

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ РАКЕТНЫХ И АРТИЛЛЕРИЙСКИХ НАУК

ISSN 2075-3608

ИЗВЕСТИЯ

РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ РАКЕТНЫХ И АРТИЛЛЕРИЙСКИХ НАУК

Выпуск 2 (132)
2024

Издается с 1948 года

ИЗДАНИЕ ФГБУ «РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ
РАКЕТНЫХ И АРТИЛЛЕРИЙСКИХ НАУК»

Москва

Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук.
Издание ФГБУ «Российская академия ракетных и артиллерийских наук». Москва — 2024. Вып. 2 (132).

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, 2024

© АО «НПО Спецматериалов», 2024

УДК: 06.053; 355.232.6; 346.24

DOI: 10.53816/20753608_2024_2_3

НАУЧНЫЙ ФОРПОСТ ПОБЕДЫ SCIENTIFIC OUTPOST OF VICTORY

По представлению академика РАН М.В. Сильникова

Н.М. Карапетян

Журнал «Защита и безопасность»

N.M. Karapetyan

В начале апреля 2024 года в одном из прославленных и старейших учебных заведений России — Михайловской военной артиллерийской академии прошло открытие и пленарное заседание XXVII Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы защиты и безопасности». В центре обсуждения оказались вопросы и проблемы, связанные с проведением специальной военной операции и противостоянием России и Запада. Выступающими в своих докладах было подчеркнуто, что конференция является научным форпостом, призванным отобрать для обеспечения Российских Вооруженных сил все самое лучшее, технологичное, современное, добиться его производства и поставки в войска и тем самым приблизить нашу общую победу.

Ключевые слова: специальная военная операция, оборона, государственные решения, противостояние, военные и экономические усилия, военная наука, ОПК, Вооруженные силы России.

At the beginning of April 2024, one of Russia's most renowned and oldest educational institutions, the Mikhailovsky Military Artillery Academy, hosted the opening and plenary session of the XXVII All-Russian Scientific and Practical Conference «Actual Problems of Protection and Security». The discussion centered on issues and problems related to the special military operation and the confrontation between Russia and the West. Speakers emphasized in their reports that the conference is a scientific outpost designed to select the best, most technologically advanced and modern equipment for the Russian Armed Forces, to achieve its production and delivery to the troops and thus bring our common victory closer.

Keywords: special military operation, defense, state decisions, confrontation, military and economic efforts, military science, military-industrial complex, Russian Armed Forces.

XXVII Всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные проблемы защиты и безопасности» вновь собрала в стенах прославленной Михайловской военной артиллерийской академии цвет военной науки, ОПК, представителей военного руководства страны. Сила этого форума, проводимого под эгидой Российской академии ракетных и артиллерийских наук, в неразрывной связи теории и практики, а о его авторитетности свидетельствует уже тот факт, что

его рекомендации становятся основой для принятия важных государственных решений в области обороны. И, скажем, многие предложения, озвученные в докладах на конференциях 2022–2023 годов, уже реализованы. А их авторы получили из рук Президента РАН Василия Михайловича Буренка памятные дипломы и почетные грамоты.

Вот и в этом году в центре обсуждения ожидаемо оказались вопросы и проблемы, связанные

с проведением специальной военной операции и противостоянием России и Запада. За два года СВО удалось преодолеть множество кризисных моментов, нарастить военные и экономические усилия для достижения Победы, а также более четко осознать роль и место спецоперации на Украине в процессе глобального реформирования мира, укрепиться в собственной суверенной позиции.

Первые три доклада на пленарном заседании как раз и представляли собой такой «взгляд сверху». Каждый со своего угла зрения, вместе они создали некую стереограмму простирающегося и в прошлое и в будущее ландшафта войны и мира. А видение диспозиции дает определенную устойчивость: на прошлогодней конференции, по словам В.А. Шаманова, «у нас было меньше оптимизма, меньше понимания того, что происходит, и было больше вопросов, чем ответов».

Почему конфликт на Украине получил название специальной военной операции — посчитал важным объяснить генерал-полковник Владимир Шаманов. Ведь именно это политическое решение определило вектор дальнейших событий. Современный гибридный военный конфликт, которым и является СВО, характерен тем, что он



Академик РАРАН В.М. Буренок

проводится в сложной, меняющейся обстановке, политическая подоплека которой подчас выворачивает ее смысл наизнанку. Вспомним оторопь украинского руководства и их зарубежных «друзей» после успешной высадки российского десанта в районе Гостомеля — тогда казалось, что капитуляция киевского режима уже близка. Но потом случились мирные переговоры в Турции, соглашения по которым Украина тут же нарушила по подсказке заокеанского «обкома». А затем обеспеченное НАТО наступление ВСУ, мобили-



Торжественное открытие XXVII ВНПК «Актуальные проблемы защиты и безопасности»

зация в России. После каждого из таких знаковых событий претерпевал изменения характер военных действий: в радиус поражения, помимо собственно воинских подразделений, все чаще стали попадать объекты инфраструктуры — энергетики, путей сообщения; возникли партизанское, подпольное движения; участились диверсии в тылу; усилилось давление на внешнеполитическом поле. Борьба идет и за сознание населения освобожденных территорий, да и всей Украины в целом, а также мирового сообщества. Все это маркеры гибридной войны. Более оперативно отвечать на ее вызовы удобнее в формате СВО.

На какие моменты, по мнению докладчика, следует обратить особое внимание? За счет нехватки сил и средств в непростом состоянии находится наше приграничье на Белгородском и Курском направлениях. Нет конца вооруженным провокациям, обстрелам: гибнут мирные люди, приходится эвакуировать детей. Пора переносить усилия в глубину территории Украины, создавая пояс безопасности вокруг наших приграничных территорий — считает военачальник. Второе — защита значимых военных сооружений (аэродромов, стоянок кораблей, доков, пунктов управления и т.д.), топливозапасов, коммуникаций, транспортной индустрии, энергетических и других особо важных объектов, которые напрямую влияют на обеспечение фронта. Причем, это относится не только к зоне, близкой к линии боевого соприкосновения, но и к территории в глубоком тылу, потому что и они подвергаются спланированным атакам — тому при-

мерами обрушение пролетов Крымского моста, налеты БПЛА на Северсталь, аэродромы в Энгельске, Пскове и другие стратегически важные объекты. Все это выдвигает на передний план востребованность средств противовоздушной и противоракетной обороны. Как известно, защита фронтовых группировок возлагается на подразделения противовоздушной обороны Сухопутных войск, морской пехоты и Воздушно-десантных войск. А объектовая ПВО и ПРО базируется на основе Воздушно-космических сил и прежде всего войск ПВО. И хотя вероятность поражения подлетающих боеприпасов и дронов достигает 80–90 %, но и малого их количества, прорвавшегося сквозь заслон, достаточно для нанесения серьезного ущерба. Сбивать же их ракетами — все равно что лупить из пушки по воробьям: несопоставимые величины и по калибру, и по стоимости. Первое время на помощь может прийти старый забытый дедовский образец вооружения — это спаренная пушка ЗУ-23-2, более поздняя ЗСУ-23-4 «Шилка», при налете радиоуправляемых боеприпасов — средства РЭБ, которыми надо насытить как линию боевого соприкосновения (ЛБС), так и важные территории в тылу.

Не менее насущная задача — защитить транспортные объекты от ударов новейших средств поражения: высокоточных боеприпасов, лазерного оружия, надводных, подводных и летательных аппаратов. Задача многофункциональная, она требует активности от всех видов и родов войск. Прежде всего, в плане насыщения их средствами разведки и обнаружения. Когда враг совершал атаки на корабли и прибрежные объекты



Президиум оргкомитета конференции



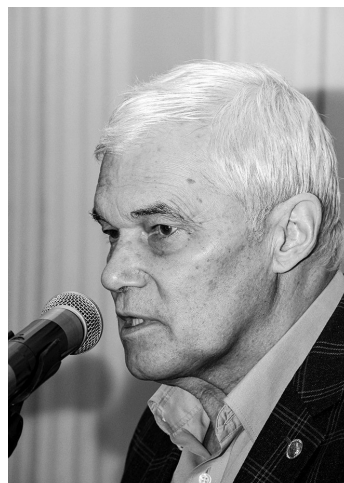
Член-корреспондент РАН В.В. Шаманов

Черноморского флота, в ряде случаев только благодаря бдительности бойцов наружного наблюдения удавалось отразить нападение, а это далеко не самый надежный способ. Корабли должны быть оснащены всей необходимой для выявления угроз аппаратурой, а пока этого не произошло, надо сократить практику перехода отдельных кораблей к месту назначения и дежурства на рейдах для нанесения внезапных ударов, которые можно произвести и из защищенного места.

Далее: учитывая, что Запад вооружил Украину дальнобойными ракетами, которые достигают Крымского моста, назрела необходимость восстановить старую железную дорогу, которая ведет с Таманского полуострова в Крым по суше напрямую через Харьков — тем более что успехи наших войск на Харьковском направлении тому способствуют.

Разрабатывать меры по отражению нападения и защите нашей техники следует с учетом не только действующих угроз, но и тех, что могут появиться в ближайшем будущем при дальнейшей эскалации конфликта. Скажем, украинские РК «Точка-У», имеющие дальность до 120 км, теоретически, при содействии их западных спонсоров, можно приспособить под тактическое ядерное оружие. Крупные разведывательно-ударные беспилотные аппараты (класса МИДИ — весом до 1 тонны и МАКСИ — более тонны) доказали свою способность поражать крупные наземные и надводные объекты (за 8 месяцев было выведено из строя 11 кораблей ЧФ).

Научным экспертным советам (не только по Военно-Морскому Флоту, но и по другим родам



Академик РАН К.В. Сивков

войск — артиллерии, авиации и др.) необходимо готовить подходы, формировать рабочие группы для оценки и выработки противодействия тем угрозам нашим войскам и мирному населению, которые действуют уже сейчас или могут возникнуть в перспективе.

«Тем более, что можно предположить с высокой степенью вероятности, что где-то в июне и июле в Генеральном штабе могут быть созданы предпосылки для перехода в решительное наступление наших войск с выходом на рубеж по реке Днепр, вплоть до Киева. По крайней мере, я как военный человек вижу, что эта задача вполне достижима. Пришло время», — подытожил сказанное генерал-полковник В.А. Шаманов.

С глубоким анализом причин, по которым невозможно примирение с Западом, а также раскладом вариантов дальнейшего противостояния выступил заместитель президента РАН К.В. Сивков.

Истоки того чувства исключительности и превосходства, которые питают амбиции элит западных стран, он видит в эпохе географических открытий, с которой началось ограбление народов и колониальный гнет, выродившийся в расизм. Причем, даже смена способа ограбления с колониальной на неоколониальную существа не изменила. И вот, спустя 400 лет господства западной цивилизации она лишается доступа к колониальному присутствию, а следовательно — источника своих богатств. Если в начале 20-го века Британия обладала таким колоссальным промышленным потенциалом, что могла противопоставить мощь своего флота флотам

двух любых государств, то сегодня даже обеспечить параллельные санкции их флот не в силах. Существование в полицентричном многополярном мире для Западной цивилизации — путь угасания и деградации, а сложившееся ныне противоречие по степени ожесточенности неизмеримо превосходит те, что вызвали предыдущие две мировые войны. В 2021 году на Давосском Форуме были озвучены две принципиальные позиции: курс на мондиальный мир, в котором станут господствовать не страны, а транснациональные корпорации, а 70–80 % населения будет уничтожено как ненужное, объявил Клаус Шваб, а наш президент Владимир Путин выступил в поддержку полицентричного мира. Причем, водораздел между сторонниками одной и другой модели проходит и внутри самих стран, что видно по президентской гонке в США.

Какими же средствами Западный мир намерен обеспечить свое господство? Стратегия управляемого хаоса, которую в начале нулевых после провокации-теракта в Нью-Йорке 11 сентября продолжили войнами в Афганистане и Ираке, себя не оправдала. Слишком быстро менялась обстановка на оккупированных территориях: вести годами боевые действия против партизан за контроль территорий, неся постоянные потери, американские военные были не готовы. Мягкая сила — через лояльных ставленников — тоже не дала результата: долго им было не продержаться. В итоге, не проиграв ни единого сражения, НАТО проиграло обе войны. Итак, грубая военная сила не принесла ожидаемых плодов. Экономические инструменты утратили эффективность, потому что на пятки США и Европе стали наступать экономики стран юго-восточной Азии, Китая, Индии. Идеологический образ града на холме потускнел, последовали

провалы в информационной войне. Фактически единственным способом сохранения доминирования для современного западного мира остался ядерный шантаж. Но ему препятствует своим ядерным потенциалом Россия, которая к тому же выступает инициатором строительства многополярного мира. Взятие России под контроль является ключевым условием выживания глобальных западных элит. Причем, они страшно ограничены в сроках неуклонным наращиванием ядерного потенциала Китаем. Вот истинная причина тотальной агрессии против нашей страны.

Но как заставить пасть находящуюся в осаде хорошо укрепленную и вооруженную крепость? Способ известен издавна: найти в ней лазутчика, которым у нас выступает пятая колонна. Именно ее Константин Сивков считает главной ударной силой в западных планах агрессии против России. Регулярные войска, экономические санкции, информационное противоборство все вместе решают единственную задачу — создать благоприятные условия для пятой колонны, призванной свергнуть действующую власть. Так, Русско-японская и Первая мировая войны стали триггерами для начала трех революций в Российской империи, смены политического режима и последующей интервенции, американцы учли этот опыт и попробовали его повторить.

