1 Ленинградского полигона, которой командовал воентех 2-го ранга А.П. Кухарчук, вступив в свой первый бой 29 августа 1941 года. Она открыла огонь по немецким войскам, наступавшим в районе Пулковских высот. Дальность стрельбы составила 45 км. За годы войны орудие сделало по врагу около 200 выстрелов. С 29 августа 1941 года по 10 июня 1944 года орудие принимало активное участие в обороне Ленинграда и разгроме врага. Метким огнем оно разрушало мощные опорные пункты и узлы сопротивления, уничтожало боевую технику и живую силу противника, поддерживало действия частей Красной Армии Ленинградского фронта и Краснознаменного Балтийского флота на Невском, Колпинском, Урицко-Пушкинском, Красносельском и Карельском направлениях. Также по врагам вело огонь 305-мм орудие береговой артиллерии образца 1912 года [12].

Энергетики города Ленинграда. В осажденном городе у энергетиков был свой фронт — поддержание жизни в Ленинграде. Враг не щадил инфраструктуру, многие сотрудники предприятий отправились на войну. Так, в 1941 году, когда город погрузился во тьму, в штате треста «Ленсвет» осталось лишь 40 человек, большинство из них женщины. Сотрудницы треста убрали разбитые светильники, поврежденные фонарные опоры, арматуру и ремонтировали то, что уцелело. Несмотря на колоссальные усилия

по сохранению в блокадном Ленинграде наружного освещения, к январю 1944 года городские светильники были разрушены на 80–85 %.

Узнать Ленинград в конце 1941 года было невозможно. В январе 1942-го на весь город работал единственный генератор на ГЭС-1, способный дать свет лишь стратегическим объектам, от вражеских авиаударов они страдали больше всего. Среди таких — объекты «Ленэнерго», на немецких картах они были отмечены специальными номерами. За годы блокады вражеские войска более 5 тысяч раз поражали сетевые сооружения, кабели и воздушные линии электро-сетевого предприятия. Предложение предприятия проложить бронированный кабель по дну Ладожского озера одобрили в августе 1942 года. Ответственными назначили инженеров «Ленинградской кабельной сети» Н. Туманова и И. Ежова. По их плану вся кабельная вставка предварительно монтировалась в укромном месте бухты Морье на железнодорожной барже и укладывалась на глубину 18–20 метров. Работы начались в сентябре 1942 года. В ладожский район было стянуто много специалистов: кабельщиков, водолазов, связистов и спасателей. Больше 100 рабочих, в основном женщин, предоставили заводы. Кабель проложили к концу сентября. Таким образом, была прорвана энергетическая блокада Ленинграда. Город получил необходимый ток с Волховской ГЭС [13].

Заключение

Таким образом, благодаря сплоченности и самоотверженности жителей Ленинграда, ставших в единый боевой строй наших войск или во всем им помогавших, Ленинград оказался непреодолимым для врага форпостом.

В 1952–1953 гг. в честь защитников Ленинграда в годы Великой Отечественной войны были установлены триумфальные пилоны на улице Коммуны. Проект выполнен архитектором В.Я. Душечкиной и скульптором А.Е. Грозовым.

За мужество и стойкость, проявленные защитниками Ленинграда при героической обороне города, сыгравшей важную роль в разгроме немецко-фашистских войск под Ленинградом в период Великой Отечественной войны, указом президиума Верховного совета СССР городу Ленинграду присвоено почетное звание «Город-герой» с вручением медали «Золотая звезда».

Даже спустя годы, город Санкт-Петербург продолжает хранить память о суровых, но героических днях обороны Ленинграда, обо всех 1418 днях Великой Отечественной войны.

Список источников

1. Непокоренный Ленинград. Л.: ЛВАИУ, 1967. С. 58, 67, 99.
2. Шумилов Н.Д. В дни блокады. М.: Мысль, 1977. 302 с.
3. Карасев А.В. Ленинград в годы блокады 1941–1943. М.: Изд-во Акад Наук СССР, 1958. 315 с.
4. Павлов Д.В. Ленинград в блокаде (1941). М.: Воениздат. 1958. 161 с.
5. Оборона Ленинграда. 1941–1945. Л.: Наука. Ленингр. отд-е, 1968. 791 с.
6. РГАСПИ. Ф. 17. Оп. 122. Д. 29. Л. 23.
7. История Великой Отечественной войны Советского Союза 1941–1945. В 6-ти т. Т. 2. М.: Воениздат, 1961. 681 с.
8. Великая Отечественная война Советского Союза 1941–1945. М.: Воениздат, 1967. 621 с.
9. РГАСПИ. Ф. 71. Оп. 22. Д. 330. Л. 2.
10. Князев С.П. и др. На защите Невской твердыни. Л.: Лениздат, 1965. 642 с.
11. РГАСПИ. Ф. 17. Оп. 122. Д. 29. Л. 29.
12. Краснолуцкий А.Ю. Охтинская энциклопедия. Малая Охта. М.: Изд. Центрполиграф; СПб.: МиМ-Дельта, 2011. 542 с.
13. Анна Мироненко. Вернуть Ленинграду тепло, воду, свет и жизнь // Петербургский дневник. 2025. № 63. С. 8–9.

УДК 623.61

doi: 10.53816/20753608_2025_2_173

БЫВШИЕ ГЕНЕРАЛЫ ВОЙСКА ЛИТОВСКОГО НА СЛУЖБЕ В КРАСНОЙ АРМИИ (ГЕНЕРАЛЫ ДВУХ АРМИЙ)

FORMER GENERALS OF THE LITHUANIAN ARMY IN SERVICE IN THE RED ARMY (GENERALS OF THE TWO ARMIES)

Чл.-корр. РАРАН А.П. Жарский¹, чл.-корр. РАРАН А.М. Сазыкин^{2,3}

¹ НИО НИИ (ВИ) ВАГШ ВС РФ, ² Михайловская военная артиллерийская академия,
³ НПО Спецматериалов

A.P. Zharsky, A.M. Sazykin

В статье идет речь о бывших генералах войска литовского: честно и безукоризненно исполнявших свой воинский долг в рядах Красной армии; являвших собой истинный пример служения своему Отечеству; внесших значимый вклад в дело Победы над нацистской Германией и заслуживающих благодарной памяти потомков.

Ключевые слова: историческая память, Красная армия, офицеры и генералы Войска литовского, Великая Отечественная война.

The article deals with the former generals of the Lithuanian army: who honestly and flawlessly performed their military duty in the ranks of the Red Army; who were a true example of service to their Fatherland; who made a significant contribution to the Victory over Nazi Germany and deserve the grateful memory of their descendants.

Keywords: historical memory, the Red Army, officers and generals of the Lithuanian Army, the Great Patriotic War.

Современные противоречия между участниками мировой политики все больше проявляются в глобальном информационном противоборстве (на усиление которого обращает внимание и Стратегия национальной безопасности Российской Федерации). Роль одного из активных «передовых отрядов» в этих информационных битвах отведена зависимым от Запада (и потому заискивающим перед ним) прибалтийским «государствам — лимитрофам».

Так, после распада СССР в Литве были демонтированы не только институты советской власти, но и историческая память. Прежние

герои Литвы, боровшиеся с немецкими захватчиками, были преданы анафеме, как «оккупанты» или «пособники оккупантов». Новыми «героями свободной Литвы» стали, активно сотрудничавшие с гитлеровским режимом, коллаборанты и ветераны батальонов «литовской вспомогательной полиции»¹, которым стали устанавливать памятники и мемориальные доски. Официальный Вильнюс пытается вычеркнуть из истории страны, имена настоящих патриотов, внесших значимый вклад в общее дело многонационального Советского народа — разгрома нацистской Германии. Вероятно «по причинам так называемой

¹ Батальоны литовской вспомогательной полиции проводили карательные операции, как на территории Литвы, так и в Ленинградской области, Украине, Белоруссии, Польше и даже — во Франции, Италии и Югославии.

«политкорректности» в юбилейный год (80-летия со дня окончания Второй мировой войны) властями современной Литвы замалчивается тот факт, что в вооруженной борьбе с гитлеровской Германией приняло активное участие более 150 тысяч граждан Литовской ССР (в том числе и 13 генералов литовцев²).

Без малого двести тридцать лет со дня (5 апреля 1795 года) императрица Екатерина II (стремясь усилить и обезопасить Северо-Западные рубежи Российской империи) подписала Манифест о присоединении Великого княжества Литовского к Российской империи.

Российские власти как, по этому поводу, метко впоследствии заметил Виленский губернатор (1860) Иван Алексеевич Шестаков, руководствовались следующими установками: «На Литву [*авт.* — конца XVIII в.], политически, можно было смотреть только двояко: как на часть России или как на часть Польши». При этом нельзя не заметить, что присоединение Литвы к России в дальнейшем привело к модернизации этого края. Российская империя вложила значительные средства в развитие промышленности, транспортной инфраструктуры и образования этого региона.

После крушения Российской империи Литовская Тариба (16 февраля 1918 года) приняла декларацию о создании независимого Литовского государства. Национальная армия обретенного независимого Литовского государства (Войско литовское) в 1918 году создавалась на основе Русской военной школы и кадров Русской Императорской армии³. Хотя нынешним политическим элитам (видимо опять же, по причинам «политкорректности») выгодно питать миф о том, что Войско литовское (1918) было создано с нуля⁴. Возглавил Военное ведомство Литвы участник Русско-японской и Первой мировой войн, кавалер семи орденов генерал-майор (1916) Русской Императорской армии Сильвестрас Жукаускас [1].

Надо заметить, что бывшие офицеры Русской Императорской армии, стоявшие у истоков создания национальной армии Литвы, с гордостью продолжали носить свои знаки об окончании военно-учебных заведений и боевые ордена Российской империи (что впрочем, с 1930 года было официально разрешено и властями). Конечно, бывшие офицеры Русской армии не могли не оказывать влияния на положение дел в вооруженных силах Литвы (Войске Литовском)⁵.

² В годы Великой Отечественной войны (1941–1945) в составе ВС СССР воевали и проходили службу на других должностях в Вузах и других учреждениях: старший преподаватель кафедры тактики высших соединений Военной академии Генерального штаба генерал-майор (1940) Балтушис-Жемайтис Феликс Рафаилович; командир 14 воздушно-десантной дивизии Герой Советского Союза, генерал-майор (1944) Блажевич Иван Иванович; старший преподаватель Военной академии Генерального штаба генерал-лейтенант (1940) Виткаускас Винцас Иосифович; начальник инспекторского отдела управления военно-учебных заведений Войска Польского, генерал-майор (1945) Дашкевич Вацлав Теофилович; командир 25 зенитной дивизии резерва Главного командования Центрального фронта, генерал-майор (1944) Жибуркус Иван Иосифович; начальник артиллерии 29 территориального стрелкового корпуса, генерал-майор (1940) Жилис Винцас Иванович; начальник артиллерии 179 стрелковой дивизии, генерал-майор (1940) Иодишус Ионас Варфоломеевич; командир 16 Литовской стрелковой дивизии, генерал-майор (1940) Карвялис Владас Антонович; Военком Литовской ССР, генерал-майор (1944) Мацияускас Иван Иванович; командир 1-й кавалерийской дивизии, генерал-майор (1943) Овар Юлиан Иванович; начальник штаба 43 армии 1-го ПрибФр, Герой Советского Союза, генерал-лейтенант (1945) Позняк Виктор Генрихович; командир 16 Литовской стрелковой дивизии 1-го ПрибФр, генерал-майор Урбшас Адольфас Ионович; старший преподаватель тактики Академии Генерального штаба КА им. К.Е. Ворошилова, генерал-майор (1940) Чепас Альбинас Станиславович.