До начала СВО на границах Донецкой и Луганской народных республик были сосредоточены практически все боеспособные тогда силы Украины — около 150 тыс человек. По замыслу западных вождей, скорее всего планировался мощный удар по Донецкой и Луганской народным республикам с полным разгромом их ополчения, убийствами местного населения и массовым его бегством в Россию, которую тут же обвинили бы во всех смертных грехах. Запад



Участники конференции

рассчитывал, что Россия не предпримет открытых действий в ответ и рейтинг действующего президента внутри страны рухнет, что приведет к его свержению. Но контрудар, ознаменовавший начало СВО, смешал все и заставил их откорректировать геостратегические планы, усилив давление по всем фронтам и методично поднимая ставки в деле вооружения ВСУ. Малообъяснимые, на первый взгляд, повороты в ходе СВО (согласие на мирные переговоры в разгар наступления, затем добровольное оставление занятых позиций) были продиктованы исключительно политическими мотивами — и в не в последнюю очередь опасением втягивания в вооруженную борьбу воинских контингентов других стран до того, как удастся перевести российскую промышленность на военные рельсы. К концу 2023 года стало ясно, что врагу нанесен тяжелейший урон, означающий не просто поражение Украины в СВО, но и полный крах так называемого гибридного блицкрига, предпринятого Западом против Российской Федерации. Поэтому сегодня мы ведем осторожное ограниченное наступление на отдельных направлениях. Но вместе с тем явно просматриваются признаки подготовки крупномасштабной стратегической наступательной операции: в настоящее время ВС РФ способны провести ее группой фронтов, по численности соответствующих фронтам Великой Отечественной войны.

По всем формальным признакам имеет место Третья мировая война. Пока идет ее гибридная фаза, начальный этап. Но уже сегодня мы наблюдаем переход к этапу демонстративного



Академик РАН А.А. Рахманов

участия, когда на территории Украины начнут появляться войска НАТО. Следующей ступенью будет их боевое применение. Поэтому специальная военная операция занимает ключевое место в системе мер гибридной обороны России по отражению атак Запада. И на данном этапе, считает докладчик, на геополитическом уровне Россия выступает достаточно успешно.

Но что будет, если из рукава все-таки достанут ядерную карту. Звучит фантазмагорично, но вот вице-президент РАН генерал-лейтенант А.А. Рахманов к такому варианту развития конфликта относится со всей серьезностью, ибо уверен: основа сегодняшнего хоть и шаткого мира вот уже 70 лет, начиная с 1949 года, зиждется на стратегическом ядерном сдерживании (СЯС). В последние годы, будучи председателем экспертного совета РАН по военной науке и технике, Александр Алексеевич с сожалением отмечает, что у нас практически отсутствуют



Участники конференции



Участники конференции

теоретические работы, связанные с развитием СЯС и критериями его достаточности. Хотя не только в советскую эпоху, но и во времена развала СССР оно было в приоритете: средств на его поддержание не жалели.

Если обратиться к истории соперничества и становления СЯС, то первые 35–40 лет, вплоть до 1980-х, мы догоняли американцев. На 1962 год, когда разразился Карибский кризис, у нас было всего 300 ядерных носителей, а у американцев — 6 тысяч. Тем не менее, несмотря на двадцатикратное превосходство, ядерная катастрофа не состоялась. А все потому, что даже ограниченным количеством ракет мы могли нанести США «неприемлемый ущерб». Этот термин придумал и наполнил содержанием тогдашний министр обороны Америки Роберт Макнамара: неприемлемой он считал потерю более 25 % населения и 75 % промышленного потенциала и даже наличие у противника нескольких ядерных ракет рассма-

тривал как достаточное основание для сдерживания. Накапливать ядерный арсенал, способный нанести намного превышающий эти показатели ущерб, он считал бессмысленным, поскольку затраты на вооружение значительно превышали бы эффект от дополнительного ущерба. Тогда возникает вопрос: что такое ядерный паритет? Это отнюдь не равное соотношение сторон, полагал Макнамара, всячески иницируя контроль за вооружениями и установление четких правил. Его кредо было однозначным: ядерное оружие не для войны, это оружие сдерживания и предотвращения войны. Тем не менее, несмотря на подписание договоров ОСВ-1 и ОСВ-2, накопление арсеналов продолжалось и достигло пика в 1985 году, когда Россия и США имели на вооружении по 11 тыс. ядерных боеголовок. Уже всем было понятно, что это очень избыточно: для нанесения неприемлемого ущерба, как посчитали специалисты, было достаточно всего 400 боевых мегатон-



Участники конференции

ных залпов. Начиная с 90-х годов уровни ядерных запасов постепенно снижали, и сегодня мы с США имеем по 800 носителей ядерного оружия и примерно по 1550 ядерных боезарядов на них. Таким образом, ядерная гонка привела к бесполезному расходованию средств с обеих сторон, что особенно чувствительно в кризисные или военные времена.

«И вот сегодня я задаю вопрос военным, промышленникам: что считать приоритетным в вопросе поддержания ядерного паритета? И нет, это не количество носителей ядерных доз, а неприемлемый ущерб», — уверен А. Рахманов. Здесь нужно брать в расчет множество факторов. Например, географию: у американцев территория в три раза меньше, плотность населения значительно выше, промышленный пояс более сконцентрирован, чем у нас. Тогда получается, что для паритета нам достаточно того количества носителей, которое уже есть. Но и его можно пересмотреть, исходя из дополнительных критериев достаточности до уровня непрерывного стратегического поражения. Так, наш президент заявил, что новейшими системами оснащены до 90 % российских сил ядерного сдерживания, в чем мы обошли американцев. Кроме того, мы смогли создать и развернуть новый класс ядерных носителей, которые невозможно поразить в полете ответным ударом и которых нет у НАТО. Это значительно более надежный резерв, чем имелся у нас еще несколько лет назад. Казалось бы, по концепции Макнамары, зафиксированной во многих международных документах, можно не опасаться за будущее мира.

И тем не менее, долгие годы американцы пытались превратить ядерное оружие в боевое. Начиналось все с попытки создания системы ПРО, которая технологически не удалась ни

у них, ни у нас. На переговорах 1972 года обе стороны договорились об отказе от дальнейших работ в этом направлении. Но уже в 1983-м американцы принялись за старое, начав развертывать систему СОИ — ту же ПРО, но уже многоэшелонированную, основанную на новых физических принципах, новом оружии. Их давняя мечта — на технологическом превосходстве создать непроницаемую защиту, позволяющую отразить первый упреждающий удар и защитить свою территорию и население. Но и в этот раз наши противники вынуждены были признать, что в ближайшие 50 лет создать непроницаемую систему ПРО невозможно — все равно значительная часть ракет преодолевает барьер и наносит неприемлемый ущерб.

Однако стремление прощупать почву для новых ядерных игр доверия не рождало и создавало огромные риски. Еще в 60-е годы, чтобы вовремя реагировать на градус опасности, ученые разработали лестницу эскалации конфликта: в США она насчитывала 44 ступени, в СССР — 17. Но логика развития событий везде была одинаковая: сначала идут информационные шаги по подготовке к войне (политические речи, публикации в СМИ). Затем наступает этап гибридной войны, которая постепенно переходит в локальную. Ядерный конфликт начинает активизироваться только с 12 ступени. Если сравнить с этой схемой все предшествующие события по Украине, то поневоле возникает мысль, что американцы проверяют предел терпения России на этой лестнице. На каждом витке западные партнеры предоставляют Украине все более мощное и смертоносное оружие, танки, теперь и самолеты, обеспечивают ее потребности в позиционировании, разведке, управлении. Такое ощущение, что они провоцируют Россию на применение тактического ядерного оружия. Хотя, не-



Участники конференции

смотря ни на что, мало верится в то, что конфликт перерастет в ядерный. Ведь согласно большому исследованию, проведенному в середине 80-х годов европейцами и американцами, использование всего полутора тысяч ядерных зарядов приведет к потере 5–7 млн населения в Западной Европе, не говоря о пострадавших от облучения, а сегодня каждая сторона имеет примерно по пять с половиной тысяч ядерных зарядов, с учетом находящихся на хранении. Такая война на территории Западной Европы никому не нужна. Но тогда куда они клонят?

Американцы пытаются с помощью технологического превосходства всеми средствами выиграть войну. Настораживает то, как они сегодня демонстрируют способность поражать объекты высокоточными снарядами — мы это наблюдали в Сирии, во время СВО. Ликвидация высокопоставленных генералов, военной техники, оборонных производств осуществляется ударами очень высокой точности. Поэтому сейчас остро стоят вопросы их защиты, выживаемости. А чтобы найти наиболее эффективные, дающие быстрые результаты подходы, необходимо эти темы обсуждать среди военных, ученых, корректировать планы. Почти 3 года нам понадобилось, чтобы нарастить группу обычных вооружений, запустить их производство. Наши главные документы по планированию вооруженных сил — план стратегического развития ВС, государственная программа вооружения — требуют обсуждения, уточнения многих заданий. Например: высокоточное американское оружие через системы позиционирования, управления, связи завязано на космосе. Если там лишить американцев превосходства в этих системах, то вся угроза от высокоточного оружия будет сильно преувеличена. Поэтому одним из выходов сегодня видится в укреплении нашей космической группировки и демонстрации ее возможностей по противодействию и подавлению натовских систем.

Но вернемся к лестнице эскалации конфликта — не мы форсируем восхождение по ней, не мы поднимаем ставки. Ответственность лежит на истинных разжигателях. Об этом надо говорить во всеуслышание, потому что в гибридной войне правдивая информация — это тоже оружие. Надо снова и снова повторять, что стратегическое сдерживание — самый главный вопрос современности. Все эти вопросы должны стать



Генерал-майор С.Н. Смолинский

темами будущих докторских, кандидатских диссертаций, на основе которых будут приниматься решения на государственном уровне.

Пока мир в мире колеблется на весах ядерного сдерживания, на земле идут военные действия. Успех в них в немалой степени зависит от качества обычного вооружения и обеспеченности им войск, что затруднительно без налаженной системы ремонта. Как сообщил председатель научно-технического комитета (развития вооружений) МО РФ генерал-майор С.Н. Смолинский, в 2023 году в ремонтно-восстановительных частях и подразделениях было восстановлено 66 % вышедшей из строя, в том числе поврежденной на полях сражений техники по всей номенклатуре. Эффективно организована работа выездных ремонтных бригад предприятий оборонно-промышленного комплекса, что позволило восстановить еще 22 % техники, требующей сложного специализированного ремонта. Привлечение к ремонту граждан, призванных из запаса, позволило повысить долю восстановленной техники еще на 5 %. Ремонт оставшихся 7 % организован на предприятиях промышленности. В полтора раза возросли производственные возможности войсковых ремонтных органов.

Нескончаем поток на фронт боевой техники: выпуск танков увеличен в 5,6 раз, боевых машин пехоты и бронетранспортеров — в 3,5 раза, беспилотных летательных аппаратов в — 16,8 раз, артиллерийских боеприпасов в 17,5 раз. В 2023 году в ВС РФ поступило 237 самолетов и вертолетов, 67 радиолокационных станций, 86 единиц

минно-ракетного вооружения, 1530 новых и модернизированных танков, 2015 бмп и бтр, 4 современных многоцелевых подводных лодки и 8 надводных кораблей.

Однако одновременно Североатлантический Альянс усиленно накачивает нацистский киевский режим все более мощным вооружением и военной техникой, оказывая беспрецедентное давление на своих сателлитов, которые не желают обнулять собственные арсеналы в угоду Украине. Так, сегодня поддержку ВСУ оказывают 54 страны, которые уже потратили на это более 200 миллиардов долларов. Поставлено свыше полутора тысяч систем ракетно-артиллерийского вооружения, 200 единиц зенитно-ракетных комплексов, 5000 единиц бронетанковой техники, 23 тыс. беспилотных летательных аппаратов. Киеву передается современное высокоточное оружие, системы связи и АСУ.

Чтобы парировать их воздействие, необходимо знать, с чем имеешь дело. В процессе научных исследований и экспериментов с трофейным иностранным вооружением, военной специальной техникой (ВВСТ) и военно-техническим имуществом (ВТИ) выявляются заложенные в них конструктивные, эксплуатационные, технологические решения, а также уточняются тактико-технические и иные характеристики. Ориентиром в этом начинании стала система изучения трофейной техники, налаженная в СССР в 1941–1943 годах. Для нее были специально созданы войсковые структуры, которые под управлением оперативных отделов фронтов занима-

лись разведкой, эвакуацией и сбором трофеев. Так, после Сталинградской битвы разведывательному отделу фронта были приданы 7 армейских отдельных рот, 5 армейских батальонов, фронтовая отдельная бригада, эвакурота, 7 армейских ракетных складов, 3 отдельных рабочих батальона, эвакуоподъемные и эвакуоводолазные отряды. Исследование трофейной техники проводилось как в наркоматах СССР, так и на предприятиях промышленности, с привлечением Академии наук и высшей школы. А уже после войны для изучения немецкого ракетостроения создавались не только специальные группы, но и целые лаборатории и институты. И в этом нет ничего удивительного — обычная практика для технологически развитых стран. Применяемые за рубежом конструкторско-технологические решения активно изучают в КНР, США, ведущих странах Евросоюза, а также в Японии, Северной и Южной Корее, Тайване. Активно пытаются развивать это направление и Украина. Выгоды от подобных исследований очевидны.

На основе изучения технических характеристик иностранных образцов ВВСТ и ВТИ, их конструктивных особенностей и способов боевого применения разрабатываются подходы и тактические приемы по противодействию и снижению их эффективности, которые затем доводятся до подразделений войск через методические рекомендации и инструкции. Так, удалось быстро распространить опыт по организации навесной защиты, укрытий, маскировки от атакующих верхнюю полусферу бронетехники противотанковых ракетных комплексов, разного вида дронов (противодронные козырьки, средства РЭБ и т.д.). Далее, использование в расчетных методах реальных тактико-технических характеристик иностранных ВВСТ дает ощутимые результаты при создании, модернизации, доработке и испытаниях отечественных образцов. А применяемые иностранными ВПК конструкторско-технологические решения уже поспособствовали развитию отечественной беспилотной авиации, средств фортификации, эвакуации и многого другого. При проведении прикладных поисковых исследований изучение трофейной техники, не имеющей аналогов в России, может помочь создать образцы ВВСТ, по техническому уровню не уступающие иностранным. Уже сейчас получен уникальный опыт в создании беспилотных средств, средств



Участники конференции на выставке спецсредств

поражения, особенно — в части робототехники и технологий на базе искусственного интеллекта. По итогам изучения иностранного ВВСТ разрабатываются нормативно-правовые документы по особенностям производства, эксплуатации, применения, ремонта вооружения с учетом передового отечественного и зарубежного опыта. Самым пристальным образом отслеживаются все эффективные решения, внедряемые в этой области за рубежом: уточняются стандарты и требования к отечественному ВВСТ, заимствуются отдельные элементы, перенимаются организационно-стандартизированные подходы, сокращается цикл создания и производства вооружения. Нарботанные знания и технологии используются в образовательных программах высшего и среднего технического образования. Специалисты-ремонтники обучаются использованию иностранных комплектов для ремонта и совершенствования отечественной техники, налаживается система внедрения их опыта в промышленность, сокращается дистанция между войсками и учебными заведениями. Развиваются принципиально новые средства вооружения: БПЛА-камикадзе, многозарядные дроны с функцией сброса боевого заряда. Модернизируются, дорабатываются традиционные образцы вооружения, средства защиты бронетанковой техники, высокоточное оружие, средства связи. Создается принципиально новые образцы, совершенствуется тактика и оперативное искусство. Вместе с тем, эффективность от проделанной работы снижает ряд факторов. Это отсутствие единой межведомственной системы управления исследованием иностранного ВВСТ и ВТИ, недостаточная кооперация между предприятиями ОПК и высшей школой, конкурентная борьба между участниками процесса изучения иностранного ВВСТ и ВТИ за результаты их деятельности, недостатки нормативно-правового регулирования в области организации исследований.

Для их преодоления, во-первых, требуется создание единого уполномоченного органа для управления процессами исследования. Привлечение к его работе корпораций и холдингов по принципу единого окна позволит сократить число участников процесса межведомственного обмена информацией, а также создать иерархическую модель управления. Во-вторых, необходимо определить конкретные полномочия, ответственность, порядок, формы и спо-



О.В. Третьяков

собы проведения исследований, а также подходы по реализации их результатов. Проще всего это сделать, распространив опыт Минобороны России и разработанные им нормативно-правовые акты на иные федеральные органы и организации ОПК. В третьих, следует создать единую информационную среду по обмену результатами исследований иностранного ВВСТ и ВТИ, что позволит как повысить управляемость процессами обмена результатами, так и сократить сроки их реализации. Четвертое условие — подобрать способы стимуляции предприятий ОПК, сочетая рыночные и командно-плановые механизмы, чем обеспечивается гибкость системы исследований в различных условиях военно-политической обстановки. И, наконец, в-пятых, завершить разработку нормативно-правовой методической базы проведения исследований иностранного ВВСТ и ВТИ, которая прояснит порядок конкурентных процедур для определения единственного исполнителя, а также вопросы интеллектуальной собственности.

Военные действия — проверка для любого военного организма, причем зачастую — самая неожиданная, непредвиденная. Много сюрпризов для наших Вооруженных сил преподнесла и специальная военная операция. О том, с чем пришлось столкнуться на ней Военно-Морскому Флоту и как этот опыт претворить в конкретные шаги для развития оружия ВМФ, рассказал начальник НИИ кораблестроения и вооружения ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия» О.В. Третьяков. Преследуя цель максимально

ослабить Черноморский флот, боевую авиацию, ПВО, другие высокотехнологичные подразделения ВС РФ, страны НАТО поставили на службу ВСУ космические и морские средства разведки, обеспечили их высокоточным оружием. Благодаря этой помощи Украина, фактически уже лишившаяся своего флота, получила возможность наносить урон российским кораблям, действуя преимущественно двумя путями: одновременно проводя массовые атаки морскими и воздушными безэкипажными/беспилотными аппаратами и используя минное оружие. Первая тактика, раньше или позже приводящая к истощению ПВО, неоднократно увенчивалась успехом, выводя из строя корабли и прибрежную инфраструктуру. Также, заблаговременно проводя разведку спутниковыми системами навигации, связи, позиционирования, такими как Старлинк, Иридиум, американцы сразу обнаруживали выдвижение кораблей из портов и мест стоянок и передавали украинцам их точное местоположение. А используя дальнобойные реактивные системы и ракеты (Нептун, Storm-Shadow, а с этого года и Taurus), противник получал возможность наносить удары по Флоту до того, как тот входил в зону ответного поражения. Для более успешного противодействия обстрелам разработчикам и

производителям наших ракет необходимо повысить точность наведения, помехоустойчивость и добиться более высокой плотности залпов.

Безэкипажные катера (БЭК), которые как поставляются Украине из-за рубежа, так и производятся внутри страны, из-за их относительно низкой стоимости и возможности крупного тиражирования, стали все чаще применяться стаями — так же как и БПЛА. Зенитные средства и крупнокалиберные пулеметы, стоящие на вооружении наших кораблей, показывают недостаточную эффективность при поражении малоразмерных целей. Ситуацию мог бы исправить комплекс мер. Во-первых, для своевременного их выявления необходимо объединить информацию со всех работающих РЛС в едином информационном пространстве. Во-вторых — срочно создать боеприпасы с повышенной осколочностью и поставить их на вооружение Флота. Зенитные средства также действовали бы более слаженно и эффективно, находясь в едином информационном поле.

Угрозы нашему Флоту поступают не только с воздуха, поверхности земли и моря, но и из его глубин. В целях разведки НАТО давно уже применяет автономные необитаемые аппараты (ANFA), а на Украине производят подводные аппараты-камикадзе «Маричка». У нас тоже имеются



Выставка спецсредств для участников конференции

подобные робототехнические комплексы, но для безопасности наших кораблей от мин и ANFA их возможности необходимо расширить, а также совершенствовать противоминное оружие. Реализация указанных направлений, которую можно совместить с заводским ремонтом, снизит остроту ситуации. В общих чертах она сводится к двум комплексам мероприятий: совершенствование оружие и создание сложной информационной системы с открытой инфраструктурой.

Интересно, что к похожим выводам пришли и производители. В докладе, подготовленном сотрудниками ЦКБ «Алмаз», речь шла о десантных кораблях на воздушной подушке, которые также участвуют в СВО. Там прозвучала мысль, что без получения свежей информации от Минобороны о современных средствах ВВСТ и тактике противника и без кооперации с предприятиями-разработчиками техники сложно сдвинуть воз с места. Так, десантные корабли изначально оснащались средствами освещения верхней полусферы, но этого оказалось недостаточно — следовательно, надо обоснованно решить вопрос, какие еще требуются средства обнаружения. В любом случае корабли должны действовать в единой информационной системе с авиацией и Сухопутными войсками. Также и при утверждении системы вооружения десантных кораблей не приняли во внимание возможность совершения на них атаки «волчьей стаи» из десятка БЭЖов. Какое вооружение при этом будет достаточным, тоже необходимо решить и поставить его в кратчайшие сроки. Тогда можно будет быстро перейти на выпуск тех проектов, которые обеспечат господство ВМФ РФ на морском театре военных действий.

Ну, а когда задача поставлена и конкретизирована, отечественные разработчики быстро и с энтузиазмом ее решают. Больше того, за многие темы берутся в инициативном порядке, ориентируясь на мнение военных — участников СВО. Приведем два примера.

О сетевом центре и необходимости создания открытой системы наблюдения, оповещения, корректировки стрельбы сегодня не говорит только ленивый. Но как ею охватить сотни километров фронта? Совместный проект «НПО Спецматериалов» и Михайловской артиллерийской академии дает один из возможных вариантов ответа, созданный на основе роботизированных



*Заместитель начальника Михайловской
военной артиллерийской академии С.В. Буг*

систем. Это комплекс разведки и корректировки огня, состоящий из двух дополняющих друг друга систем: наземного базирования «Силкар» и воздушного — с БПЛА «Бекас». С одного наземного пункта оператор «Силкара» контролирует 2 км территории и при возникновении там какого-то триггера может точно определить его местонахождение и передать координаты на командный пункт. Запущенный в заданном направлении «Бекас» способен окончательно прояснить обстановку, корректировать артиллерийскую стрельбу и даже самостоятельно атаковать объект, сбросив гранату. Важно, что операторов обоих комплексов противнику обнаружить невозможно, так же как и принудительно посадить БПЛА — он может летать в режиме, при котором РЭБ бессильна.

О второй интересной разработке сделал сообщение заместитель начальника Михайловской военной артиллерийской академии С.В. Буг. Она касается оборудования ложных целей, которые, как известно, вводят противника в заблуждение и сберегают реальную технику. Новизна же состоит в том, что вместо надувных макетов, которые дороги и не очень удобны в эксплуатации, Академия в инициативном порядке провела разработку плоскостных фотомакетов орудий. В исполнении они в разы дешевле, легко устанавливаются самими военнослужащими и при разведке с воздуха убедительно воспроизводят очертания настоящей техники и орудий. Было проведено 4 этапа испытаний, когда рядом с тан-

ками Т-90 и 152-мм гаубицами были установлены их плоские напечатанные макеты, а операторам БПЛА было предложено определить, где настоящий, а где ложный — почти в 75 % случаев они не угадали. Для пушек достоверности, если позиции будут обозреваться ночью камерой в инфракрасном диапазоне, для имитации термограммы и выброса выхлопных газов к макету приставляют дискретно работающий тепло-дымовой имитатор. Самое удивительное, что плоско-ярусные макеты можно соорудить и из подручных средств, просто сверяясь по бумажной схеме. Как говорится, смекалки нам не занимать — зато сколько сохраненной техники и жизней приставленных к ней военных! Защите стационарных и мобильных объектов также было уделено пристальное внимание.

Выступающие из академии МТО им. А.В. Хрулева, БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова рассказали о совершенствовании военного образования, научных работах по обобщению опыта

СВО и внедрении его в учебный процесс, подготовке выпускников к работе на предприятиях ОПК.

Традиционно после пленарного заседания состоялись научные симпозиумы, на которых специалисты смогли более углубленно обсудить отдельные темы, такие как перспективы прорывных научных исследований, направления развития ВВСТ, проблемы безопасности инфокоммуникационных систем специального назначения, будущее Флота и его вооружения, направления совершенствования ракетных, артиллерийских систем, бронетанковой техники, противодействие терроризму и многое другое. Конференция — это научный форпост, призванный отобрать для обеспечения наших Вооруженных сил все самое лучшее, технологичное, современное, добиться его производства и поставки в войска и тем самым приблизить нашу общую Победу.

© журнал «Защита и безопасность»

УДК: 793.620.179

DOI: 10.53816/20753608_2024_2_17

ПРОБЛЕМНЫЕ АСПЕКТЫ И НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ВОЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

PROBLEMATIC ASPECTS AND AREAS OF IMPROVEMENT OF MILITARY-ECONOMIC ANALYSIS

Академик РАРАН В.В. Селиванов, Ю.Д. Ильин

МГТУ им. Н.Э. Баумана

V.V. Selivanov, Yu.D. Ilyin

Рассмотрены научно-методические вопросы военно-экономического анализа в процессе строительства Вооруженных Сил Российской Федерации, их технического оснащения. С позиций теории полезности показаны направления доработки и использования методического аппарата оценки выбора и принятия решений в процессе развития вооружения.

Ключевые слова: военно-экономический анализ, военно-техническое превосходство, теория полезности.

The paper considers scientific and methodological issues of military-economic analysis in the process of Armed Forces Russian Federation development, their technical equipment. The paper shows the ways to modify and use the methodology of decision assessment and decision-making process in the development of weapons from the point of the theory of utility.

Keywords: military-economic analysis, military-technical superiority, theory of utility.

Проблемные аспекты военно-экономического анализа

1. За более чем полувековой период военно-экономический анализ (ВЭА) стал одним из важнейших способов оценки и принятия решений по обеспечению обороноспособности страны [1–7]. Вместе с тем в условиях сокращения различных видов ресурсов ВЭА пока не стал полноценной методической и практической базой:

- комплексного решения военно-экономических задач в интересах Вооруженных Сил Российской Федерации, воинских формирований и органов (далее ВС РФ);

- системного обоснования и реализации военно-технических и военно-экономических

мероприятий военно-технической политики государства;

- обоснования военно-экономических подходов при реализации мероприятий военно-технического сотрудничества с иностранными государствами.