³ После распада Российской Империи в Литву вернулись обогащенные опытом Русско-японской и Первой мировой войн, получившие образование в военных училищах и Академии Генерального штаба, в том числе: генерал, 12 полковников, 46 подполковников и капитанов, более 150 младших офицеров.

⁴ В этой связи уместно заметить, что и в 1991 году для строительства национальной Литовской армии вновь потребовались кадры нашей страны (СССР). Выпускник Ленинградского ВОКУ (1976) и Военной академии им. Фрунзе (1990) полковник Йонас Андриюшкявичюс стал первым главой Военного ведомства Литвы, которого затем сменил кавалер двух орденов Красной звезды (полученных в Афганистане) выпускник Военной академии им. Фрунзе (1991) полковник Валдас Туткус.

И можно полагать, что совсем не случайно (после вхождения Литвы в состав СССР — 17 августа 1940 года) 6 генералов Войска литовского добровольно пожелали продолжить службу в составе Красной армии. Почти все они были офицерами Русской императорской армии, участниками Первой мировой войны.

В том числе при определении на службу в Красную армию Постановлением Совета народных комиссаров СССР от 29 декабря 1940 года [2] были присвоены советские генеральские звания дивизионному генералу Винцасу Иосифовичу Виткаускасу — генерал-лейтенант, а также бригадным генералам Влалаславу Антоновичу Карвялису, Альбинасу Станиславовичу Чапаускасу-Чапасу — генерал-майор.

Биографии этих «Генералов двух армий», честно и безукоризненно исполнявших свой воинский долг в рядах Красной армии, являющих собой истинный пример служения своему Отечеству и внесших значимый вклад в дело Победы над нацистской Германией — заслуживают благодарной памяти потомков.

Винцас Иосифович Виткаускас (подпоручик Русской Императорской, Дивизионный генерал Литовской, генерал-лейтенант Советской армий, рис. 1) [3] родился 4 октября 1890 года в литовском местечке Ушпалай, в семье крестьянина. Образование получал экстерном в гимназиях в Мариямполе и в Вилкавишкисе. Во время учебы подрабатывал репетитором. В 1914–1916 гг. — студент Московского университета, одновременно посещал Императорское Строгановское Центральное художественно-промышленное училище. С июня 1916 года — юнкер Алексеевского военного училища (ускоренный курс которого закончил в декабре 1916 года. С января по март 1917 года учился на пулеметных курсах в Ораниенбаумской офицерской стрелковой школе. Участник Первой мировой войны. Командовал пулеметным взводом, пулеметной ротой на Румынском фронте, произведен в подпоручики. Демобилизован в феврале 1918 года.

В феврале 1919 года добровольцем вступил в Литовскую армию. В годы Гражданской войны и войны за независимость Литвы воевал против

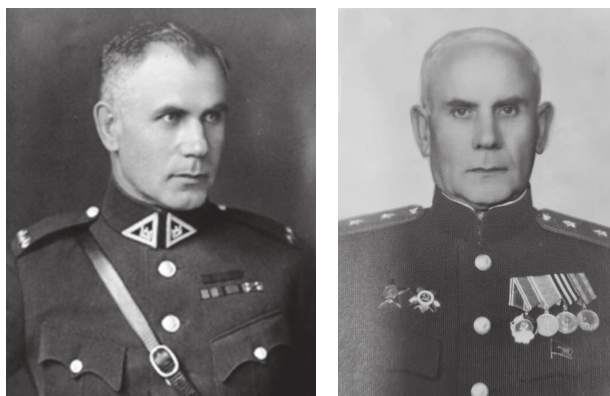


Рис 1. Генерал-лейтенант В.И. Виткаускас

формирований П.Р. Бермондт-Авалова, РККА и против польских войск. С октября 1922 года служил начальником штаба Литовской местной бригады — добровольческого военизированного формирования, созданного для охранной и караульной службы в тылу.

С мая 1927 года — преподаватель Высших офицерских курсов, с апреля по ноябрь 1929 года стажировался в рейхсвере в Германии. С июля 1930 года служил в Генеральном штабе Войска Литовского инспектором пехоты. С апреля 1939 года — командир 1-й пехотной дивизии, с которой в октябре 1939 года участвовал в занятии Виленского края. 22 января 1940 года назначен командующим Литовской армией.

При вступлении советских войск в Литву отдал приказ не оказывать им вооруженного сопротивления. В июле был избран в Народный Сейм, голосовавший за присоединение Литвы к Советскому Союзу. Затем в составе литовской делегации выехал в Москву для передачи просьбы о принятии Литвы в состав СССР. В августе был председателем ликвидационной комиссии Министерства обороны Литвы.

После присоединения Литвы к СССР в августе 1940 года назначен командиром 29-го территориального стрелкового корпуса, созданного на основе формирований бывшей литовской армии. 14 июня 1941 года сдал командование корпусом генералу А.Г. Самохину и был направлен на учебу на курсы усовершенствования высшего начсостава при Академии Генерального штаба

⁵ В 1938 году в Литовской армии еще служили 6 генералов, 16 полковников и 23 полковника-лейтенанта, начавших службу в гарнизонах Российской империи и на фронтах Первой мировой войны. В том же году в Каунасе был проведен съезд участников Первой мировой войны.

РККА им. К.Е. Ворошилова. В период с 1942 по январь 1946 гг. — старший преподаватель Академии Генерального штаба.

В 1946 году назначен начальником военной кафедры Каунасского университета, а после его преобразования в 1950 году — Каунасского политехнического института (был им до 1954 года). С августа 1954 года в запасе по возрасту. Депутат Верховного Совета СССР 1–3 созывов (1941–1954). В 1946–1954 годах депутат Верховного Совета Литовской ССР 2–3 созывов. Член ВКП (б) с 1950 года. Занимался литературной деятельностью, автор мемуаров, многочисленных статей по военным вопросам и трех книг стихов для детей. Переводил на литовский язык произведения русских авторов, в том числе пьесы А.Н. Островского. Скончался 3 марта 1965 года в Каунасе, похоронен на Пятрашюнском кладбище [3].

Владас Антонович Карвялис (бригадный генерал Литовской, генерал-майор Советской армий, рис. 2) [4] родился 11 апреля 1901 года в уездном городе Шавли Ковенской губернии (сегодня Шавли называется Шауляй, а Ковно — Каунас). Образование получил в Шауляйской гимназии. В феврале 1919 года Владас Карвялис вступил в литовскую армию. Окончил ускоренный курс военного училища.

Командиром взвода пулеметной роты участвовал в боях против Красной армии под Двинском (ныне Даугавпилс). В 1921 году окончил в Каунасе командные курсы, одновременно обучаясь на юридическом факультете местного университета. Затем учился в Военной академии в Праге, которую окончил в 1929 году. Быстро продвигаясь по службе, занимая командные и штабные должности, к июню 1940 года Владас Карвялис имел звание бригадного генерала и был командиром 2-й пехотной дивизии.

После вхождения Литвы в состав СССР Владас Карвялис был назначен командиром 184-й территориальной стрелковой дивизии 29-го территориального стрелкового корпуса Прибалтийского особого военного округа с присвоением звания «генерал-майор». Около года он командовал этой дивизией, приложил много сил для укрепления боеспособности, взаимодействия штабов, служб и приданных средств. В ноябре 1940 года командир корпуса Винцас Виткаускас отмечал:

«Свое назначение Карвялис принял и расценивает как большое политическое доверие и оценку качеств как военного специалиста. Иногда сожалеет за участь Чехословакии и высказывает мнение, что если бы не помощь Советского Союза, то и Литву постигла бы такая участь».

В начале июня 1941 года Владас Карвялис был направлен на курсы усовершенствования высшего начальствующего состава (КУВНАС) при Академии Генерального штаба. После окончания курсов был назначен преподавателем кафедры общей тактики в Военную академию имени М.В. Фрунзе. Несмотря на перемену рода деятельности, он очень быстро освоился с новыми обязанностями, и старший тактический руководитель полковник Гареев отмечал: «Товарищ Карвялис показал себя в высшей степени дисциплинированным, четким и точным в работе. Скромен, выдержан и тактичен».

Хотя его преподавательская деятельность складывалась удачно, генерал Карвялис неоднократно обращался с рапортами к руководству академии с просьбой отправить его на фронт на любую должность. В марте 1942 года его просьбу удовлетворили и назначили заместителем командира 16-й Литовской стрелковой дивизии, где он показал себя опытным командиром и храбрым генералом. Эти качества не раз отмечал командир дивизии Феликс Балтушис-Жемайтис. Через год Владас Карвялис стал командиром этой дивизии. В это время дивизия в районе деревни Нагорное Орловской области прикрывала стык между 48-й и 13-й армиями. В ходе начавшейся Курской битвы во время наступления противника на орловско-курском



Рис 2. Генерал-майор В.А. Карвялис

направлении части дивизии упорно отстаивали свой участок фронта и не дали прорвать основную полосу обороны.

Личный состав проявил исключительное мужество, стойкость, решительность и отвагу. В первые дни дивизией было уничтожено около 2 тыс. солдат и офицеров противника, 19 пленено (в том числе капитан), захвачено 16 станковых пулеметов, разбиты пять орудий, сожжено шесть автомашин, 12 танков и сбито 10 самолетов. За умелое руководство дивизией и проявленное при этом мужество генерал Карвялис был награжден орденом Красного Знамени. В дальнейшем дивизия прошла свыше 120 км. Форсировала реки Ока и Крома, освободила около 60 населенных пунктов, уничтожила и пленила свыше 5 тыс. вражеских солдат и офицеров, а также много техники и другого военного имущества. После героического участия в Курской битве дивизия была выведена в резерв Ставки Верховного главнокомандующего.

С конца сентября 1943 года дивизия Владаса Карвялиса в составе 4-й армии Калининского (с 20 октября 1943 года — 1-го Прибалтийского) фронта участвовала в Духовщинско-Демидовской, Невельской и Городокской наступательных операциях, за что была награждена орденом Красного Знамени.

Позднее дивизия отличилась в боях летом 1944 года, уничтожив линию обороны противника в районе станции Полота Витебской области и ряд промежуточных рубежей. Ее частями были разгромлены 389-й полевой запасный батальон, 544-й пехотный полк, уничтожено свыше 1000 и взято в плен 54 солдата и офицера, захвачено несколько складов с военным имуществом и боеприпасами, а также освобождено 97 населенных пунктов. За мужественное и умелое командование дивизией Владас Карвялис был награжден орденом Александра Невского.

В ноябре 1944 года генерал Карвялис был назначен заместителем командира 118-го стрелкового корпуса. И на этой должности он также показал себя с наилучшей стороны. Корпус был передислоцирован в Польшу, а в январе вошел в состав 1-го Украинского фронта и участвовал в наступательных операциях в Польше, Силезии, юго-восточной Германии и Чехословакии. В конце января 1945 года за три дня боев соединения корпуса овладели городами Гинденбург,

Глейвиц и Беутен. После форсирования Одера, ломая сопротивление немецких войск, они овладели еще несколькими городами и к апрелю вышли к чехословацкой границе. Командир корпуса генерал Александр Наумов высоко оценил боевые заслуги, мужество и храбрость своего заместителя, проявленные им в боях. Генерал-майор Владас Карвялис был удостоен ордена Красного Знамени.

После войны, учитывая его богатый боевой опыт и педагогические способности, генерал-майор Владас Карвялис был назначен начальником военной кафедры Вильнюсского государственного университета, которую возглавлял 15 лет, сочетая преподавательскую, научную и общественную деятельность. За плодотворную педагогическую работу и в связи с 10-летием образования Литовской ССР он был награжден орденом Трудового Красного Знамени.

Возглавляя кафедру, доцент Карвялис написал ряд статей, где, исходя из собственного опыта, проанализировал боевые действия времен войны с поучительными примерами. Большим событием в научных кругах стал выход под его редакцией труда «Документы штаба М.И. Кутузова. 1805–1806», посвященного периоду генерал-губернаторства Михаила Илларионовича Кутузова в Литве. Одной из высших наград для Владаса Антоновича можно считать тот факт, что немалое число студентов Вильнюсского университета благодаря его влиянию решили связать свою жизнь с Вооруженными силами СССР.

Судьбу генерал-майора Владаса Карвялиса можно охарактеризовать кратко и емко: служение Родине. За свои заслуги перед государством Владас Карвялис был награжден двумя орденами Красного Знамени, орденами Александра Невского, Трудового Красного Знамени, Красной Звезды. Орденами и медалями Литовской республики, а также иностранными наградами. Генерал Владас Антонович Карвялис умер 28 марта 1980 года и похоронен в г. Вильнюсе.

В память о генерале В. Карвялисе на фасаде дома, где он жил, была установлена мемориальная доска, но в 1990-е годы она была демонтирована местной администрацией. Люди, пришедшие к власти в Литве, под видом раскрытия некоей «правды» затеяли борьбу с советским прошлым. На самом деле это намеренная

фальсификация истории, обычный лживый набор пропаганды национализма.

Альбинас Станисловас Чяпаускас-Чапас (бригадный генерал Литовской, генерал-майор Советской армий, рис. 3) [5] родился 8 декабря 1898 года, д. Минупяй Ужвентиской волости Шауляйского уезда Литвы. На военной службе с декабря 1918 года по апрель 1959 года. Образование получил: в мужской вечерней гимназии (1915), учительских курсах (1916), Каунасском военном училище (1919), Литовской академии Генерального штаба (1934), курсах усовершенствования высшего начальствующего состава при Академии им. М.В. Фрунзе (1941).

В литовской армии занимал должности: начальника организационно-мобилизационного отдела Генерального штаба (1934), вице-министра Министерства обороны Литовской Народной армии (1940). В Красной армии — и.д. командира 179 стрелковой территориальной дивизии Прибалтийского Особого военного округа (1940), зачислен на курсы усовершенствования высшего начальствующего состава при Академии им. М.В. Фрунзе (1941), старший преподаватель тактики Академии Генерального штаба Красной Армии им. К.Е. Ворошилова (1941), начальник военной кафедры института физической культуры Литовской ССР (1946), начальник военной кафедры Литовской Сельскохозяйственной академии (1951). В апреле 1959 года уволен с военной службы.

Награжден: Орденами Красной Звезды, Трудового Красного Знамени, медалями (в т.ч. «За победу над Германией»). Умер 17 июля 1963 года. Похоронен на городском кладбище г. Каунас.

«Генералы двух армий» «Не за страх, а за совесть», воевавшие в Красной армии, а также исполнявшие в годы войны свой воинский долг в



Рис 3. Генерал-майор А.С. Чапаускас-Чапас

Вузах и других учреждениях Вооруженных сил СССР заслуживают того чтобы их имена «не канули в прозелень лет».

Список источников

1. Волков С.В. Генералитет Российской империи: энциклопедический словарь генералов и адмиралов от Петра I до Николая II. Том I. А-К. М., 2009. 756 с.
2. Постановление СНК СССР «О присвоении воинских званий высшему начальствующему составу Красной армии» от 29.12.1940 г.
3. ЦАМО РФ. Коллекция личных дел. Инв. 0110946 (личное дело генерал-лейтенанта Виткаускаса В.И.).
4. ЦАМО РФ. Коллекция личных дел. Инв.058 17 29 (личное дело генерал-майора Карвялиса В.А.).
5. ЦАМО РФ. Коллекция личных дел. Инв. 0778460 (личное дело генерал-майора Чапаускаса-Чапаса А.С.).

УДК 614.84

doi: 10.53816/20753608_2025_2_179

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ ОГНЕСТОЙКОСТИ И ПОЖАРОЗАЩИЩЕННОСТИ ОСОБОВАЖНЫХ ВОЕННЫХ И ГРАЖДАНСКИХ ОБЪЕКТОВ

INSTRUMENTAL FIRE RESISTANCE CONTROL AND FIRE PROTECTION OF PARTICULARLY IMPORTANT MILITARY AND CIVILIAN FACILITIES

А.В. Прищенко, чл.-корр. РАРАН Н.М. Сильников

НПО Спецматериалов

A.V. Prishchenko, N.M. Silnikov

В статье представлен анализ существующих методов инструментального контроля работоспособности противопожарных систем. Рассматриваются различные подходы к проверке систем пожарной сигнализации, включая имитацию срабатывания, функциональный тест и сертификационную проверку. Обосновывается необходимость разработки универсального тестера для повышения эффективности контроля. Особое внимание уделяется практическим аспектам применения различных методов проверки и их сравнительной эффективности.

Ключевые слова: пожарная безопасность, инструментальный контроль, проверка работоспособности, техническое обслуживание, диагностика систем.

The article presents an analysis of the existing methods of instrumental control of the operability of fire protection systems. Various approaches to checking fire alarm systems are being considered, including simulated operation, functional test, and certification verification. The necessity of developing a universal tester to increase the effectiveness of control is substantiated. Special attention is paid to the practical aspects of the application of various verification methods and their comparative effectiveness.

Keywords: fire safety, instrumental control, health check, maintenance, system diagnostics.

Вводная часть

В современных условиях обеспечение пожарной безопасности является критически важным аспектом эксплуатации любых объектов. Автоматизированные системы противопожарной защиты выступают ключевым элементом комплексной безопасности, требующим регулярного и тщательного контроля работоспособности.

Инструментальный контроль противопожарных систем представляет собой сложный многоэтапный процесс, включающий проверку

всех компонентов системы: от датчиков и извещателей до систем оповещения и автоматического пожаротушения. Эффективность такого контроля напрямую влияет на способность системы своевременно обнаружить возгорание и предотвратить развитие чрезвычайной ситуации.

Актуальность исследования существующих методов контроля обусловлена необходимостью повышения надежности противопожарных систем и совершенствования подходов к их техническому обслуживанию. В статье рассматриваются основные методики проверки, их

преимущества и недостатки, а также перспективы развития инструментального контроля в сфере пожарной безопасности.

Особое внимание уделяется практическим аспектам применения различных методов проверки, их эффективности и экономической целесообразности.

Основная часть

Специальные устройства для проверки пожарных извещателей разрабатывались, патентовались, но в серийное производство не запускались.

Проверка срабатывания тепловых пожарных извещателей типа ДТЛ, ИП104 не осуществлялась, т.к. они были невосстанавливаемые.

Проверка дымовых пожарных извещателей серии КИ-1, РИД-1 осуществлялись с помощью специального металлического колпака (рис. 1), в основание которого устанавливался механизм подачи хлопкового фитиля. Фитиль поджигался внутри металлического колпака и с помощью штанги устройство подносилось к проверяемому дымовому извещателю. Было принято считать, что дыма образующегося при сгорании 1 сантиметра фитиля достаточно для срабатывания пожарного извещателя.

Для дымовых пожарных извещателей станции «Тельсап», поставляемых из Польской Народной Республики, можно было приобрести специальное проверочное устройство, в которое вставлялась предварительно надломленная колба с «дымящимся веществом». Дым поступал в специальный колпак, соответствующий разме-

рам пожарных извещателей. Устройство комплектовалось раздвижной штангой.

Данные устройства не имели широкого распространения, т.к. монтажники предпочитали проверку дымом папиросы или сигареты.

Дымовые извещатели следующего поколения (начало 80-х годов прошлого столетия) РИД-6м имели встроенное проверочное устройство, при нажатии на которое штырем специального пробника-съемника, поставляемого совместно со станцией пожарной сигнализации РУПИ-1, извещатель формировал сигнал «Пожар».

На рис. 2 представлен процесс проверки дымового извещателя, смонтированного на объекте.

В связи с ограниченным числом выпускаемых пробников-съемников для проверки пожарных извещателей монтажники зачастую использовали обычную отвертку, для нажатия на встроенное проверочное устройство дымового пожарного извещателя, формирующего сигнал «Пожар».

Серийно выпускаемые пожарные извещатели ДИП-2 (оптико-электронные) имели специальную кнопку для проверки извещателя. При ее нажатии выдвигался специальный стержень, который обеспечивал отражение светового потока излучающего светодиода, что воспринималось фоточувствительной системой как сигнал «Пожар» [1].

В следующей модификации дымовых оптических пожарных извещателей ДИП-3 (ИП212-5) имелось специальное отверстие для штыря пробника-съемника, подобного пробнику-съемнику представленному на рис. 3.

При этом штырь имел ограничитель глубины проникновения в корпус ДИП-3, так, чтобы

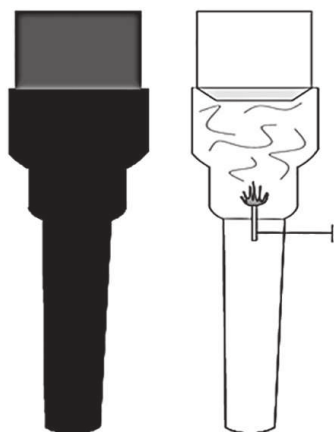


Рис. 1. Устройство для проверки дымовых пожарных извещателей



Рис. 2. Процесс проверки дымового извещателя

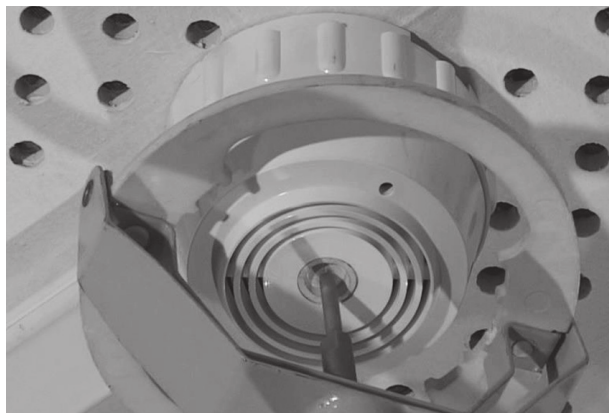


Рис. 3. Пробник-съемник для проверки дымовых пожарных извещателей серии ДИП-3

штырь не мог повредить печатную плату, находящуюся за оптической камерой.