Предметом особого внимания со стороны ВЭА в настоящее время являются такие нерешенные вопросы, как:

- обеспечение требуемых боевых возможностей (БВ), боевой и военно-экономической эффективности (ВЭЭ) воинских формирований (ВФ); как правило, ВЭА используется лишь для обеспечения боевой готовности ВФ, а подготовка оценок ВЭА в ходе боевых действий (б/д) в реальном масштабе времени фактически не предусматривается;

– подготовка предложений по военно-техническому асимметричному ответу в рамках Государственной программы вооружения (ГПВ), ее разделов — программ вооружения и их реализации в рамках гособоронзаказа;

– качественное проведение тактико-технико-экономического анализа вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) и комплексной оценки ВЭЭ функционирования ВФ и предприятий оборонно-промышленного комплекса (ОПК).

В энциклопедии Минобороны [8] отмечается, что под ВЭА понимается «исследование эффективности деятельности в сфере обеспечения военной безопасности государства, предполагающее использование экономико-математических методов и моделей (ЭММ) для решения задач выработки плановых и управленческих решений, определение затрат на ВВСТ и использование этих оценок в военном строительстве и практической деятельности организаций ВС РФ и оборонных отраслей промышленности...». Это во многом ущербная постановка предназначения ВЭА. В результате военная и финансово-хозяйственная деятельность ВФ и научно-производственное функционирование предприятий ОПК во многих источниках рассматриваются с позиций экономического анализа (ЭА), а не ВЭА. Так, оценка боевой эффективности образцов и систем вооружения обычно проводится отдельно от затрат, хотя в постановочном плане используется критерий «время — затраты — эффективность»; не делается упор на расчеты ВЭЭ и их системный анализ совместно с боевой эффективностью. Сам анализ стоимости оружия и боеприпасов (БП) на практике, как правило, сводится к оценкам стоимости отдельных этапов жизненного цикла (ЖЦ), а не к текущим суммарным и предстоящим полным затратам на весь ЖЦ. Показатель «время» в моделях боевых действий, и тем более в моделях ЭММ, в лучшем случае используется в качестве одного из ограничений. Сами эти модели совместно не рассматриваются, не делается акцент на создании военно-экономических моделей б/д.

2. До сих пор отсутствует нормативно установленная терминология ВЭА (боевой, экономической, военно-экономической, военно-технической, научно-технической и других видов эффек-

тивности, результативности, полезности, боевых возможностей ВВСТ и ВФ и т.д.). Это, а также существующие классификации ВЭА не позволяют детально сформулировать и системно решать задачи ВЭА, представленные в Военной доктрине РФ по военно-экономическому обеспечению обороны.

3. В советский период имело место недостаточное внимание к финансово-экономическим вопросам при решении задач оборонного строительства страны и соответственно Вооруженных сил. Следовательно, как и в Великую Отечественную войну, господствовал принцип «мы за цену не постоим». Последствия такого подхода — недооценка финансово-экономических вопросов в военном строительстве, в том числе под эгидой соревнования «звездных» войн, и сбалансированного развития гражданской и военной экономики явилась одной из причин распада Советского Союза.

В постсоветский период сложилась обратная картина: в современной России на многих уровнях управления денежные отношения определяют стратегию научно-технического и технологического развития РФ и ее обороноспособности. При этом, например, при формировании бюджета РФ ВЭА и ЭА комплексно не используются. Это негативно сказывается на многих направлениях развития экономики и обороны. Так, только в ходе специальной военной операции (СВО) возникла необходимость срочного принятия мер по «расшивке узких мест» в мобилизации экономики, и то лишь в определенной мере. Причина — экономика является сырьевой, доля высокотехнологичного сектора после распада СССР стала не столь значимой. В результате отечественный ОПК в СВО на начальных этапах оказался не в состоянии быстро обеспечить в полном объеме резко возросшие потребности ВС РФ в обычном и высокоточном оружии и БП.

4. В последнее десятилетие советского периода был сделан упор не на повышение качества военной и гражданской продукции, а на компенсацию недостаточного качества их количеством. Это проявилось и в идеологии технического перевооружения Вооруженных сил. Если тогда появлялись перспективные образцы ВВСТ, то в войска они поставлялись в единичных экземплярах. Во многом это было связано с ростом технологического отставания страны от ведущих

государств. Но такое ВВСТ на поле боя «погоды не делает» — при использовании ВЭА нужно достигать баланса качества и количества. К тому же в 90-е и нулевые годы становления РФ ВЭА оставался не востребованным или второстепенным.

Данная ситуация с обеспечением качества продолжает оставаться проблемой для системы разработки и производства ВВСТ современной России. Так, Военные представительства Минобороны России, обладая достоверной финансово-экономической, производственно-технологической, военно-технической, эксплуатационной (в т.ч. о боевом применении всех образцов ВВСТ) информацией, сами не проводят ВЭА. ВЭА проводят НИИ Минобороны, но им в полном объеме необходимая информация не представляется.

5. В военном деле невозможно на локальной основе использования ЭММ полноценно применить методологию ВЭА. Изолированное рассмотрение экономической части мероприятия (проекта) от его военной составляющей не

может давать объективных результатов ВЭА. С начала 70-х годов XX века пришло понимание необходимости массового обучения командиров и начальников среднего и высшего звена военно-экономическому анализу. Однако приоритет отдавался минимизации затрат при выполнении тех или иных мероприятий (проектов), что, по сути, дискредитировало ВЭА. По-крупному не ставился даже вопрос о создании и использовании в реальном масштабе времени военно-экономических моделей ведения боя (операции). Принятие решений осуществлялось и продолжает осуществляться на интуитивном уровне — в основном на эрудиции и оригинальности мышления соответствующих командиров и начальников.

Изложенные положения указывают на необходимость расширения функций ВЭА и доработки его методического обеспечения. При этом ВЭА должен рассматриваться во взаимосвязи с другими видами анализа по выбранным направлениям исследований и проводимым мероприятиям (рис. 1).



Рис. 1. Взаимосвязи ВЭА с другими видами анализа в интересах технического оснащения ВС РФ

Направления совершенствования военно-экономического анализа

Первое. Предлагается отказаться от локального рассмотрения экономических условий и факторов и опосредованного использования финансово-экономических результатов в военном деле. Например, существует негласный закон б/д: цель или последствия от ее поражения (наносимый или предотвращенный ущерб) всегда должны быть дороже БП. По смыслу здесь должна быть трактовка «полезности». Но и в такой постановке закон далеко не всегда работает. Так, в ходе СВО из-за недостаточной номенклатуры БП нередко производится «стрельба из пушек по воробьям». Затраты всегда считать надо, но в составе ВЭА и полезности, и они не должны тормозить прирост боевой эффективности на единицу затрат.

Прирост боевых возможностей $\Pi_{\text{БВ}}$ ВФ или образца оружия (БП) благодаря реализации мероприятий ВЭА можно представить в виде функции

$$\Pi_{\text{БВ}} = f(W_{\text{взо}}; W_{\text{исх}}),$$

где $W_{\text{взо}}$ — боевые возможности ВФ (образца ВВСТ) после реализации мероприятий ВЭА;

$W_{\text{исх}}$ — боевые возможности ВФ (образца ВВСТ) без мероприятий ВЭА.

Предстоящие полные затраты с учетом результатов ВЭА и рекомендаций по уменьшению (увеличению) затрат в стоимостном выражении $C_{\text{ппз}}^{\circ}$ можно рассчитать как сумму затрат этапов жизненного цикла (ЖЦ):

$$C_{\text{ппз}}^{\circ} = \sum_{n=1}^N C_n^{\circ},$$

где C_n° — затраты (стоимость) n -го этапа жизненного цикла с учетом внедрения мероприятий ВЭА; N — общее число этапов ЖЦ.

Предстоящие полные затраты без проведения ВЭА затраченных ресурсов в стоимостном выражении имеют вид

$$C_{\text{ппз}} = \sum_{n=1}^N C_n,$$

где C_n — стоимость n -го этапа жизненного цикла без внедрения мероприятий ВЭА.

Прирост боевых возможностей на единицу затрат $\Delta_{\text{с}}^{\text{БВ}}$ с учетом проведения и внедрения мероприятий ВЭА по росту БВ равен

$$\Delta_{\text{с}}^{\text{БВ}} = \frac{(W_{\text{взо}} - W_{\text{исх}})}{|C_{\text{ппз}} - C_{\text{ппз}}^{\circ}|}.$$

Использование данной зависимости позволяет сравнивать варианты решений (от мероприятий ВЭА) по критерию прироста БВ на единицу затрат предлагаемого изделия или оцениваемого воинского формирования. Взятая по модулю разность $|C_{\text{ппз}} - C_{\text{ппз}}^{\circ}|$ показывает, что прирост $\Delta_{\text{с}}^{\text{БВ}}$ возможен как при $C_{\text{ппз}}^{\circ} < C_{\text{ппз}}$, так и при $C_{\text{ппз}}^{\circ} > C_{\text{ппз}}$. Иными словами, не следует стремиться лишь к сокращению затрат, нужен прирост боевых возможностей на единицу затрат при выполнении временных и иных ограничений.

Второе. В процессе перевооружения на новое ВВСТ следует в полной мере руководствоваться постулатом генерал-майора бронетанковых войск Н.И. Груздева [9]. В 1944 году он сформулировал важнейший принцип ВЭА: «Смысл перевооружения на новые образцы состоит в том, чтобы сделать технику врага на поле боя неполноценной, т.е. заставить противника отказаться от применения штатной техники. Он должен произвести перевооружение, где перевооружение будет связано с временными и стоимостными затратами, в результате на какой-то период ему придется резко сократить выпуск продукции для фронта. Если в ходе перевооружения создается техника, равная по боевым возможностям технике врага, то такое перевооружение следует считать неполноценным». В то же время с позиций ВЭА любая значимая разработка системы (образца) вооружения, принятие ее на вооружение и последующее переоснащение ВФ ВВСТ должна давать, по нашему мнению, ответы на следующие вопросы.

1-й вопрос. Достигается ли переоснащением на новые образцы ВВСТ еще больший отрыв в ВФ рассматриваемых уровней по сравнению с аналогами противника? Сохранится ли наше превосходство в ТТХ образцов и боевых возможностях ВФ от переоснащения на новые системы оружия противника в программном периоде?

2-й вопрос. Обеспечивает ли рассматриваемый проект ликвидацию нашего отставания в данном виде (типе) вооружения? Насколько это отставание будет компенсировано с учетом проведения противником в плановом периоде модернизации (замены) штатных систем на новые системы оружия?

3-й вопрос. Стоит ли удерживать равенство по БВ сравниваемых отечественных и иностранных образцов в данном типе вооружения на основе проводимых разработок? Если «да», то какие для этого потребуются ресурсы? Когда и в каком объеме?

4-й вопрос. Будем ли мы понимать, какие военно-технические прорывы и когда планирует получить вероятный противник по тем направлениям, где у нас исследования и разработки ослаблены или вообще не ведутся? Какие последствия могут быть по тем направлениям, где мы «спим» или уже «проспали»?

Эти положения являются ключевыми для ВЭА.

Третье. С позиций теории полезности (не потребительской, а государственной) ВЭА должен исследовать не только результативность и эффективность в строительстве ВС РФ, но и их использование по прямому назначению. Полезность здесь рассматривается с учетом комплексирования оценок различных видов эффективности, а также временных и иных ресурсов, в том числе финансовых затрат, а также степени достижения поставленных задач на разных уровнях принятия решений. При этом должна проводиться оценка последствий этих мероприятий для обороны РФ, при подготовке и ведении военных конфликтов различной интенсивности. Очевидно, что только на основе системного анализа боевой эффективности и ВЭЭ системы (объекта) можно на вышестоящих уровнях оценить полезность управленческих решений в военном деле.

Изложенное означает следующее:

- результаты ВЭА, его оценки ВЭЭ должны рассматриваться в связи с тем, в каких целях и в интересах какого уровня они рассчитывались и где и как их надо использовать;

- ВЭА всегда должен иметь временные ограничения его проведения и рамки использования, то есть он должен быть инструментом подготовки своевременных предложений для более объективного принятия решений, а не констатации проведенных мероприятий (хотя при «разборе полетов» он все же может оказать весьма кстати);

- при ведении б/д ВЭА является лишь вспомогательным средством, обеспечивающим более объективную подготовку и принятие решений командованием разных уровней на поле боя.

Четвертое. Первоочередными для ВЭА являются следующие задачи.

1. Для повышения эффективности государственного бюджетного планирования и оценки эффективности расходов на оборону, и обеспечения военно-экономической безопасности РФ необходимо прорабатывать с позиций качественной отработки и использования нормативной правовой базы вопросы стратегического планирования обеспечения обороны [10], доработать соответствующие методики ближайшего и долгосрочного планирования развития ВВСТ. Они должны быть построены не только на учете угроз национальной безопасности, задач строительства ВС РФ, но и на совместном использовании ВЭА, экономического и других видов анализа. Целевая установка — полезность ожидаемых результатов для войск (сил).

2. Имеющиеся методики финансово-хозяйственной деятельности воинских формирований (их создания, реформирования, перебазирования и др.) также целесообразно доработать с учетом вопросов совершенствования БВ, повышения боевой и военно-экономической эффективности ВФ.

3. Ускорить разработку и внедрение в войска математических моделей боевого использования ВФ и их военно-экономического функционирования, особенно в рамках сетевого планирования и ведения б/д в масштабе времени, хотя бы близком к реальному.

4. Реализация принципа «качество и эффективность закладывается в процессе разработки, обеспечивается при серийном производстве и реализуется при грамотной эксплуатации» должна стать определяющей в оценке предлагаемых методик для разработки ВВСТ, серийного их производства. При разработке ВВСТ первоочередной задачей также является тактико-технико-экономическое обоснование и сопровождение создания новых (модернизации штатных) образцов ВВСТ.