На практике монтажники продолжали «втыкать» отвертки в извещатель для проверки формирования сигнала «Пожар». При этом наблюдались случаи повреждения радиоэлементов печатной платы, находящейся непосредственно за оптической системой.

В ряде случаев в качестве проверочного устройства выступала палка от швабры, в торец которой забивался гвоздь с откусанной шляпкой. В случае несоблюдения допустимой высоты гвоздя повреждались не только радиоэлементы, но и печатная плата дымовых пожарных извещателей.

Отдельные проверочные устройства для автоматической системы пожарной сигнализации (АПС) были разработаны в рамках НИР СПбФ ВНИИПО МЧС РФ «Шлейф» 1993–1994 гг.

К ним можно отнести ручное проверочное устройства для проверки срабатывания извещателя РИД-6м, заменяющего «отвертку монтажника», устройство проверки дымового пожарного извещателя на повышенное содержание влаги в воздушном потоке, устройство для формирования тестовых сигналов «обрыв», «короткое замыкание», «имитация срабатывания пожарного теплового пожарного извещателя с размыкающимся контактом», «имитация срабатывания дымового пожарного извещателя», «имитация ухудшения параметров шлейфа» (сопротивление изоляции, сопротивление проводов, увеличение емкостной составляющей проводов).

Данные приборы не были запущены в серию из-за сложной экономической обстановке в стране.

Дальнейшие работы по созданию приборов диагностики АПС проводились в рамках исследований, проводимых в СПбВППШ (с 1997 года СПб ИПБ) МВД РФ. Устройство для проверки дымовых пожарных извещателей конструкции Коврижных С.Б. представлено на рис. 4.

В связи с отсутствием норм по применению и изменению профиля работ организации данная разработка не нашла широкого применения.

В 2011 году по требованию руководства ГУ УГПС фирмой «Гефест» был разработан комплекс приборов оперативной диагностики систем пожарной автоматики. Востребованность разработки была связана с тем, что сложность систем АПС, монтируемых на объектах, постоянно возрастала и возникла необходимость в приборах инструментального контроля, обеспечивающего компьютерную диагностику элементов и системы АПС (рис. 5).

Данный комплект был разработан по договору с посреднической фирмой «Эксперт» и поставлен во все испытательные пожарные лаборатории (ИПЛ) России. В процессе проведения обучения специалистов ИПЛ особенностям его применения, помимо некоторых технических недоработок, выяснилось, что персонал ИПЛ

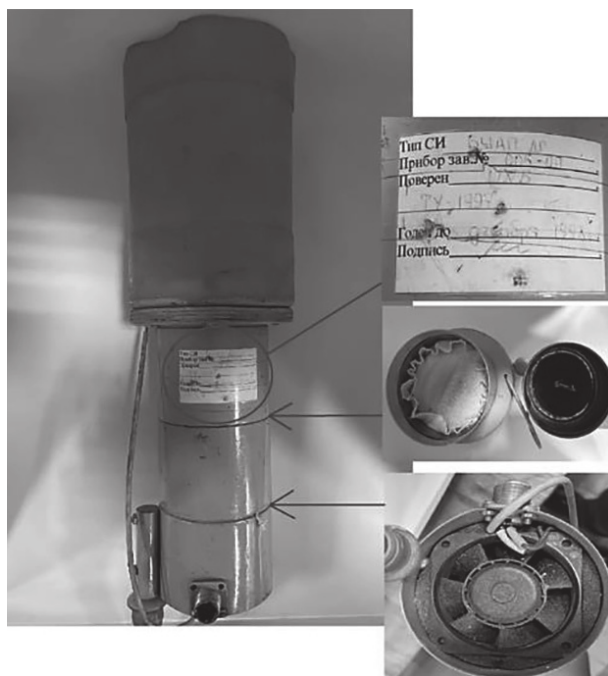


Рис. 4. Устройство для проверки пожарных извещателей конструкции Коврижных С.Б.

СПБ ИПБ МВД РФ 1996 г.

(Аттестовано «Тест-СПб» в 1997 г.)



Рис. 5. Комплект оперативной диагностики пожарной сигнализации КОД-ПС «Шлейф-М1», блоков питания и ППУ «Линия-М1»

на тот момент не имел достаточного опыта работ по проверке пожарной автоматики и специалисты по радиотехническим устройствам среди них практически отсутствовали. Кроме того, выяснилось, что данный комплекс проблематично подключить к шлейфам пожарной сигнализации, т.к. проектные организации не предусматривали установку специальных коммутационных устройств для подключения тестового оборудования, а обслуживающие организации с настороженностью отнеслись к процедуре компьютерного диагностирования АПС [1].

СПбФ ВНИИПО МВД РФ в 2013–2015 гг. была предпринята попытка разработки методик применения средств инструментального контроля АПС в рамках темы «Экспертиза», однако в связи со структурными изменениями организации результаты исследований не были внедрены.



Рис. 6. Внешний вид комплекта для проверки тепловых (слева) и дымовых/газовых (справа) пожарных извещателей с комплектом тестовых аэрозолей имитирующих газ СО (слева) и дым (справа)

Системы АПС являются сложными техническими комплексами, надежность работы которых зависит от многих факторов. В связи с тем, что диагностика АПС может быть обеспечена не только применением метрологических поверенных измерительных приборов, минимальный перечень которых соответствует перечню, утвержденному на основании Федерального закона «О пожарной безопасности» от 21.12.1994 № 69-ФЗ, но и требует специального, нестандартного оборудования обеспечивающего специфику проверки работоспособности и диагностики АПС.

В первую очередь это касается оборудования для проверки пожарных извещателей. До последнего времени в России применялись комплекты устройств импортного производства.

Наибольшее распространение получил комплект устройств SOLO позволяющий проверить срабатывание извещателей пожарных дымовых, тепловых, газовых (СО) точечных пожарных извещателей. Внешний вид комплекта представлен на рис. 6.

Для проверки дымовых/газовых точечных пожарных извещателей в основание устройства (рис. 7) устанавливается тестовый баллон в аэрозольной упаковке соответствующего назначения. Для установки основание вывинчивается из корпуса и после установки в него тестового аэрозоля завинчивается в устройство до момента, когда прозрачный колпак немного приподнимается, но истечения аэрозоля еще не происходит.

Для проверки работоспособности пожарного извещателя он накрывается прозрачным колпаком и посредством удлинительной штанги



Рис. 7. Проверочное устройство из комплекта SOLO для дымовых/газовых точечных пожарных извещателей

устройство прочно прижимается к потолку [2]. При этом усилие нажатия передается на заборный клапан тестового аэрозоля и происходит выпуск тестового аэрозоля в объем колбы.

Длительность нажатия регламентируется инструкцией.

При этом отмечается, что тестовые аэрозоли для комплекта устройств SOLO можно применять только в составе устройства (применение «с руки» не допускается).

Последняя модификация, предназначенная для проверки точечных пожарных извещателей SOLO 365 (рис. 8) содержит картридж с жидкой дымобразующей аэрозолем и испаритель (нагреватель). При помещении пожарного извещателя в объем «колпака» срабатывает датчик обнаружения и автоматически включается испаритель, формирующий имитацию задымления.



Рис. 8. Устройство для проверки точечных пожарных извещателей SOLO 365



Рис. 9. Комплект устройств SOLO для проверки тепловых извещателей

Для проверки тепловых пожарных точечных извещателей предназначен комплект устройств SOLO, представленный на рис. 9.

В основании корпуса устройства размещен нагревательный элемент, формирующий тепловой поток при подаче напряжения от блока питания. При размещении пожарного извещателя в объеме колпака устройства происходит его нагрев и контролируется факт его срабатывания.

Более совершенное устройство, совмещающее в одном корпусе возможность проверки тепловых, дымовых и газовых пожарных точечных извещателей торговой марки Testfire 1001, 2001 представлено на рис. 10.

Это устройство является специальным многофункциональным тестером, который позволяет проверять дымовые и газовые датчики, а также тепловые извещатели. Для этой цели используются два типа насадок и картриджей. В первом случае, используя специальный аэрозоль, формируется дымовая или газовая атмосфера, а во втором — формируется тепловое поле, воздействующее на термoeлемент. Режим работы задается встроенным программирующим устройством [3].

Достаточно оригинальным устройством, позволяющим проверять не только факт срабатывания дымового пожарного извещателя, но и уровень его чувствительности к дыму является комплект для тестирования чувствительности детекторов дыма Trutest (рис. 11).

Это достаточно сложный и дорогостоящий комплект. Используя специальный аэрозоль для проверки пожарных датчиков, можно



Рис. 10. Testfire 1001, 2001



Рис. 11. Комплект TRUTEST

постепенно увеличивать интенсивность и плотность дымовой атмосферы, обтекающей пожарный извещатель. Это позволит определить порог срабатывания.

Достаточно недавно украинскими специалистами был разработан комплект тестовых приборов «КТП-1» (рис. 12), предназначенный для проверки дымовых и тепловых пожарных извещателей.

Комплект тестовых приборов «КТП-1» применяется для входного функционального контроля и оперативного тестирования в местах установки тепловых и дымовых пожарных извещателей (датчиков) при проведении плановых и приемо-сдаточных испытаний системы пожарной сигнализации. Порядок его применения представлен на рис. 13.

Вышеперечисленные устройства являются достаточно дорогостоящими (десятки и даже сотни тысяч рублей) и не имеют значительного распространения.

Для проверки дымовых пожарных извещателей в большинстве случаев применяют тестовые аэрозоли или «спреи», имитирующие дым, применение которых возможно без специальных



Рис. 12. Комплект тестовых приборов «КТП-1»

устройств. На рис. 14. представлены некоторые образцы данных аэрозолей.

В отличие от глобальных фирм, поставляющих аэрозоли в комплекте с устройствами (SOLO, TRUTEST), состав этих «спреев» не всегда декларируется и не может считаться безопасным при несоблюдении мер предосторожности, указанных в инструкции [4].

Из отечественных разработок имеют незначительное распространение отдельные устройства для проверки пожарных извещателей. Например, тестер дымовых пожарных извещателей «Дым-1» (рис. 15).

Это устройство позволяет проверять пожарные охранные приборы посредством создания специальной атмосферы, которая схожа со структурой дыма. Для этого применяется аэрозоль, который по своим характеристикам напоминает дым с размером частиц не более 2 мкм.

Ех-ТЕСТ (рис. 16) позволяет проводить проверку извещателей ИП103-2/1, ИП101-07е и их аналогов (по конструкции чувствительного элемента), без демонтажа непосредственно на месте их установки.