5. Целесообразно шире использовать методологию ВЭА при разработке и практическом использовании методик подготовки кадров для ОПК.

В этой связи цель ВЭА не должна ограничиваться обоснованием предложений и рекомендаций по решению чисто финансово-экономических вопросов ВС РФ. Так, на

оборонных предприятиях при решении вопросов ВЭА следует оценивать и военно-экономическую эффективность [11], т.е. не ограничиваться рассмотрением только экономической эффективности. Очевидно также, что на основе комплексирования результатов использования математических моделей б/д и методик ВЭА можно обосновать целесообразность поставки в войска более дешевых перспективных ударных (огневых) и асимметричных систем вооружения (АСВ). В этой связи одним из главных принципов проведения ВЭА должен быть поиск асимметричных проектов (разработок), обеспечивающих с достаточной боевой эффективностью решение поставленных задач создания АСВ. При этом необходимо отметить, что стоимость создания ударных (огневых) средств, как правило, в 5–10 раз ниже, чем оборонительных систем.

При этом нужно помнить, что в противостоянии с «коллективным» Западом из-за недостаточных финансово-экономических и производственно-технологических возможностей развития высоких технологий у России остался, по сути, единственный способ добиться преимущества в создании оружия и БП. Это более высокий кадровый потенциал на основе фундаментальной подготовки оригинально мыслящих, эрудированных конструкторов, технологов, экспериментаторов и научных работников.

В общем случае при военно-экономической оценке оружия и БП, при рассмотрении военного, информационного, экономического и иного противоборства в нынешнее время целесообразно исходить из положения: выигрывает та сторона, которая обладает и умело использует сопоставимые (лучше большие) материальные, финансовые, людские и другие ресурсы для того, чтобы быстрее и в требуемом количестве доставлять в войска БП, своевременно наводить пусковые устройства на цели и поражать требуемые (назначенные) объекты и живую силу противника. Для этого с позиций ВЭА нужно более полно и детально анализировать затраты на ЖЦ образцов и систем вооружения.

На рис. 2 представлена динамика стоимостных затрат по этапам ЖЦ образца оружия (БП). Приходится констатировать, что довольно часто упускается из вида взаимосвязь текущих суммарных затрат $C_{T\Sigma}$ и предстоящих полных затрат

$C_{\text{ппз}}$, которую в интегральной форме можно представить в виде

$$C_{\text{ппз}} = \int_{t_0}^{T_k} C_{T\Sigma} \times dt,$$

где $C_{T\Sigma}$ — текущие суммарные затраты; $C_{\text{ппз}}$ — предстоящие полные затраты за период $(t_0; T_k)$. Здесь t_0 — выбранная начальная точка отсчета, а T_k — время окончания ЖЦ.

При этом надо иметь в виду, что затраты на создание научно-технического задела ($C_{\text{нтз}}$), выполнение НИР ($C_{\text{нир}}$) и ОКР ($C_{\text{окр}}$), серийное производство ($C_{\text{сп}}$), эксплуатацию ($C_{\text{экспл.}}$) и утилизацию ($C_{\text{ут}}$) обычно не дают выручки и соответственно прибыли. Министерство обороны как заказчик военной продукции может получить выручку $B_{\text{ут}}$, и валовую прибыль ΔB лишь от утилизации снятого с вооружения ВВСТ, поскольку, например, патентование и т.п. мероприятия, как правило, не дают значимой прибыли.

Вместе с тем с помощью временных показателей, стоимости, боевой эффективности и иных показателей можно полноценно проанализировать реализацию основополагающих

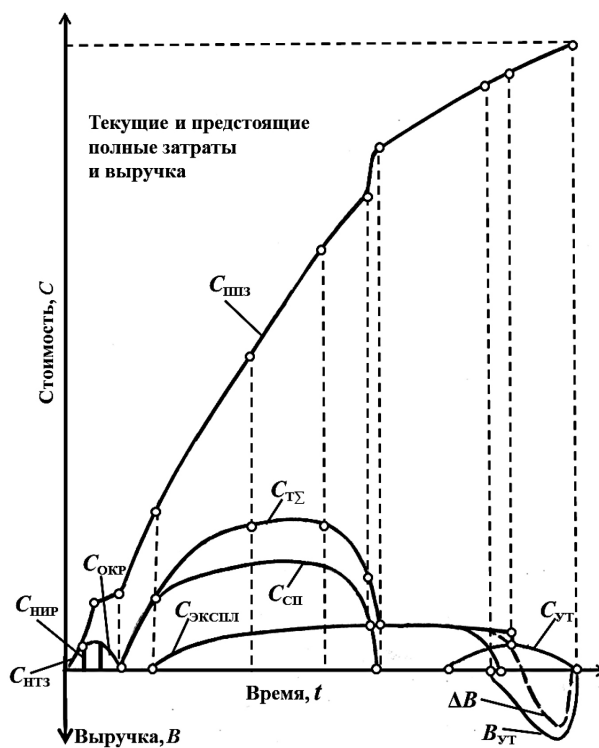


Рис. 2. Динамика предстоящих полных затрат и текущих суммарных затрат по этапам жизненного цикла образца вооружения

Направления возможных действий в отдельно взятом виде вооружения для ЛПР и их последствия

Направления возможных действий для лица, принимающего решение (ЛПР)	Возможные действия и последствия, ВС РФ / противник		
	сохранить сложившееся соотношение по боевым возможностям	совершить прорыв (отрыв) по БВ	ничего не делать
1. Достигнуть предлагаемой отечественной разработкой еще большего прорыва по БВ в данном виде (типе) вооружения по сравнению с оружием противника?	++ / --	+++ / - -	0 / 0
2. Обеспечивает ли рассматриваемый проект ликвидацию нашего отставания?	- - / ++	0 / +	- - - / +++
3. Стоит ли удерживать равенство по БВ сравниваемых отечественных и иностранных образцов оружия (БП) на основе разработок?	0 / 0	+++ / - - -	- - - / +++
4. Будем ли мы понимать, какие военно-технические прорывы и когда планирует получить противник по тем направлениям, где у нас исследования и разработки ослаблены или вообще не ведутся?	- - / ++ Мероприятия по созданию научно-технического задела (НТЗ) в данном направлении нами проводятся не системно	- - - / +++ НТЗ не достаточен, на каком уровне ВЭА сделать прорыв: – стратегическом; – оперативно-стратегическом; – тактическом?	- - - / +++ НТЗ нет. Последствия: обман и внедрение противником ложной поведенческой информации (семиотика)

Примечание: В числителе — действия нашей стороны, в знаменателе — действия противника. В рассматриваемый программный период отставание сохраняется (--); отставание не ликвидируется, но сокращается (-); отставание увеличивается (---); отставание ликвидируется (0); превосходство увеличивается (+++); превосходство сохраняется (++); превосходство не ликвидируется, но сокращается (+), превосходство ликвидируется (0)

принципов военно-экономической эффективности и полезности.

В настоящее время в связи с бурным ростом науки и техники появляются такие достижения научно-технического прогресса, которые сразу трудно оценить с точки зрения последствий их внедрения. И ни одна страна мира не в состоянии охватить весь спектр их возможного применения. В то же время ключевые направления науки и техники (в широком смысле, включая достижения и живых систем) нужно отслеживать, прогнозировать и принимать упреждающие меры. В таблице показан один из условных примеров применения ВЭА при рассмотрении конкурирующих проектов оружия (БП), предлагаемых для включения их в проект ГПВ.

Подводя итог, отметим, что для решения задач, опирающихся на использование и результаты ВЭА, насущной необходимостью является идеологический переход от нынешнего финансово-экономического анализа в военном деле к взаимосвязанному использованию методов и подходов оценки разных видов эффективности с позиций теории полезности. На основе широкого использования критерия «время — затраты — эффективность» нужен также системный ВЭА на различных уровнях иерархии военного строительства и технического оснащения ВС РФ и всесторонний учет последствий самых разных решений, нацеленных на всемерное повышение боевой готовности и эффективности воинских формирований при допустимых ограничениях (и разумном

снижении) предстоящих полных затрат. Время выполнения поставленных задач здесь, как правило, является важнейшим директивным показателем.

Главное при отказе или отсутствии возможности использования системного подхода — избежать принципа: «экономить во всем и везде, где это возможно», поскольку экономия в малом (например, в затратах на разработку) обычно ведет к большим потерям на других этапах жизненного цикла изделия. В эксплуатации это нередко приводит к безвозвратным потерям в системе «вооружение — личный состав».

На основе дальнейшего обсуждения и проработки понятий «военно-экономическая эффективность» и «полезность» в военном деле необходимо развернуть масштабное совершенствование приемов и подходов комплексного проведения ВЭА как эффективного организационно-методического аппарата не только технического переоснащения самих ВФ перспективными образцами оружия (БП), но и их надежного материально-технического обеспечения и оснащения кадрами приемлемой квалификации.

Литература

1. Жуков Г.П., Викулов С.Ф. Военно-экономический анализ и исследование операций: учебник. М.: Воениздат, 1987. 440 с.
2. Викулов С.Ф., Жуков Г.П., Ткачев В.Н., Ушаков В.Я. Военно-экономический анализ: учебник для воен. акад. и ун-тов; под ред. С.Ф. Викулова. М.: Воениздат, 2001. 349 с.
3. Воробьев В.В., Пожаров А.И., Ермаков С.М. Военная экономика: учебник. М.: Воениздат, 2003. 125 с.
4. Буренок В.М. Технологические и технические основы развития вооружения и военной техники. М.: Изд. дом «Граница», 2010. 216 с.
5. Баскаков В.В., Усатенко О.В., Фомин А.Н. Методология обоснования рациональных вариантов программы вооружения на базе методов теории полезности. Часть 1. Минобороны России. АВН. М.: 2010. 336 с.
6. Буравлев А.И., Буренок В.М., Лавринов Г.А. и др. Методы военно-научных исследований систем вооружения. М.: Изд. дом «Граница», 2017. 511 с.
7. Лавринов Г.А., Косенко А.А., Бабкин Г.В. Экономические аспекты военно-технической политики Российской Федерации на современном этапе: монография. М.: изд. дом «Граница». 2012, 544 с.
8. Военно-экономический анализ. Энциклопедия Министерства обороны РФ. URL: <https://encyclopedia.mil.ru/encyclopedia/dictionary/details.htm?id=12829@morfDictionary> (дата обращения: 21.02.24).
9. Семенов С.С. Оценка качества и технического уровня сложных систем. Практика применения экспертных оценок. М.: ЛЕНАНД, 2015. 352 с.
10. Селиванов В.В., Ильин Ю.Д. Некоторые проблемы стратегического планирования развития вооружения и пути их решения // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2019. № 1 (105). С. 37–46.
11. Гордин М.В., Ильин Ю.Д., Селиванов В.В., Старожук Е.А. Экономика оборонных предприятий: учебник; под ред. проф. В.В. Селиванова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022. 639 с.

УДК: 004.9: 528.92

DOI: 10.53816/20753608_2024_2_25

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВС США

THE MAIN DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF THE NATIONAL GEOSPATIAL SUPPORT SYSTEM OF THE US ARMED FORCES

По представлению академика РАН М.А. Перфилова

В.Н. Филатов¹, С.П. Присяжнюк², Д.М. Петров³, Л.И. Яблонский⁴

¹ АО «Российские космические системы», ² ЗАО «Институт телекоммуникаций»,

³ ВКА им. А.Ф. Можайского, ⁴ Научный геоинформационный центр РАН

V.N. Filatov, S.P. Prisyazhnyuk, D.M. Petrov, L.I. Yablonskiy

Рассмотрены структура построения и основы функционирования современной системы геопро странственного обеспечения Вооруженных сил Соединенных Штатов Америки. Представлен структурный состав службы геопро странственного обеспечения Вооруженных сил Украины. Приведено определение системы геопро странственного интеллекта (GEOINT) и ее использование в военных действиях на Украине. На основе новых зарубежных публикаций определены выводы по использованию основных элементов GEOINT в ходе военных действий и направления развития системы геопро странственного обеспечения ВС США.

Ключевые слова: геопро странственное обеспечение, геопро странственный интеллект, GEOINT, национальное агентство геопро странственной разведки, NGA.

The structure of construction and the basics of functioning of the modern geospatial support system of the Armed Forces of the United States of America are considered. The structural composition of the geospatial support service of the Armed Forces of Ukraine is presented. The definition of the geospatial intelligence system (GEOINT) and its use in military operations in Ukraine is given. Based on new foreign publications, conclusions have been drawn on the use of the main elements of GEOINT during military operations and the directions of development of the geospatial support system for the US Armed Forces.

Keywords: geospatial support, geospatial intelligence, GEOINT, national Geospatial intelligence Agency, NGA.

В настоящее время при проведении исследований по совершенствованию отечественной системы геопро странственного (геоинформационного) обеспечения войск обязательным этапом является изучение действующей и постоянно развивающейся, вследствие использования доминирующих информационных технологий и военного опыта, системы геопро странственного обеспечения Вооруженных сил Соединенных Штатов Америки (ВС США).

Обязательность выполнения этого этапа определяется прежде всего тем, что в каких бы военных действиях ни участвовали Вооруженные Силы Российской Федерации (ВС РФ), включая и специальную военную операцию (СВО) на Украине, основу применяемой противником системы обеспечения геопро странственной информацией войск составляют американские организационные и информационно-технологические подходы.