Рис. 13. Проверка дымовых пожарных извещателей комплектом КТП-1



Рис. 14. Образцы тестовых аэрозолей для проверки дымовых пожарных извещателей



Рис. 15. Тестер дымовых пожарных извещателей «Дым-1»

Применяется на предприятиях химической, нефтегазодобывающей, нефтегазоперерабатывающей отраслей и во взрывоопасных зонах других производств. Поставляется в усиленном алюминиевом кейсе. Незаменим для специалистов, обеспечивающих надзор за пожарной безопасностью и техническим состоянием оборудования пожарной автоматики на пожаровзрывоопасных производствах.

Фонарь тестовый «Тюльпан ТФ-1» (рис. 17) предназначен для оперативной проверки рабо-



Рис. 16. Ex-ТЕСТ — взрывозащищенный прибор для проверки тепловых пожарных извещателей

тоспособности извещателей пламени «Тюльпан 1-1», «Тюльпан 1-1-1», «Тюльпан 1-1-2», «Тюльпан 2-16» при их настройке и периодическом обслуживании. Фонарь модулирует световой сигнал, имитируя «мерцания» пламени в инфракрасном и ультрафиолетовом диапазонах спектра.

В первую очередь востребованы простые устройства, способные облегчить проверку работоспособности и устойчивости работы системы при обрыве, коротком замыкании линий связи (ЛС) и ухудшение ее параметров. На рис. 18. Представлены образцы коробки монтажной испытательной (КМ-И) и тестера систем пожарной сигнализации (ТСПС).

КМ-И, включенная в линию связи обеспечивает «точку доступа» в линию связи АПС. Даже без применения специальных приборов она обеспечивает возможность проверки работы «живучести» системы при имитации короткого замыкания и обрыва.

При подключении в разрыв разъемных контактов КМ-И устройства ТСПС появляется возможность помимо имитации сигналов «К.З.» и «Обрыв», диагностировать работоспособность системы при имитации ухудшения параметров линии связи и воздействия помех



Рис. 17. Фонарь тестовый «Тюльпан ТФ-1»



Рис. 18. Образцы КМ-И и ТСПС

(последовательное и параллельное подключение имитаторов помех). Имеются дополнительные контакты ЛС для подключения специальных измерительных приборов или программаторов) [5].

Для диагностирования пороговых систем АПС очень полезным является применение прибора ТПС-01 или его упрощенной версии (без индикаторов) представленных на рис. 19.

Так как при комплексной проверки АПС исполнительные устройства отключаются и переключаются на эквиваленты, для фиксации прохождения команды «Пуск» (может быть кратковременной) целесообразно применение устройства фиксации пускового импульса (УФ «Пуск»), представленного на рис. 20.

Наиболее востребованным в настоящее время является тестовый аэрозоль для проверки пожарных извещателей позволяющий прово-

дить проверку дымовых пожарных извещателей без специального, дорогостоящего устройства («с руки»).

Одной из таких разработок является тестовый аэрозоль ТА-01 (рис. 21).

В случае отказа поставлять в Россию устройств для проверки и диагностики АПС импортного производства возникнет необходимость серийного выпуска отечественных разработок [7].

К таким относится мобильный дымогенератор с дозируемой по заданной программе тестовой аэрозолью из «баллончика». Дымогенератор управляется по радиоканалу и маркируется как «МР» (рис. 22).

Перспективным является разработка универсального устройства для проверки тепловых, дымовых и газовых (монооксид углерода) пожарных извещателей.



Рис. 19. Тестер пожарной сигнализации ТПС-01 и его упрощенная версия (без индикаторов)



Рис. 20. Устройство фиксации пускового импульса УФ «Пуск» с подключенным эквивалентом нагрузки



Рис. 21. Тестовый аэрозоль для проверки дымовых пожарных извещателей ТА-01



Рис. 22. Радиоуправляемый дымогенератор мобильный «МР»



Рис. 23. Универсальное устройство для проверки тепловых, дымовых и газовых пожарных извещателей

Один из вариантов такого устройства представлен на рис. 23.

Наибольший интерес, представляют варианты переносных дымогенераторов, способных имитировать дым тестовых очагов пожара (ТП), по ГОСТ Р 53325-2012, с точки зрения параметров, существенных для реагирования на пожар, в том числе и людьми. Подобные разработки пока не имеют аналогов в мире, и тем не менее имеют хорошую перспективу внедрения.

Выводы

Проведенный анализ показал, что существующая система инструментального контроля противопожарных систем требует комплексного подхода к организации проверок. Ключевыми факторами эффективности являются регулярность проверок, квалификация специалистов и использование современного оборудования [6].

Необходимо совершенствование методик контроля с учетом развития технологий и появления новых типов противопожарного оборудования. Важно обеспечить своевременное выявление неисправностей и оперативное реагирование на выявленные несоответствия.

Дальнейшее развитие системы контроля должно идти в направлении автоматизации процессов проверки и унификации методик тестирования различных типов противопожарных систем.

Список источников

1. Прищенко А.В., Васильев М.А., Зайцев А.И. Оценка эффективности функционирования световых оповещателей в условиях задымленности на складах силовых структур // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2021. № 3–4 (153–154). С. 173–176.
2. Прищенко А.В., Овчаренко М.С. Анализ современного состояния вопроса по обеспечению пожарной безопасности в дошкольных образовательных учреждениях // Вестник Студенческого научного общества. 2019. Т. 2. № 10. С. 101–103.
3. Танклевский Л.Т., Таранцев А.А., Танклевский А.Л. Разработка нормативного документа в части формирования требований к автоматическим установкам сдерживания пожара // Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXXIII Международной научно-практической конференции, посвященной Году науки и технологий. 2021. С. 363–369.
4. Васильев М.А., Аракчеев А.В., Бабинов И.А., Доронин А.С. Перспективы развития спринклерных систем пожаротушения с управляемым пуском // Безопасность в чрезвычайных ситуациях: сб. науч. тр. IX Всероссийской научно-практической конференции, Санкт-Петербург. 2017. С. 205–210.
5. Прищенко А.В., Сильников Н.М. Исследование зависимости параметров пожара и удельной оптической среды от концентрации продуктов горения для объектов военного назначения // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2025. № 3–4 (201–202). С. 161–164.
6. Прищенко А.В. Оценка эффективности пожарной сигнализации в организации / В сборнике: интеллектуальный потенциал молодых ученых как драйвер развития АПК // Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и обучающихся. Санкт-Петербург, 2023. С. 448–452.
7. Зайцев А.И., Прищенко А.В., Лушкина В.А. Анализ причин возникновения неисправности оборудования в противопожарных системах // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2022. № 5–6 (167–168). С. 156–161.

УДК 061.3; 623.45

doi: 10.53816/20753608_2025_2_188

**52-Я НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ»**

52-TH SCIENTIFIC CONFERENCE «SYSTEMS DESIGN»

По представлению чл.-корр. РАН В.В. Зеленцова

С.В. Ладов

МГТУ им. Н.Э. Баумана

S.V. Ladov

В статье проводится обзор тем научных докладов и сообщений, сделанных на 52-й Научно-технической конференции, посвященной вопросам проектирования боеприпасов различного назначения и средствам вооружения и военной техники, обеспечивающим их функционирование. Конференция проводилась при поддержке Российской академии ракетных и артиллерийских наук.

Ключевые слова: научная конференция, боеприпасы, средства поражения, эффективность, взрыв, удар, разрушение, вооружение, военная техника.

In this paper oral presentations which were made in the 52nd Annual Conference which is dedicated to design problems of ammunition of different purposes and weapon are reviewed. The Conference was held with the support of Russian Academy of Missile.

Keywords: scientific conference, ammunition, means of destruction, efficiency, explosion, bump, destruction, armament, military equipment.

В Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана (национальном исследовательском университете) (далее МГТУ им. Н.Э. Баумана) 4–6 февраля 2025 года состоялась 52-я Научно-техническая конференция «Проектирование систем», посвященная вопросам проектирования и действия боеприпасов и средствам вооружения, обеспечивающим их функционирование. Организаторы конференции: Научно-учебный комплекс «Специальное машиностроение» (НУК СМ), кафедры «Высокоточные летательные аппараты» (СМ-4) и «Ракетные и импульсные системы» (СМ-6) МГТУ им. Н.Э. Баумана. Конференция проводилась при поддержке Ассоциации технических университетов (АТУ), Российской академии ракетных и артиллерийских наук (РАРАН)

и Государственного научного центра Российской Федерации федерального государственного унитарного предприятия «Центральный научно-исследовательский институт химии и механики имени Д.И. Менделеева» (ГНЦ РФ ФГУП «ЦНИИХМ им. Д.И. Менделеева»). Председатель Оргкомитета — член-корреспондент Российской академии естественных наук (РАЕН), кандидат технических наук, доцент С.В. Ладов.

Конференция была посвящена 100-летию со дня рождения К.Н. Шамшева, выдающегося выпускника кафедры боеприпасов Московского высшего технического училища имени Н.Э. Баумана (МВТУ им. Н.Э. Баумана), Героя Социалистического Труда, члена-корреспондента Российской академии наук (РАН), крупного ученого-педагога и известного конструктора боевых

частей для ракетно-артиллерийских систем специального назначения. Накануне конференции, 3 февраля 2025 года, в НУК СМ состоялось открытие фотовыставки, посвященной этой знаменательной дате.

Конференцию открыл руководитель НУК СМ МГТУ им. Н.Э. Баумана, доктор технических наук, профессор В.Т. Калугин. В ней приняли участие более 220 представителей 56 организаций из 26 городов России, представляющих вузы, федеральные научные центры, академические и отраслевые институты оборонного профиля, организации Минобороны России, ФСБ РФ и ряд организаций гражданского назначения. На пленарном заседании и заседаниях пяти секций было заслушано и обсуждено 140 докладов, из них 68 устных и 72 стендовых.

На пленарном заседании под руководством доцента С.В. Ладова было заслушано 4 устных сообщения и 6 докладов.

Сообщения, сделанные сотрудниками ФГУП «ЦНИИХМ им. Д.И. Менделеева», были посвящены различным вехам пути и трудовой деятельности К.Н. Шамшева.

1. Бобков С.А. О жизненном пути К.Н. Шамшева.

2. Перминов Д.Г. Роль К.Н. Шамшева в разработке средств противокосмической обороны страны.

3. Метельский А.О. Роль К.Н. Шамшева в разработке средств противовоздушной обороны страны.

4. Товчигречко В.Н. Роль К.Н. Шамшева в разработке боеприпасов на основе детонации топливно-воздушных смесей.

Затем было заслушано 6 полноценных научных пленарных докладов, посвященных различным аспектам развития средств поражения и боеприпасов, вооружения и военной техники, отражающих направления всех пяти секций конференции.

1. Доклад В.В. Глазкова (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва) «Структура артиллерийского зенитного комплекса малой дальности».

2. Доклад К.С. Колобова (АО «ГосНИИмаш им. В.В. Бахирева», г. Дзержинск) «Экспериментально-технологическая отработка направления совершенствования артиллерийских боеприпасов малого калибра за счет применения реакционноспособных материалов».

3. Доклад Л.С. Яновского (ФАУ «ЦИАМ им. П.И. Баранова», г. Москва) «Проблемы создания воздушно-реактивных двигателей на топливах нового поколения».

4. Доклад В.А. Аринина (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров) «Применение современных математических методов при обработке изображений, получаемых в экспериментах по исследованию процессов баллистики и кумуляции».

5. Доклад М.Ю. Семашко (ФГАОУ ВО «Южно-Уральский ГУ», г. Челябинск) «Повышение функциональных возможностей артиллерийского вооружения и военной техники с использованием композитных материалов (на примере миномета и выстрела к нему)».

6. Доклад А.Г. Ришняка (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва) «Универсальная объектно-ориентированная среда для оптимального проектирования боеприпасов по критерию эффективности на поле боя».

На секции № 1 «Вопросы проектирования и эффективности боеприпасов» под руководством доцента В.А. Велданова было заслушано 13 устных и обсуждено 13 стендовых докладов.

В этом году значительная доля представленных на конференции докладов была посвящена беспилотным летательным аппаратам (БПЛА), разработкам программного обеспечения для оценок эффективности действия и методик проектирования и испытаний боеприпасов различного назначения. Ниже приведены темы некоторых типовых устных и стендовых докладов авторов из разных организаций.

1. Доклад А.А. Курносова (ГНЦ РФ ФГУП «ЦНИИХМ им. Д.И. Менделеева», г. Москва) «Методика проектирования многофакторных боевых частей для БПЛА».

2. Доклад А.А. Касьяненко (ГНЦ РФ ФГУП «ЦНИИХМ им. Д.И. Менделеева», г. Москва) «Способ оценки эффективности зажигательного действия боеприпасов».

3. Доклад Е.А. Знаменского (ФГБОУ ВО «БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова», г. Санкт-Петербург) «Расширение номенклатуры снарядов, совместимых с аэродинамической системой коррекции траектории».

4. Доклад А.И. Дунькова (Филиал «НТИИМ» ФКП «НИО ГБИП России», г. Нижний Тагил) «Разработка методики расчета координат паде-

ния изделий с помощью экстраполяции данных РЛС «КАМА-Н».

5. Доклад А.В. Гуськова (ФГБОУ ВО «НГТУ», г. Новосибирск) «Особенности взаимодействия ведущего пояса повышенной прочности с каналом ствола».

6. Доклад И.А. Сидорова (АО «НПО «Базальт», г. Москва) «Градиентная оптимизация аэродинамических поверхностей БПЛА».

7. Доклад А.Е. Февралева (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва) «Анализ возможностей автоматизированного обнаружения и поражения групповых целей кумулятивно-осколочными боеприпасами с БПЛА».

8. Доклад А.М. Ушакова (ПАО «Завод им. Г.И. Петровского», г. Екатеринбург) «Кассетная противотранспортная мина».

9. Доклад К.Е. Гришина (ВИА им. Д.М. Карбышева, г. Красноярск) «Предложения по повышению взрывобезопасности кассетных инженерных боеприпасов».

10. Доклад С.В. Андреева (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ», г. Снежинск) «Полунатурная отработка беспилотного воздушного судна».

11. Доклад Д.А. Ягодникова (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва) «Экспериментальная отработка ракетных и реактивных двигателей с использованием скоростной видеосъемки и оптико-электронной обработки видеоизображений».

12. Доклад Т.С. Малищук (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва) «Методика моделирования воздействия выстрела на электронные приборы в лабораторных условиях».

13. Доклад С.А. Люшнина (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва) «Анализ архитектуры программного обеспечения распознавания объектов с видеорегистратора БПЛА».

14. Доклад В.Б. Сучкова (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва) «Оценка эффективности РЛ взрывателя X-диапазона для авиационной управляемой ракеты».

На секции № 2 «Фугасное и осколочное действие боеприпасов» под руководством профессора Е.Ф. Грязнова было заслушано 12 устных и обсуждено 14 стендовых докладов.

Ниже приведены темы некоторых типовых устных и стендовых докладов авторов из разных организаций.

1. Доклад А.В. Тихонова (ГНЦ РФ ФГУП «ЦНИИХМ им. Д.И. Менделеева», г. Москва)

«Моделирование управляемого группового взрыва».

2. Доклад С.Л. Плетнева (АО «НПО «Базальт», г. Москва) «Осколочно-фугасное действие кольцевого кумулятивного заряда по результатам испытаний авиационного боеприпаса».

3. Доклад А.Е. Курепина (АО «ГосНИИмаш им. В.В. Бахирева», г. Дзержинск) «Особенности определения характеристик низкоскоростных осколочных полей поражения типа «ЗАВЕСА».

4. Доклад С.Ю. Головни (НИИ криминалистики ЦСТ ФСБ РФ, г. Москва) «Влияние масштабного фактора на дробление стальных оболочек, снаряженных аммиачно-селитренными ВВ».

6. Доклад С.И. Косякова (НИЦ БТС «12 ЦНИИ» МО РФ, г. Санкт-Петербург) «Опыты по распространению взрывных волн в траншеях и предложения по их ослаблению».

7. Доклад А.С. Губина (АО «НИМИ им. В.В. Бахирева», г. Москва) «О критериях безопасности литых разрывных зарядов осколочно-фугасных снарядов при выстреле».

8. Доклад А.В. Петюкова (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва) «Оценка фугасного воздействия взрыва на малоразмерный БПЛА».

9. Доклад С.С. Меньшакова (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва) «Взрывное нагружение жидкого снаряжения в макетах квадратного сечения».

10. Доклад В.П. Халеменчука (ИГиЛ СО РАН, г. Новосибирск) «Устройство позиционирования экспериментальных сборок для взрывных камер».

11. Доклад И.А. Рубцова (ЦКП «СКИФ» — ИГиЛ СО РАН, г. Новосибирск) «Синхротронная рентгенография ударного сжатия 3-D структурного алюминия».

12. Доклад А.И. Бобровой (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва) «Баллистический желатин как инструмент оценки заброневого контузионной травмы».

13. Доклад Ю.В. Попова (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва) «Исследования характеристик осколочного поля боеприпасов с полимерной оболочкой и ГПЭ».

14. Доклад С.С. Катернюка (ВИА им. Д.М. Карбышева, г. Красноярск) «Методика

оценки эффективности поражающего действия противопехотных мин на основе боевых частей, формирующих плотные осколочные потоки».

На секции № 3 «Кумулятивное и кинетическое действия боеприпасов» под руководством профессора В.И. Колпакова было заслушано 10 устных и обсуждено 20 стендовых докладов.

Ниже приведены темы некоторых типовых устных и стендовых докладов авторов из разных организаций.

1. Доклад А.П. Масленникова (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров) «Пробивное и заграждающее действие кумулятивных струй, сформированных из биметаллических облицовок».

2. Доклад О.В. Свирского (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров) «Проблемы экспериментального определения скорости дрейфа кумулятивной струи».

3. Доклад М.А. Власовой (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров) «Характеристики кумулятивного заряда изделие N».

4. Доклад С.В. Федорова (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва) «О форме элементов кумулятивных струй при пластическом распаде».

3. Доклад А.С. Пирозерского (АО «НПО «Базальт», г. Москва) «Заряд с алюминиевой кумулятивной облицовкой».

4. Доклад Г.С. Заборы (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва) «Рациональные значения параметров формы двухстадийных конических облицовок, уменьшающие негативное влияние начального вращения кумулятивных боеприпасов».

5. Доклад М.А. Щесняк (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва) «Численное и экспериментальное исследование проникания кумулятивной струи в бетонную преграду».

6. Доклад А.В. Терещенко (АО «НПО «Базальт», г. Москва) «Расчетно-экспериментальное исследование схемы кумулятивного заряда с активным реагентом для эффективного занесения за преграду».

7. Доклад С.В. Елисеева (АО «НИИ им. В.В. Бахирева», г. Москва) «Исследования возможности заданного формирования складок на юбке-стабилизаторе удлиненных ПЭ путем нанесения рельефного рисунка из реакционного материала на поверхности облицовки СФЗ».

8. Доклад А.Г. Анисимова (ИГиЛ СО РАН, г. Новосибирск) «Экспериментальное исследо-

вание влияния магнитного поля на работу кумулятивного заряда».

9. Доклад И.А. Беспалова (АО «НИИ стали», г. Москва) «Поражающее действие готовых элементов из тяжелых сплавов и средства защиты от них».

10. Доклад Н.А. Невмержицкого (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва) «Определение предельной скорости пробития пластиков, использующихся при сборке малоразмерных БПЛА».

11. Доклад В.Ф. Метасова (ГНЦ РФ ФГУП «ЦНИИХМ им. Д.И. Менделеева», г. Москва) «Влияние системы инициирования заряда на габаритные и кинематические характеристики формируемого ПЭ».

12. Доклад Н.С. Дорохова (АО «НИИ стали», г. Москва) «Оценка действия динамической защиты с принудительным взведением».

13. Доклад П.В. Круглова (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва) «Создание коллинеарных компактных поражающих элементов СФЗ».

14. Доклад К.Н. Левина (АО «НИИИ», г. Балашиха) «Использование инженерных боеприпасов в качестве средств защиты танка от БПЛА».

На секции № 4 «Энергетические материалы. Детонация. Метательное действие» под руководством доцента Н.А. Имховика было заслушано 15 устных и обсуждено 14 стендовых докладов.

Ниже приведены темы некоторых типовых устных и стендовых докладов авторов из разных организаций.

1. Доклад А.А. Ошкина (АО «ГосНИИмаш им. В.В. Бахирева», г. Дзержинск; Филиал ФГКВООУ «Военная академия МТО им. А.В. Хрулева», г. Пенза) «Полиморфное превращение компонентов взрывчатого состава артиллерийского снаряда при тепловом внешнем воздействии».

2. Доклад К.С. Колобова (АО «ГосНИИмаш им. В.В. Бахирева», г. Дзержинск; Филиал ФГКВООУ «Военная академия МТО им. А.В. Хрулева», г. Пенза) «Особенности ответных реакций разрывных зарядов артиллерийских боеприпасов при воздействии открытого пламени».

3. Доклад Д.В. Юриковой (ФГУП «СКБ «Технолог», г. Санкт-Петербург) «Создание пластичных и эластичных взрывчатых составов на основе малочувствительных ВВ».

4. Доклад А.С. Старшиковой (ГНЦ РФ ФГУП «ЦНИИХМ им. Д.И. Менделеева», г. Москва)

«Особенности возбуждения детонации малочувствительного взрывчатого состава кумулятивной струей».

5. Доклад А.Ю. Долгобородова (ОИВТ РАН — ФИЦХФ им. Н.Н. Семенова, г. Москва) «Удельный импульс нанотермитной смеси $Al+CuO$ ».

6. Доклад П.С. Чернавкина (АО «НИМИ им. В.В. Бахирева», г. Москва) «Исследование взрывчатых составов на основе перхлората тетраметиламмония».

7. Доклад В.Б. Яшина (АО «ГосНИИмаш им. В.В. Бахирева», г. Дзержинск; МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва) «Метательное действие смесевых взрывчатых составов на основе алюминия с фторполимерным покрытием. Эксперимент, расчет, перспективы применения».