Первоначально обратимся к рассмотрению и анализу современной действующей структуры построения системы геопространственного обеспечения ВС США. По структурному построению система обеспечения геопространственной информацией ВС США может быть представлена в виде следующей двухуровневой системы [1] (рис. 1).

На высшем стратегическом уровне в Министерстве обороны США создано и функционирует Национальное агентство геопространственной разведки — NGA (National Geospatial-Intelligence Agency), подчиненное в специальном отношении ЦРУ. NGA функционально обеспечивает геопространственной информацией различного содержания, в том числе в интегрированном виде, не только Министерство обороны США, но и другие министерства и государственные структуры.

На втором, оперативном уровне, в составе Корпуса военных инженеров США Министерства Армии (СВ) создан Армейский центр геопространственной информации (геопространственных данных) сухопутных войск США — AGC (Army Geospatial Center). Центр геопространственных данных сухопутных войск США — AGC обеспечивает необходимой информацией операции войск, а также функционирование производственных мощностей и аналитических комитетов по производству геопространственной информации.

NGA активно и согласованно взаимодействует с Центром геопространственных данных сухопутных войск США — AGC. Центр AGC адаптирует и преобразовывает геопропрост-

венную информацию, получаемую от агентства NGA, и формирует для обеспечения потребителей на оперативно-тактическом и тактическом уровне специальную информацию о местности. В настоящее время согласованное, интегрированное функционирование агентства NGA с центром AGC обеспечивает создание более 300 видов геопространственных данных с доведением их не только до вооруженных сил Пентагона, но и до военного блока НАТО и военных формирований, действующих в интересах США. В последние годы NGA принимает интенсивное участие в геопространственном обеспечении военных действий Вооруженных сил Украины, территория которой практически стала боевой площадкой для проверки своих управленческих, информационно-технологических решений и оценки способности российской системы топогеодезического обеспечения войск в достижении геоинформационного превосходства на поле боя.

В соответствии с двухсторонним соглашением относительно геопространственной информации между Министерством обороны Украины и Национальным агентством геопространственной разведки Министерства обороны США, NGA обеспечивает создание, обмен, предоставление геопространственной информации и связанных с ней материалов и оборудования для использования в оборонных и других целях украинской стороне. В Вооруженных силах Украины (ВСУ) непосредственное взаимодействие с NGA осуществляет Управление военно-топографическое и навигации топографической службы, которая по функциональному предназначению



Рис. 1. Двухуровневая система обеспечения геопространственной информацией ВС США

преобразована под натовские стандарты в службу геопространственного (топогеодезического и навигационного) обеспечения [2]. Структурный состав службы геопространственного обеспечения ВСУ представлен на рис. 2.

По структурному построению служба геопространственного обеспечения ВСУ разделена на два взаимодействующих состава воинских частей и центров. Первый и основной состав включает воинские части и центры геопространственного обеспечения войск, выполняющие навигационные, геодезические, фотограмметрические, картографические и фондовые задачи по созданию, обновлению, хранению и доведению геопространственных данных в цифровом и аналоговом виде до войск и воинских частей геопространственной поддержки видов и родов ВСУ. Второй состав, включающий картографические части, склад топографических карт и топографическую часть, обеспечивает получение геопространственной информации от первого состава с последующим ее хранением, дополнением и оперативным доведением до видов и родов войск, предназначенных для ведения боевых действий преимущественно на суше.

При сравнительном анализе структурного построения и функционального взаимодействия рассмотренных составов службы гео-

пространственного обеспечения ВСУ с организацией взаимодействия между NGA и Центром геопространственных данных сухопутных войск США — AGC, выявляется много общего между ними. Кроме этого используемое технологическое, программное и нормативно-техническое обеспечение создания, хранения и доведения геопространственных данных, а также подготовка специалистов службы геопространственного обеспечения ВСУ отвечает требованиям современных стандартов ВС США и военного блока НАТО с широким внедрением системы геопространственного интеллекта (GEOINT) [3].

Терминологическое понятие геопространственный интеллект («geo» и «int») сформировано в Национальном агентстве геопространственной разведки, определяющем область знаний, процесс и профессию. Знания — это информация, интегрированная в связный пространственно-временной контекст, которая поддерживает описания, объяснения или прогнозы человеческой деятельности, на основании которых лица принимают решения. Как процесс, это средство, с помощью которого данные и информация собираются, обрабатываются, геопространственно обоснованы и распространяются среди лиц, принимающих решения. Профессия геопространственного интеллекта определяет сферу



Рис. 2. Структурный состав службы геопространственного обеспечения ВСУ

деятельности, междисциплинарные ассоциации, компетенции и стандарты в академическом, государственном и частном секторах [4]. Основное управление GEOINT обеспечивает агентство NGA с использованием всех типов платформ сбора данных, датчиков и изображений для создания геопрограммной информации и ее интерпретации с формированием необходимых знаний для поддержки принятия решений в военных, оборонных и разведывательных целях. В целях повышения эффективности функционирования GEOINT, агентство NGA в январе 2024 года ввело в эксплуатацию новый круглосуточный операционный центр NGOC для предоставления геопрограммной информации и знаний политикам и вооруженным силам.

Использование возможностей GEOINT за последние два года на Украине подчеркивает некоторые потенциальные последствия и выводы для развития системы геопрограммного обеспечения ВС США [4, 5]:

- военные действия на Украине показывают, как широкое и успешное использование геопрограммной разведки обеспечивает применение технологий и инновации в организационной, технической и человеческой сферах ведения гибридной войны, которая рассматривается как война, которая включает в себя многоуровневые усилия, направленные на дестабилизацию функционирующего государства и поляризацию его общества, сочетая кинетические операции с подрывными усилиями;

- платформы и датчики, такие как небольшие коммерческие дроны, пилотируемые воздушные платформы, а также космические системы высокого разрешения, включая радиочастотные (RF) и радары с синтезированной апертурой (SAR), изменили операции и результаты. Активное использование ВСУ турецких беспилотников, американской сети связи (Starlink) и коммерческих изображений США (Maxar и Planet) обеспечило создание более прозрачного поля боя и угрозу для военных формирований противника. В конфликте широко использовались нетрадиционные платформы. К ним относится широкое использование небольших и недорогих дронов и смартфонов. Например, компания HawkEye 360 поддерживает группировку спутников, которые отслеживают радиочастотные (РЧ) сигналы. Датчики HawkEye 360 фиксируют обширную

активность помех системы глобального позиционирования (GPS) над Украиной. Другие компании, занимающиеся космическими данными, такие как Spire, используют наноспутники для отслеживания воздушного движения. Финский стартап ICEYE предоставляет Украине изображения со своих спутников SAR. Небольшие дроны оказали значительное влияние, продемонстрировав свою эффективность в разведке, обнаружении целей и обеспечении ситуационной осведомленности в режиме реального времени;

- продемонстрирован вариант сетецентрической войны, в которой системы и группы людей на одной стороне конфликта гиперсвязаны, доставляют информацию с большей скоростью, масштабом и актуальностью, чем их противник. Именно здесь системы и группы людей гиперсвязаны для доставки актуальной и объединенной информации в оперативном режиме. Объединение информации включает в себя технологию интеграции информации из нескольких источников для получения оценок. Организационное слияние предполагает соглашение об обмене данными и/или технологиями между правительством, международными организациями, бизнесом и группами граждан. Гиперподключенность характеризуется привычным использованием устройств, имеющих общее сетевое подключение. Структурно это предполагает, что геопрограммное разведывательное обеспечение функционирует как единое целое на всех уровнях. Успешное использование системы залпового огня украинской высокомобильной артиллерийской ракетной системы HIMARS можно объяснить надежной интегрированной информационной архитектурой, эффективной разведкой и инновационным применением готовых технологий беспилотных летательных аппаратов;

- точное позиционирование позволяет высокоточному оружию противодействовать эффекту массированного огня. Война демонстрирует преобладание высокоточного оружия над массированным огнем. Обеспечение сигналами GPS лежит в основе современной войны: от навигации дронов-разведчиков и высокоточных боеприпасов до включения мобильных радиостанций. В ходе войны российские войска регулярно глушили сигналы GPS США. Однако, по иронии судьбы, российские силы наряду с ГЛОНАСС также используют GPS. Количество

и использование высокоточных боеприпасов будет расти, поскольку у нескольких оборонных компаний есть предложения по производству дешевого высокоточного оружия большой дальности. Использование высокоточного огня дополнительно дает представление о цикле принятия решений, в котором особое внимание уделяется затратам оружия на нейтрализацию цели;

– «большие данные поля боя» собираются датчиками в космосе и на нетрадиционных платформах, таких как небольшие дроны и смартфоны. Полезность этих данных повышается за счет использования искусственного интеллекта (ИИ). Помимо датчиков, установленных в космосе и самолетах, нетрадиционные платформы, такие как небольшие дроны и смартфоны, собирают огромные объемы геопро пространственных данных. Война на Украине также привела к уникальному участию гражданских лиц в сборе цифровых данных и разработке OSINT в онлайн-сообществах по расследованию с открытым исходным кодом, занимающихся геолокацией доказательств. Украинские вооруженные силы могут вести огонь по целям, которые определили гражданские лица. На украинском поле боя мирные жители стали сенсорами, расширяя цикл нацеливания на гражданское общество. Это приводит к созданию более информированного процесса определения цели, но также означает, что любой, у кого есть смартфон, может стать целью действий противника;

– внедрение искусственного интеллекта (ИИ) и доступность геопро пространственных данных ускоряют темпы и повышают качество анализа. С точки зрения цикла «Наблюдение — Ориентация — Решение — Действие», ИИ позволяет ВСУ добиться успеха, наблюдая, ориентируясь и принимая решения более комплексно и быстрее, чем противник. Украинские офицеры используют ИИ в центрах боевых действий для планирования ударов по выбранным позициям с обеспечением обработки данных, анализа ситуации на поле боя и определения целей. ВСУ используют алгоритмы для принятия важных решений на поле боя, в так называемой алгоритмической войне, а цифровые модели поля боя проникли в «туман войны». Данные, постоянно обновляемые, питают механизмы искусственного интеллекта, которые, в свою очередь, передают информацию о местонахождении противника украинским полевым команди-

рам. После каждого кинетического удара оценки боевых повреждений передаются обратно в сеть для усиления прогнозирующих моделей. Украинские военные прошли обучение по использованию программного обеспечения искусственного интеллекта в Германии и Польше. GEOINT, разработанный с использованием искусственного интеллекта, играет решающую роль в установлении темпа, который способствует эффективному командованию и контролю военных действий, позволяя обучаться и адаптироваться быстрее, чем противостоящие силы.

В целом по материалам зарубежных публикаций можно отметить, что военный конфликт на Украине демонстрирует пример современной войны, уроки которой следует изучать и использовать для совершенствования системы обеспечения геопро пространственными данными. При этом, как отмечает директор Национального агентства геопро пространственной разведки [5], «NGA предоставляет ключевую информацию о российских силах, отслеживая их передвижения и возможности, а также оценивая их инфраструктуру. Еще до начала конфликта в феврале прошлого года (2022 г.) мы подключили поставщиков коммерческих спутников к Украине, что предоставило им механизм реагирования для проведения собственной разведки. И, конечно же, наше прочное партнерство с геопро пространственным сообществом союзников позволяет нам широко делиться информацией в рамках всего предприятия». В связи с этим исследования по развитию отечественной системы геопро пространственного обеспечения должны выполняться с учетом изучения и сравнительного анализа сил и средств геопро пространственной разведки США и стран военного блока НАТО.

Ключевым звеном развития системы геопро пространственного обеспечения с сохранением стратегического преимущества над противником Америки является поддержание и совершенствование на высоком научно-техническом уровне средств и технологий космической разведки [6]. Превосходство страны в космосе зависит от согласованной, совместной деятельности Национального разведывательного управления (NRO), Космических сил, созданных в 2019 году и ставших 18-м членом разведывательного сообщества США, а также научных и коммерческих организаций, которые предлагают новые

инновационные разработки на основе искусственного интеллекта и машинного обучения, с помощью которых можно более эффективно ставить задачи и управлять большими и сложными группировками спутников.

Развитие NGA по геопространственному обеспечению военных операций в области искусственного интеллекта в основном связаны с компьютерным зрением — способностью обнаруживать и точно идентифицировать интересные объекты с исключительной скоростью и точностью. В соответствии с требованиями «боевых командиров» ожидается, что идентификация объекта будет 100 %, а точность геолокации — 2 метра или меньше, чтобы они могли оперативно и надежно доставить высокоточный боеприпас к цели [7].

На симпозиуме GEOINT в мае 2023 года [8, 9] было отмечено, что в системе геопространственного интеллекта GEOINT внедрены и развиваются технологии генеративного искусственного интеллекта и передового машинного обучения, трехмерной геопространственной и встроенной визуализации движения в реальном времени, а также квантового зондирования. Учитывая количество и серьезность сегодняшних угроз национальной безопасности, а также ограниченность размеров и ресурсов правительства, NGA не может заглянуть «за ближайший горизонт» без помощи коммерческой индустрии. В этой связи Национальное агентство геопространственной разведки становится лидером в области коммерческого партнерства благодаря таким программам, как программа Global Enhanced-Geospatial Delivery (G-EGD), которая предоставляет срочную информацию более чем 400 000 пользователям и 125 программам всего правительства США. Выделяется полное и тесное взаимное сотрудничество NGA со всеми органами (членами) разведывательного сообщества США, что обеспечивает интеграцию информации из всех источников с созданием единого геопространства для принятия решений Министерством обороны [9].