8. Доклад А.А. Костеровой (ГНЦ РФ ФГУП «ЦНИИХМ им. Д.И. Менделеева», г. Москва) «Влияние добавок на свойства реакционных материалов на основе $Al-PT\bar{E}$ ».

9. Доклад М.С. Шарова (ФАУ «ЦИАМ им. П.И. Баранова», г. Москва — АО «НПО «СПЛАВ» им. А.Н. Ганичева», г. Тула) «Исследование процесса горения безметалльного наполнителя в комбинированной двигательной установке газогенераторной схемы».

10. Доклад Н.А. Имховика (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва) «О моделях «детонации с догоранием» и кинетики энергосыделения в смесях ВВ с алюминием».

11. Доклад С.Г. Андреева (МГТУ им. Н.Э. Баумана; НИИ криминалистики ЦСТ ФСБ РФ, г. Москва) «Модель механизма появления следов ВВ в продуктах детонации».

12. Доклад А.А. Тоскина (АО «НПО «Поиск», г. Санкт-Петербург) «Современное состояние и перспективы развития систем инициирования и огневых цепей взрывателей управляемых ракет».

На секции № 5 «Вооружение и военная техника» под руководством доцента И.Б. Шавырина было заслушано 8 устных и обсуждено 10 стендовых докладов.

Ниже приведены темы некоторых типовых устных и стендовых докладов авторов из разных организаций.

1. Доклад Д.С. Михайлова (АО «Туполев», г. Москва) «Оценка летно-технических характеристик комплекса вооружения, состоящего

из дальнего бомбардировщика и планирующих авиационных средств поражения с модулем коррекции на траектории».

2. Доклад М.А. Кутузова (АО «ПО «Электроприбор», г. Пенза) «Локальное бронирование военной техники».

3. Доклад А.П. Киселева (АО «ГосМКБ «Вымпел» им. И.И. Торопова», г. Москва) «Формирование траектории движения воздушной цели на основе данных средств объективного контроля для проведения имитационного компьютерного проектирования».

4. Доклад А.Н. Зеленина (ГНЦ РФ ФГУП «ЦНИИХМ им. Д.И. Менделеева», г. Москва) «Воздействие электромагнитного поля средства постановки радиопомех на электровоспламенитель».

5. Доклад И.А. Гудкова (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва) «Модель группы летательных аппаратов».

6. Доклад И.А. Сидорова (АО «НПО «Базальт», г. Москва) «Разработка алгоритма навигации на основе семантической сегментации фотоизображений для БПЛА».

7. Доклад М.Л. Володарского (ФГБУ «3 ЦНИИ» МО РФ, г. Москва) «Классификация комплексов с барражирующими боеприпасами тактического уровня».

8. Доклад Г.Е. Курышова (ВИА им. Д.М. Карбышева, г. Красногорск) «Обоснование способов и средств вывода из строя объектов электротехнического комплекса».

9. Доклад Н.Ю. Бодриной (ГНЦ РФ ФГУП «ЦНИИХМ им. Д.И. Менделеева», г. Москва) «Залп картечных выстрелов без точного прицеливания».

10. Доклад М.А. Кауфмана (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва) «О модульной методике расчета дульных газодинамических устройств».

11. Доклад А.А. Смирнова (ГНЦ РФ ФГУП «ЦНИИХМ им. Д.И. Менделеева», г. Москва) «Прибор управления огнем реактивного гранатомета».

В целом 52-я Научно-техническая конференция «Проектирование систем» прошла на высоком профессиональном уровне и была весьма продуктивной для ее участников. Особую активность проявили представители ГНЦ РФ ФГУП «ЦНИИХМ им. Д.И. Менделеева» (г. Москва). ФГУП «РФАЦ-ВНИИЭФ» (г. Саров).

АО «ГосНИИмаш им. В.В. Бахирева (г. Дзержинск). АО «НПО «Базальт» (г. Москва). ФАУ «ЦИАМ им. П.И. Баранова» (г. Москва), а также сотрудники кафедр СМ-4, СМ-5 и СМ-6 МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Наиболее обсуждаемыми вопросами на конференции были исследования в области разработки различных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) разведывательного, корректирующего и поражающего типов, а также различных боеприпасов для использования в БПЛА. в области создания различных реакционных материалов и их использования в осколочно-фугасных, кумулятивных и кинетических боеприпасах. в области разработки новых физических принципов действия устройств военного и специально-

го назначения, а также совершенствования численных методов расчетов с использованием современного программного обеспечения, в том числе отечественных разработок.

Формат конференции позволял активно задавать вопросы. На каждой секции проводилось обсуждение устных и стендовых докладов, подводились итоги и давались конкретные рекомендации докладчикам. Успешно прошло заседание круглого стола на тему «Развитие научно-технических связей вузовских, академических и отраслевых организаций с кафедрами оборонного профиля НУК СМ МГТУ им. Н.Э. Баумана».

По итогам конференции планируется издание двух сборников кратких статей по поступившим докладам в отраслевых журналах.

СОДЕРЖАНИЕ

КОНФЕРЕНЦИЯ

<i>Карапетьян Н.М.</i> От сбалансированного развития — к всеобщей связности	3
---	---

ГЕОПОЛИТИКА И ОБОРОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

<i>Шаманов В.А., Кулаков В.В., Каширина Е.И., Каширина О.Ю.</i> Особенности воспитательной и военно-патриотической работы в военных учебных центрах при федеральных государственных образовательных организациях высшего образования с использованием опыта специальной военной операции	22
<i>Коновалов В.Б., Саркисов С.В., Казаков Н.П.</i> Энергетический переход в России	31
<i>Шеремет И.Б., Комольцев В.Л., Потапов В.А.</i> Достижение требуемого уровня эффективности системы вооружения Сухопутных войск — основной способ обеспечения военной безопасности России.....	36

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ, РАСЧЕТЫ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ

<i>Соловьев А.Э., Кравченко О.А., Ивутин А.Н., Шишлов М.Ю.</i> Роевые системы беспилотных объектов: математическое описание поведения группы мобильных объектов.....	43
<i>Палкин М.В., Зенченко М.В.</i> Адаптивная стабилизация беспилотного летательного аппарата самолетного типа.....	50
<i>Суздальцев П.С., Куканов С.А.</i> Методика оценки действия готовых поражающих элементов осколочной боевой части барражирующего боеприпаса	56
<i>Павшин А.Н., Щеглов Д.К.</i> Методика расчета токов и напряжений, наводимых электромагнитным импульсом грозового разряда.....	63
<i>Сызранцев А.Г.</i> Аналитическая модель системы сетевого технологического управления транспортной сетью связи высокодинамичной системы связи специального назначения.....	73
<i>Захаров С.А., Масягина Д.А., Коноплев Ю.В., Юев А.А.</i> Комплексирование сигналов методом кросс-спектрального анализа в активных радиолокационных системах	78

ВООРУЖЕНИЕ, ВОЕННАЯ И СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕХНИКА

<i>Филиппов В.Н., Саулин А.А., Смирнов Д.А., Чукова О.В.</i> Принципы разработки и основные технические требования, предъявляемые к современным тренажерам для вооружения и военной техники.....	86
<i>Яновский Л.С., Гулиенко А.И., Разносчиков В.В., Аверьков И.С., Стольников А.М.</i> Проблемы обеспечения надежной эксплуатации транспортных двигателей на энергоемких топливах в условиях Арктики и Крайнего севера	90

<i>Левин Д.П., Меньшаков С.С., Оганесян Д.А.</i> Сравнительный анализ могущества действия боеприпасов с упрощенной конструкцией	99
<i>Бакланов Д.В., Куканов С.А.</i> Методика оценки эффективности стрелкового оружия при использовании патрона с композитной гильзой.....	106
<i>Андрющенко М.С., Голик А.М., Евдокимов В.И.</i> Направления совершенствования защиты бронетанковой техники от беспилотных летательных аппаратов	113
<i>Китаев А.В., Чистёхин Д.И., Громов А.А.</i> Эмпирическая оценка эффективности действия автоматического противопехотного гранатомета с учетом климатических условий	118

ЭКСПЕРИМЕНТЫ, ИССЛЕДОВАНИЯ И МАТЕРИАЛЫ

<i>Бабук В.А., Бурачек Э.С.</i> Моделирование процесса горения пастообразных топлив	126
<i>Медеяев И.А., Челноков А.В., Гатауллин В.А.</i> Техническое диагностирование металлоконструкций объектов азотокислорододобывающих станций с применением метода акустической эмиссии.....	135
<i>Пучков А.С., Гук И.В., Спивак А.И., Васильева С.Н.</i> Экспериментальное и теоретическое исследование работоспособности противоосколочных изделий.....	141
<i>Спивак А.И., Печеник Р.А., Васильев Д.Н., Котова А.А., Насонов В.Д., Васильева С.Н.</i> Сравнительная оценка воздействия стреловидных поражающих элементов на защитные структуры.....	151
<i>Прохорова И.А., Новак О.С., Ризванова Е.А., Петрожицкая О.А.</i> Проектирование структуры и технологии выработки тканей из гибкоцепного полимера	159

ИСТОРИЯ

<i>Чубасов В.А., Алешин А.С., Сазыкин А.М.</i> Промышленность блокадного Ленинграда фронту «Ленинград — фронт, каждый ленинградец — боец»	166
<i>Жарский А.П., Сазыкин А.М.</i> Бывшие генералы войска литовского на службе в Красной армии (генералы двух армий).....	173

СООБЩЕНИЯ

<i>Прищенко А.В., Сильников Н.М.</i> Инструментальный контроль огнестойкости и пожарозащищенности особоважных военных и гражданских объектов.....	179
<i>Ладов С.В.</i> 52-я научно-техническая конференция «Проектирование систем»	188

СПИСОК АВТОРОВ СТАТЕЙ НОМЕРА

Аверьков Игорь Сергеевич, канд. техн. наук, старший научный сотрудник ФАУ «Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова». E-mail: isaverkov@ciam.ru

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 Военной ордена Жукова академии войск национальной гвардии Российской Федерации. E-mail: 125msa@mail.ru

Бабук Валерий Александрович, чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, профессор, БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова. E-mail: babuk_va@mail.ru

Бакланов Дмитрий Владимирович, адъюнкт 4 кафедры (средств ближнего боя), филиала Военной академии материально-технического обеспечения им. А.В. Хрулёва, г. Пенза. E-mail: baklanov90@yandex.ru

Бурачек Эдуард Сергеевич, БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова. E-mail: a311s01@voenmeh.ru

Васильев Денис Николаевич, инженер научно-исследовательского института специальных материалов АО «НПО Спецматериалов». Тел.: (812) 542-87-70.