Специалистами и экспертами в области картографии выделяется важность сохранения и развития технологий аналоговой картографии и создания (обновления) топографических карт, которые раньше использовались исключительно для передачи информации, но теперь они также

являются средством ее сбора [10]. Фактически современные аналоговые карты могут быть обогащены дополнительным количеством функций и информацией, а в случае цифровых информационных сбоях или компьютерных отказов могут быть единственным геоинформационным источником, простым и надежным, для оценки местности и принятия решений.

Необходимость развития GEOINT состоит в том, что это глубокий и прочный фундамент, на котором стоит остальная часть разведывательного сообщества США и который сыграл основополагающую роль в понимании и геопространственном обеспечении ВСУ в продолжающемся военном конфликте [11, 12]. И несмотря на то, что Украина является основным очагом деятельности GEOINT и главным приоритетом разведывательного сообщества, это не единственное направление деятельности NGA. NGA продолжает концентрироваться на способах укрепления и научно-технического развития GEOINT в будущем.

Перспективным стратегическим направлением развития системы геопространственного обеспечения является создание интегрированной геопространственной экосистемы в метавселенной, которая фактически представляет собой виртуальное отображение нашей физической вселенной [13, 14]. Технологической основой создания метавселенной являются информационно-технологические способы и технологические решения формирования цифровых двойников Земли. Уже в настоящее время исследовательская лаборатория ВМС США использует технологию метавселенной для воспроизведения окружающей среды — от пустынь до джунглей и подводных экосистем. Виртуально воссоздавая эти условия и запуская на них симуляции, ВМС могут расширить свои возможности прогнозирования для использования в обучении, стратегическом планировании и операциях.

Таким образом, рассмотренная система геопространственного обеспечения ВС США, в которой определяющая роль отводится NGA и GEOINT, находится в постоянном и активном развитии с практической боевой проверкой и адаптацией организационного и информационно-технологического функционирования в условиях современных военных действий на Украине. Принимая во внимание, что функционирование

этой системы направлено на повышение эффективности обеспечения геопространственной информацией ВСУ, то в целях ее нетрениции необходимость развития отечественной системы топогеодезического и навигационного обеспечения является актуальной научно-технической задачей.

Литература

1. Филатов В.Н., Яблонский Л.И. Возможные направления формирования интегрированной системы обеспечения пространственными данными: Сб. докл. и выст. научно-деловой программы Международного военно-технического форума «Армия-2020» (23–29 августа 2020 года). С. 407–410.

2. Семенов А. Служба геопространственного обеспечения Вооруженных сил Украины // Зарубежное военное обозрение. 2022. № 8. С. 28–29.

3. DA-25 — Geospatial Intelligence and National Security. 2018. URL: <https://gistbok.ucgis.org/bok-topics/geospatial-intelligence-and-national-security> (дата обращения: 10.03.2024).

4. GEOINT Lessons Being Learned from the Russian-Ukrainian War. February 22, 2024. URL: <https://trajectorymagazine.com/geoint-lessons-being-learned-from-the-russian-ukrainian-war/> (дата обращения: 10.03.2024).

5. From Seabed to Space and The Future of the NGA. May 23, 2023. URL: <https://trajectorymagazine.com/from-seabed-to-space-and-the-future-of-the-nga/> (дата обращения: 10.03.2024).

6. The Limitless Potential of Space. May 23, 2023. URL: <https://trajectorymagazine.com/the-limitless-potential-of-space/> (дата обращения: 10.03.2024).

limitless-potential-of-space/ (дата обращения: 10.03.2024).

7. NGA's Mark Munsell Envisions 100% Accuracy with AI. May 24, 2023. GEOINT Symposium, Government Hub. URL: <https://trajectorymagazine.com/ngas-mark-munsell-envisions-100-accuracy-with-ai/> (дата обращения: 10.03.2024).

8. DNI Haines: GEOINT 'Fundamental' to U.S. National Security. May 24, 2023. GEOINT Symposium, Keynotes. URL: <https://trajectorymagazine.com/dni-haines-geoint-fundamental-to-u-s-national-security/> (дата обращения: 10.03.2024).

9. A Reflection on 40 Years of Service. May 24, 2023. GEOINT Symposium, Keynotes. URL: <https://trajectorymagazine.com/a-reflection-on-40-years-of-service/> (дата обращения: 10.03.2024).

10. Mapping Makeover. April 27, 2022. URL: <https://trajectorymagazine.com/mapping-makeover/> (дата обращения: 10.03.2024).

11. Laying Foundations. April 25, 2022. URL: <https://trajectorymagazine.com/laying-foundations/> (дата обращения: 10.03.2024).

12. Lessons from Ukraine. April 25, 2022. URL: <https://trajectorymagazine.com/lessons-from-ukraine/> (дата обращения: 10.03.2024).

13. Demystifying the Metaverse. October 8, 2021. URL: <https://trajectorymagazine.com/demystifying-the-metaverse/> (дата обращения: 10.03.2024).

14. Metaverse and GEOINT: A Perfect Pair. May 21, 2023 GEOINT Symposium. URL: <https://trajectorymagazine.com/metaverse-and-geoint-a-perfect-pair/> (дата обращения: 10.03.2024).

УДК: 355/359

DOI: 10.53816/20753608_2024_2_32

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СФОРМИРОВАННОСТИ ВОЕННО-ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ

FORECASTING THE FORMATION OF MILITARY PROFESSIONAL COMPETENCIES

Чл.-корр. РАРАН А.М. Сазыкин¹, В.Г. Анисимов², Д.В. Ставицкий³, А.В. Фетисов³

¹АО «НПО Спецматериалов», ²СПб ПУ Петра Великого, ³СПб ВИ ВНГ РФ

A.M. Sazykin, V.G. Anisimov, D.V. Stavitskiy, A.V. Fetisov

Рассмотрен подход к построению моделей прогнозирования ожидаемого уровня сформированности у слушателей и курсантов учебных заведений войск национальной гвардии Российской Федерации необходимых военно-профессиональных компетенций. Основу подхода составляет представление формирования этих компетенций в виде комплекса процессов изменения в ходе обучения значений соответствующих частных показателей. Формальное описание этих процессов осуществляется в виде системы дифференциальных уравнений. Для конкретизации параметров уравнений предложен способ использования имеющихся эмпирических данных. Предлагаемый подход может быть использован при построении конкретных моделей и методик поддержки принятия решений по управлению развитием системы военно-профессиональной подготовки.

Ключевые слова: система военно-профессиональной подготовки, управление, профессиональные компетенции, модель прогнозирования.

An approach to the construction of forecasting models for the expected level of formation of necessary military professional competencies among students and cadets of educational institutions of the National Guard troops of the Russian Federation is considered. The basis of the approach is the representation of the formation of these competencies in the form of a set of processes for changing the values of the corresponding private indicators during training. The formal description of these processes is carried out in the form of a system of differential equations. To specify the parameters of the equations, a method of using the available empirical data is proposed. The proposed approach can be used in the construction of specific models and methods of decision support for managing the development of the military vocational training system.

Keywords: military vocational training system, management, professional competencies, forecasting model.

Введение

Изменение условий выполнения служебно-боевых задач войсками национальной гвардии Российской Федерации (ВНГ РФ) настоятельно требует совершенствования управления качеством военно-профессиональной подготовки в интересах постоянного приведения

содержания и организации образовательного процесса, а также всех видов его обеспечения в соответствие с современными требованиями к подготовке военных специалистов [1–4]. При этом одной из важных задач обоснования управленческих решений является оценка ожидаемого уровня сформированности у слушателей и курсантов вузов ВНГ РФ необходимых

военно-профессиональных компетенций. Эта оценка осуществляется с использованием соответствующих показателей. Изменение этих показателей в ходе военно-профессиональной подготовки имеет форму эволюционного или скачкообразного процесса. Причем, как показывает опыт, эволюционный характер изменения является преобладающим для большинства показателей, а скачкам в формировании компетенций и соответственно в изменении характеризующих их показателей предшествуют определенные эволюционные периоды [5–7]. Следовательно, прогнозирование изменения показателей сформированности у обучающихся требуемых военно-профессиональных компетенций на эволюционном этапе является необходимым условием объективной оценки возможных результатов реализации решений по управлению образовательным процессом. В качестве инструментов такого прогнозирования целесообразно использовать соответствующие математические модели. Разработка методического подхода к построению таких моделей является целью данной статьи.

Описание подхода

С математической точки зрения характеристики качества военно-профессиональной подготовки могут быть представлены в виде вектора $\mathbf{X}(t)$ показателей [8, 9], отражающих сформированность компетенций слушателей и курсантов:

$$\mathbf{X}(t) = \|x_i(t)\|, \quad i = 1, 2, \dots, I, \quad (1)$$

где $x_i(t)$ — значение i -го показателя в момент времени t ;

I — общее количество показателей.

При этом, не снижая общности, можно полагать, что совершенствование системы военно-профессиональной подготовки проявляется в увеличении значений компонент вектора (1). Увеличение каждой компоненты ограничено соответствующей величиной x_i^* . Ограничения для всей системы показателей представляются вектором

$$\mathbf{X}^* = \|x_i^*\|, \quad i = 1, 2, \dots, I. \quad (2)$$

Естественным является также предположение, что значение каждого показателя качества

военно-профессиональной подготовки (компонента вектора $\mathbf{X}(t)$) зависит от результативности использования ресурсов, выделенных для его улучшения. При этом, как показывает опыт, чем ближе значение показателя его предельному значению, тем больше ресурсов необходимо для его дальнейшего улучшения [10]. Следовательно, величина $dx_i(t)$ приращения значения каждой i -й ($i = 1, 2, \dots, I$) компоненты вектора (1) в период времени $(t + dt)$ зависит от ее значения в момент времени t , а также количества и результативности использования выделенных для ее улучшения ресурсов. Результат использования ресурсов проявляется через относительную скорость $g_i(t)$ улучшения соответствующего показателя $x_i(t)$.

Тогда процессы формирования военно-профессиональных компетенций слушателей и курсантов могут быть представлены в форме следующих систем дифференциальных уравнений:

$$dx_i(t) = [x_i^* - x_i(t)]g_i(t)dt; \quad i = 1, 2, \dots, I, \quad (3)$$

или

$$\frac{dx_i(t)}{dt} = [x_i^* - x_i(t)]g_i(t); \quad i = 1, 2, \dots, I. \quad (4)$$

При этом каждое из уравнений систем (3) или (4) является дифференциальным уравнением первого порядка с разделяющимися переменными:

$$\frac{dx(t)}{x_i^* - x_i(t)} = g_i(t)dt; \quad i = 1, 2, \dots, I. \quad (5)$$

Следовательно,

$$\int \frac{1}{x_i^* - x_i(t)} dx_i = \int g_i(t)dt + C_i; \quad i = 1, 2, \dots, I. \quad (6)$$

Из выражения (6) при начальных условиях $x_i(0) = y_i$ ($i = 1, 2, \dots, I$), получим

$$x_i(t) = x_i^* - (x_i^* - y_i) \exp\left[-\int_0^t g_i(t)dt\right]; \quad (7)$$

$$i = 1, 2, \dots, I.$$

Соотношение (7) представляет собой обобщенную модель для прогноза показателей сформированности военно-профессиональных компетенций. Дальнейшая конкретизация этой модели связана с определением вида и параметров

функций $g_i(t)$, $i=1,2,...,I$, характеризующих относительные скорости улучшения соответствующих частных показателей. При решении этой задачи целесообразно вначале постулировать вид функций, а затем определять их параметры на основе использования данных об относительных скоростях изменения частных показателей, полученных в результате педагогических экспериментов и предыдущего опыта (эмпирических данных). Универсальным инструментом определения конкретных параметров соответствующих функций является метод наименьших квадратов.

При малом горизонте прогноза в качестве базовых функций могут применяться функции линейного вида, то есть полагается, что

$$g_i(t) = a_i t + b_i; \quad i = 1, 2, ..., I, \quad (8)$$

где a_i и b_i — определяемые на основе эмпирических данных параметры.

Выбор этих параметров должен обеспечить минимум суммарному отклонению данных, полученных на основе соотношений (8) от эмпирических данных, то есть обеспечить минимум функции [11].

$$F(a_i, b_i) = \sum_{n=1}^{N_i} [g_i^*(t_n) - (a_i t_n + b_i)]^2; \quad (9)$$

$$i = 1, 2, ..., I,$$

где $g_i^*(t_n)$ — эмпирическое значение скорости в момент времени t_n ;

N_i — количество эмпирических данных о значениях скорости роста i -го показателя сформированности военно-профессиональных компетенций.