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

Гатауллин Владислав Артурович, адъюнкт Военной академии Ракетных войск стратегического назначения им. Петра Великого. E-mail: gataullinvlad@bk.ru

Голик Александр Михайлович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой военно-научных исследований Военной ордена Жукова академии войск национальной гвардии Российской Федерации. E-mail: metr1956@yandex.ru

Громов Алексей Александрович, курсовой офицер-преподаватель факультета ракетно-артиллерийского вооружения Филиала Военной академии материально-технического обес-

печения им. А. В. Хрулева, г. Пенза. E-mail: darkzgorm@gmail.com

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

Гулиенко Анатолий Иванович, канд. техн. наук, начальник отдела ФАУ «Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова». E-mail: aigulienko@ciam.ru

Евдокимов Вячеслав Иванович, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник АО «ВНИИТрансмаш». E-mail: viatcheslav1946@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

Захаров Сергей Алексеевич, аспирант БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова. E-mail: sz11079812@mail.ru

Зенченко Максим Викторович, заместитель начальника отдела АО «ВПК «НПО машиностроения». E-mail: m.v.zenchenko@vpk.promash.ru

Ивутин Алексей Николаевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Вычислительная техника» Тульского государственного университета. E-mail: ivutin@tsu.tula.ru

Казakov Николай Петрович, д-р экон. наук, доцент, доцент кафедры систем жизнеобеспечения Военного института (инженерно-технического) Военной академии материально-технического обеспечения им. А.В. Хрулева. E-mail: knpdoc49@mail.ru

Карапетян Наринэ Марленовна, обозреватель журнала «Защита и безопасность». E-mail: zib97@mail.ru

Каширина Елена Ивановна, канд. ист. наук, доцент кафедры «Кибербезопасность и защита информации» Кубанского государственного технологического университета. E-mail: elivkashir@yandex.ru

Каширина Ольга Юрьевна, канд. техн. наук, профессор АВН, помощник депутата Государственной Думы Федерального Собрания Российской Федерации. E-mail: kashirina_o@mail.ru.

Китаев Александр Владимирович, адъюнкт кафедры (средств ближнего боя) Филиала Военной академии материально технического обеспечения им. А.В. Хрулёва, г. Пенза. E-mail: shurikbaza41@mail.ru

Комольцев Владимир Львович, д-р техн. наук, профессор, старший научный сотрудник Государственного научно-исследовательского испытательного института Военной медицины (ГНИИИ ВМ) ВС РФ. Тел.: +7 (911) 294-32-51.

Коновалов Владимир Борисович, академик РАН, д-р экон. наук, профессор, начальник штаба МТО ВС РФ. E-mail: vlad.conovalow@yandex.ru

Коноплев Юрий Вячеславович, старший преподаватель кафедры «Радиоэлектронные системы управления» БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова. E-mail: urzig_eastwood@mail.ru

Котова Анастасия Андреевна, младший научный сотрудник научно-исследовательского института специальных материалов АО «НПО Спецматериалов». Тел.: (8) 921-428-53-52.

Кравченко Олег Александрович, д-р техн. наук, профессор, ректор Тульского государственного университета. E-mail: info@tsu.tula.ru

Куканов Сергей Анатольевич, канд. техн. наук, доцент кафедры (средств ближнего боя) Филиала Военной академии материально-технического обеспечения им. А.В. Хрулева, г. Пенза. E-mail: Kuk_@mail.ru

Кулаков Владимир Владимирович, д-р ист. наук, профессор, профессор Финансового университета при Правительстве Российской Федерации, помощник Депутата Государственной Думы Федерального Собрания Российской Федерации. kulvvlv@yandex.ru.

Ладов Сергей Вячеславович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Высокоточные летательные аппараты» МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: ladovsv@bmstu.ru

Левин Денис Петрович, канд. техн. наук, доцент, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: dlevin@bmstu.ru

Масягина Дарья Алексеевна, магистрант кафедры «Системы приводов, мехатроника и робототехника» БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова. E-mail: dasha61510@mail.ru

Меделяев Игорь Алексеевич, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры Военной академии Ракетных войск стратегического назначения им. Петра Великого. E-mail: medd_ia@mail.ru

Меньшаков Сергей Степанович, канд. техн. наук, доцент, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: menshakovss@bmstu.ru

Насонов Владислав Дмитриевич, инженер научно-исследовательского института специальных материалов АО «НПО Спецматериалов». Тел.: (812) 542-87-70.

Новак Ольга Сергеевна, начальник производства полимерной брони АО «НПО Спецматериалов». E-mail: o.novak@npo-sm.ru

Оганесян Давид Аргамович, аспирант МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: oganesyanda@student.bmstu.ru.

Павшин Анатолий Николаевич, заместитель главного конструктора АО «Северо-Западный региональный центр Концерн ВКО «Алмаз – Антей» – Обуховский завод». Тел.: + 7 (981) 737-88-44

Палкин Максим Вячеславович, д-р техн. наук, помощник генерального директора АО «ВПК «НПО машиностроения», профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: mpalkin@vpk.npomash.ru

Петрожицкая Ольга Анатольевна, главный конструктор производства полимерной брони АО «НПО Спецматериалов». E-mail: o.petrozhitskaya@npo-sm.ru

Печеник Руслан Александрович, канд. техн. наук, научный сотрудник научно-исследовательского института специальных материалов АО «НПО Спецматериалов». Тел.: (812) 291-45-03.

Потапов Вадим Александрович, канд. техн. наук, генеральный конструктор АО «Маневр-21». Тел.: +7 (967) 118-66-34.

Прищенко Алина Владимировна, заместитель директора ЗСМ по качеству, АО «НПО Спецматериалов». E-mail: vladimir_prishenko@mail.ru

Прохорова Ирина Анатольевна, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры технологии проектирования текстильных изделий Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна. E-mail: o.novak@npo-sm.ru

Пучков Андрей Сергеевич, канд. техн. наук, директор научно-исследовательского института специальных материалов АО «НПО Спецматериалов». Тел.: +7 (812) 542-87-70.

Разносчиков Владимир Валентинович, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник ФАУ «Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова». E-mail: vvraznoschikov@ciam.ru

Ризванова Екатерина Алексеевна, инженер производства полимерной брони АО «НПО Спецматериалов». E-mail: Zinovieva.Ekaterina@pro-sm.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

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. E-mail: ser-sark@yandex.ru

Саулин Антон Александрович, канд. техн. наук, главный конструктор-заместитель технического директора АО «Тулаточмаш». E-mail: auld@mail.ru

Сильников Никита Михайлович, чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, первый заместитель генерального директора АО «НПО «Спецматериалов». E-mail: Nikita.Silnikov@npo-sm.ru

Смирнов Дмитрий Александрович, начальник отдела главного конструктора АО «Тулаточмаш». E-mail: dmsml@yandex.ru

Соловьев Александр Эдуардович, чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Электротехника и электрооборудование» Тульского государственного университета. E-mail: soaled@yandex.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.

Стольников Алексей Михайлович, инженер второй категории ФАУ «Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова». E-mail: amstolnikov@ciam.ru

Суздальцев Павел Сергеевич, адъюнкт кафедры (средств ближнего боя) Филиала Военной академии материально-технического обеспечения им. А.В. Хрулева, г. Пенза. E-mail: Suzdal.1990@bk.ru.

Сызранцев Алексей Геннадьевич, аспирант базовой кафедры ОСМС (отечественные системы магистральной связи) МТУСИ. E-mail: skiabrat@mail.ru

Филиппов Владимир Николаевич, канд. техн. наук, управляющий директор АО «Тулаточмаш». E-mail: ttm@tulatochmash.net

Челноков Алексей Викторович, канд. техн. наук, старший преподаватель Военной академии Ракетных войск стратегического назначения им. Петра Великого. E-mail: chelnokov-av@yandex.ru

Чистёхин Дмитрий Игоревич, руководитель органа по сертификации продукции Некоммерческое партнерство «Ржевский научно-исследовательский испытательный сертификационный центр». E-mail: ird12005@mail.ru

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. E-mail: v.chubasov2014@yandex.ru

Чукова Ольга Владимировна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Вычислительная механика и математика» Тульского государственного университета. E-mail: chukolya1@yandex.ru

Шаманов Владимир Анатольевич, чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, канд. соц. наук, профессор Финансового университета при Правительстве Российской Федерации, депутат Государственной Думы Федерального Собрания Российской Федерации. E-mail: shamanov@duma.gov.ru

Шеремет Игорь Борисович, академик РАН, д-р воен. наук, доцент, заместитель генерального директора по развитию АО «Маневр-21». Тел.: +7 (915) 400-47-47.

Шишлов Марк Юрьевич, магистрант кафедры «Вычислительная техника» Тульского государственного университета. E-mail: ivutin@tsu.tula.ru

Щеглов Дмитрий Константинович, канд. техн. наук, доцент, научный руководитель АО «Северо-Западный региональный центр Концер-на ВКО «Алмаз – Антей» – Обуховский завод». Тел.: +7 (921) 448-59-58

Юев Алексей Андреевич, аспирант кафедры «Систем управления и компьютерных технологий» БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова. E-mail: betterthanjms@gmail.com

Яновский Леонид Самойлович, чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, начальник отдела ФАУ «Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова». E-mail: lsyanskiy@ciam.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 пространственные 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

ISSN 2075-3608

**ИЗВЕСТИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
РАКЕТНЫХ И АРТИЛЛЕРИЙСКИХ НАУК**

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 « ____ » _____ **2025**

Предмет счета	Кол-во комплектов	Цена одного комплекта (руб.)	Сумма (руб.)
Подписка на журнал «Известия РАРАН» На 2025 год – 4 номера (январь–декабрь)		5909-09	
НДС 10%		590-91	
Итого с учетом НДС		6500	

Всего к оплате (в т.ч. НДС): шесть тысяч пятьсот рублей 00 копеек

***Счет на подписку будет выставлен после подачи заявки на эл. почту: commerce@npo-sm.ru**



Начальник ЦРТИ

Бухгалтер

/В.П. Кныш/

/В.Ю. Клименко-Мельник/

ВНИМАНИЕ!

В платежном поручении в графе «Назначение платежа» **обязательно укажите:**

- * наименование издания в период подписки
- * номер счета, на основании которого производится оплата
- * контактный телефон
- * подробный почтовый адрес, на который будет высылаться журнал

ОТДЕЛ АДРЕСНОЙ ПОДПИСКИ

Тел. : (812) 600-75-54

Факс: (812) 542-75-58

E-mail: aran@npo-sm.ru

Редакция вправе сокращать и литературно обрабатывать принятые к публикации тексты. Редакция может публиковать материалы, не разделяя точку зрения авторов. Ответственность за достоверность информации, точность фактов, цифр и цитат, а также за то, что в материалах нет данных, не подлежащих открытой публикации, несут авторы. В соответствии с Законом РФ «О средствах массовой информации» редакция имеет право не вступать в переписку с авторами. 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 редакцию журнала по адресу:
АО «НПО Спецматериалов», 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 – 2025. Вып. 2 (137).**

Компьютерная верстка — М.В. Медведева
Корректор — Е.А. Красикова, А.К. Райхчин

Подписано в печать 17.06.2025.
Дата выхода издания 26.06.2025.
Формат 60х84/8. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 16.9
Тираж 900 экз. Заказ №

Отпечатано «АСТЕР Петербург».
Издательство «Первый издательско-полиграфический холдинг»,
194044, Санкт-Петербург, ул. Менделеевская, д. 9.
Тел.: +7 (812) 603-25-25
www.print-aster.ru

Цена свободная.

ISSN 2075-3608

Подписной индекс 82836 в объединенном
каталоге “Пресса России”