Необходимыми условиями экстремума для функции (9) являются:

$$\frac{\partial F(a_i, b_i)}{\partial a_i} = -2 \sum_{n=1}^{N_i} [g_i^*(t_n) - (a_i t_n + b_i)] t_n = 0; \quad (10)$$

$$i = 1, 2, ..., I;$$

$$\frac{\partial F(a_i, b_i)}{\partial b_i} = -2 \sum_{n=1}^{N_i} [g_i^*(t_n) - (a_i t_n + b_i)] = 0; \quad (11)$$

$$i = 1, 2, ..., I.$$

Решая уравнения (9), (11) относительно параметров a_i и b_i , получим

$$a_i = \frac{N_i \sum_{n=1}^{N_i} t_n g_i^*(t_n) - \sum_{n=1}^{N_i} t_n \sum_{n=1}^{N_i} g_i^*(t_n)}{N_i \sum_{n=1}^{N_i} t_n^2 - \left(\sum_{n=1}^{N_i} t_n \right)^2}; \quad (12)$$

$$b_i = \frac{\sum_{n=1}^{N_i} g_i^*(t_n) - a_i \sum_{n=1}^{N_i} t_n}{N_i}, \quad i = 1, 2, ..., I. \quad (13)$$

При выполнении условия (8) соотношение (7) принимает вид:

$$x_i(t) = x_i^* - (x_i^* - y_i) \exp[-(a_i t^2 - b_i t)]; \quad (14)$$

$$i = 1, 2, ..., I.$$

С использованием метода наименьших квадратов для линейных функций можно построить практически любые формы и для нелинейных функций $g_i(t)$, $i = 1, 2, ..., I$. Для этого целесообразно использовать линеаризующие преобразования [12].

При большом горизонте прогноза в качестве аппроксимирующих зависимостей могут использоваться экспоненциальные функции, то есть полагается, что

$$g_i(t) = b_i^* e^{-a_i^* t}, \quad i = 1, 2, ..., I. \quad (15)$$

Линеаризация функций (15) обеспечивается следующим преобразованием:

$$\ln[g_i(t)] = \ln(b_i^*) - a_i^* t, \quad (i = 1, 2, ..., I). \quad (16)$$

Положив

$$\ln[g_i^*(t_n)] = g_i^*(t_n); \quad \ln(b_i^*) = b_i; \quad -a_i^* = a, \quad (17)$$

соотношение (15) приводим к виду (8). Затем на основе (12), (13) определяем параметры a_i и b_i , $i = 1, 2, ..., I$.

При этом параметры функций (15) определяются обратными к (17) преобразованиями, то есть

$$b_i^* = \text{anti} \ln(b_i); \quad a_i^* = -a_i; \quad i = 1, 2, ..., I. \quad (18)$$

При выполнении условия (15) соотношение (7) принимает вид

$$x_i(t) = x_i^* - (x_i^* - y_i) \exp[-b_i^* e^{-a_i^* t}]; \quad (19)$$

$$i = 1, 2, \dots, I.$$

Допущению о том, что по мере приближения значений показателей к предельным уровням скорости $g_i(t)$, $i = 1, 2, \dots, I$ будут снижаться, соответствуют и функции

$$g_i(t) = \left(\frac{t}{t_i^*} \right)^{k_i}; \quad t < t_i^*; \quad i = 1, 2, \dots, I, \quad (20)$$

где t_i^* — горизонт прогноза;

k_i — параметр, характеризующий закон роста i -го показателя сформированности военно-профессиональных компетенций на рассматриваемом этапе подготовки.

Линеаризация рассматриваемых функций в интересах применения метода наименьших квадратов, так же как и для экспоненциального вида функций, осуществляется путем логарифмирования.

При выполнении условия (20) соотношение (7) принимает вид

$$x_i(t) = x_i^* - (x_i^* - y_i) \exp \left[-\frac{1}{t_s} \left(\frac{t^{k_i+1}}{k_i+1} \right) \right]; \quad (21)$$

$$i = 1, 2, \dots, I.$$

Соотношения (14), (19) и (21) представляют собой варианты конструктивной формализации рассматриваемых моделей прогнозирования.

При этом вариант построения модели, определяемый соотношением (14), применим при относительно небольших горизонтах прогнозирования.

Варианты построения модели, определяемые соотношениями (19), (21), позволяют увеличить горизонт прогнозирования. Выбор предпочтительного из вариантов осуществляется исходя из критерия минимума среднеквадратичных отклонений эмпирических данных об относительных скоростях изменения частных показателей от расчетных при представлении этих скоростей функциональными зависимостями (8), (15) или (20).

Заключение

Предложен методический подход к построению моделей прогнозирования сформирован-

ности военно-профессиональных компетенций слушателей и курсантов. Основу подхода составляет представление формирования этих компетенций в виде комплекса процессов изменения в ходе обучения значений соответствующих частных показателей. Представленные результаты могут быть использованы при построении конкретных моделей и методик поддержки принятия решений по управлению развитием систем военно-профессиональной подготовки в вузах ВНГ РФ.

Литература

1. Приказ Федеральной службы войск национальной гвардии Российской Федерации от 07.11.2017 № 466 «Об утверждении Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по основным профессиональным образовательным программам, реализуемым в интересах обороны и безопасности государства, обеспечения законности и правопорядка в военных образовательных организациях высшего образования войск национальной гвардии Российской Федерации».

2. Приказ Федеральной службы войск национальной гвардии Российской Федерации от 07.11.2017 № 467 «Об утверждении особенностей организации и осуществления образовательной, методической и научной (научно-исследовательской) деятельности в области подготовки кадров в интересах обороны и безопасности государства, обеспечения законности и правопорядка, а также деятельности военных образовательных организаций высшего образования войск национальной гвардии Российской Федерации».

3. Приказ главкомандующего внутренними войсками МВД России от 17 июня 2013 года. № 225 «Об утверждении квалификационных требований к военно-профессиональной (специальной) подготовке выпускников и основной образовательной программы федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего профессионального образования внутренних войск МВД России» по специальности 030901 «Правовое обеспечение национальной безопасности».

4. «Положение по организации деятельности военного образовательного учреждения

ВНГ РФ». Приказ начальника СПВИ ВНГ РФ № 500 от 24.05.2023.

5. Гарькушев А.Ю., Курилов А.В., Карпова И.Л., Шиленин Д.А. Совершенствование образовательного контента для подготовки сотрудников авиационной безопасности // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2021. № 11–12 (161–162). С. 187–192.

6. Анисимов В.Г., Буг С.В., Коритчук В.В., Анисимов Е.Г. Модель и методика обоснования выбора видов учебных занятий при формировании военно-профессиональных компетенций слушателей (курсантов) в вузе Министерства обороны Российской Федерации // Научные проблемы материально-технического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации. 2021. № 1 (19). С. 16–29.

7. Анисимов В.Г., Буг С.В., Коритчук В.В., Сауренко Т.Н. Модель обоснования программы инновационного развития системы тренажерных комплексов Министерства обороны Российской Федерации // Научные проблемы материально-технического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации. 2021. № 1 (19). С. 30–42.

8. Ефимова А.Б., Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г. Методика оценки качества образова-

тельного процесса: сб. науч. тр.: современные проблемы науки и образования во внутренних войсках МВД России. Санкт-Петербургский военный институт внутренних войск МВД России. СПб., 2015. С. 98–101.

9. Лихачева О.А., Сергеев И.В. и др. Оценка качества образовательного процесса с использованием математической модели // Вестник университета. 2012. № 18. С. 152–155.

10. Николаев Г.А., Осипенков М.Н. и др. Методический подход к оцениванию влияния распределения ресурсов на качество образовательного процесса: сб. матери. науч. семинара: перспективные информационные технологии в системе подготовки должностных лиц органов исполнительной власти, участвующих в решении задач обеспечения безопасности и обороны Российской Федерации. М.: ВА ГШ ВС РФ, 2019. С. 21–29.

11. Осипенков М.Н., Селиванов А.А., Чварков С.В. и др. Математические методы и модели в военно-научных исследованиях. Часть 2. М.: ВА ГШ ВС РФ, 2017. 466 с.

12. Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Липатова Н.Г., Черныш А.Я. Применение математических методов при проведении диссертационных исследований. М.: Российская таможенная академия, 2011. 514 с.

УДК: 623.4.01

DOI: 10.53816/20753608_2024_2_37

**О V-ДИАГРАММЕ СОЗДАНИЯ ИЗДЕЛИЙ
ВЫСОКОЙ СТЕПЕНИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СЛОЖНОСТИ
ВООРУЖЕНИЯ, ВОЕННОЙ И СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В ПАРАДИГМЕ
СИСТЕМНОГО ИНЖИНИРИНГА НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ**

**ABOUT THE V-DIAGRAM OF THE CREATION OF PRODUCTS OF A HIGH
DEGREE OF TECHNOLOGICAL COMPLEXITY OF WEAPONS OF MILITARY
AND SPECIAL EQUIPMENT IN THE PARADIGM OF SYSTEM ENGINEERING
BASED ON DIGITAL TWINS**

По представлению чл.-корр. РАН А.И. Михайлина

А.И. Боровков, В.Ю. Кулемин

СПбПУ Петра Великого

A.I. Borovkov, V.J. Kulemin

Предложена форма и содержание V-диаграммы создания изделий с высокой степенью технологической сложности (ИВСТС) вооружения, военной и специальной техники, как совокупность, водопада требований и лестницы синтеза на основе принципов, методов и технологии системного инжиниринга, обеспечивающих формирование многоуровневых матриц требований и ресурсных ограничений цифровых двойников изделий ИВСТС дающих возможность создавать изделия в ограниченный срок и заданную стоимость с высоким качеством.

Ключевые слова: V-диаграмма, изделие высокой степени технологической сложности, вооружение, военная и специальная техника, многоуровневая матрица требований и ресурсных ограничений, цифровой двойник изделия.

The form and content of the V-diagram of the creation of products with a high degree of technological complexity (PHDTC) of weapons of military and special equipment, as a set of waterfall requirements and synthesis stairs based on the principles, methods and technology of system engineering, providing the formation of multi-level matrices of requirements and resource constraints of digital counterparts of PHDTC products that make it possible to create products in a limited time and a set price with high quality.

Keywords: V-diagram, product of high degree of technological complexity, of weapons, military and special equipment, multi-level matrices of requirements and resource constraints, digital twin of the product, system engineering.

Введение

Обеспечение технологической субъектности РФ идет путем развития собственных передовых производственных технологий, которые будут ориентированы в том числе на создание изделий

с высокой степенью технологической сложности (ИВСТС) вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ). В 2023 году на Валдайском форуме президент Российской Федерации В.В. Путин отметил: «... величие России на сегодняшний день заключается в укреплении ее суверенитета,

а суверенитет основан на самодостаточности в технологиях, в финансах, в экономике в целом, в сфере обороны и безопасности» [1]. Учитывая, что образец ИВСТС ВВСТ — сложная техническая система систем, являющаяся порой краеугольным камнем в обеспечении суверенитета и безопасности государства, при создании которого необходим точный и взвешенный подход к определению и выполнению требований и ограничений не ниже и/или выше мирового уровня на всем жизненном цикле (ЖЦ) включая проектирование, производство и эксплуатацию нам необходима современная технология его создания и эксплуатации.

Одной из таких технологий создания ИВСТС является, подход и метод на основе системного, логического анализа и синтеза с позиций системного инжиниринга, на основе цифровых двойников изделий [2]. Решение проблемы создания ИВСТС с применением методов и технологии системного инжиниринга, идет путем формирования водопада требований и лестницы синтеза в виде V-диаграммы создания изделия, где происходит формирование многоуровневых матриц требований и ресурсных ограничений на основе цифровых двойников изделий (ЦД) [3] для ИВСТС как сложной технической системы, путем выработки устойчивых, непротиворечивых решений, отвечающих всему набору предъявляемых требований, ограничений и характеристик.

Предлагаемый путь создания новых образцов ВВСТ с применением многоуровневой матрицы и цифровой модели изделия в виде ЦД [4] позволяет снизить риски выполнения ОКР по разработке высокотехнологичных образцов изделий на основе концепции системной инженерии [5] в составе: Система, ЖЦ, Заинтересованные стороны и новой концепции — ЦД изделий [2]. Концепции и принципы системной инженерии совместно дают обоснование метода системной инженерии, позволяющего сторонам и участникам определить: что, когда, как и с чем делать, чтобы создать изделие как систему с высокой степенью технологической сложности. Причем концепции — формируют мышление системного инженера, принципы — задают правила и нормы, тем самым обеспечивают обоснования метода системной инженерии, являющегося одновременно руководством и инструментом

для принятия реализации непротиворечивых решений на протяжении жизненного цикла [6].

Подходы к созданию ИВСТС от системного инжиниринга до цифровых двойников.

Системный инжиниринг или системная инженерия рассматривается, с одной стороны, как научно-методологическая дисциплина, изучающая и решающая проблемы проектирования и применения структурно сложных, крупномасштабных, человеко-машинных и социотехнических систем [6]. С другой стороны — в публикации [7] системная инженерия определяется как: «междисциплинарный подход к преобразованию потребностей пользователей в определение системы, ее архитектуру и дизайн посредством итеративного процесса, результатом которого является эффективная операционная система». Отсюда, разработчику ИВСТС необходимо применять методологию системного подхода, охватывающую как выявление, исследование и удовлетворение потребностей заказчика, так и определение технических показателей и характеристик, путей их обеспечения при реализации решений на всем ЖЦ с учетом стоимости и сроков изготовления. Ключевыми составляющими методологии системного подхода являются:

1. Определение цели или описание проблем создания системы;
2. Разработка требований и критериев, предъявляемых к системе;
3. Синтез системы;
4. Анализ системы;
5. Выбор системы;
6. Реализация системы [8].

Более подробно рассмотрим вторую, третью и четвертую составляющие, первую составляющую в части касающейся описания системы уже рассматривали в [9].

С третьей стороны по определению: «Системная инженерия — междисциплинарный подход, определяющий исчерпывающий набор технических и управленческих усилий, необходимых для преобразования совокупности потребностей заинтересованной стороны, ожиданий и ограничений в решение и для поддержки этого решения на протяжении его жизни» [10]. Следовательно решения создания ИВСТС на протяжении всего ЖЦ возможны, если скоординирована работа всех заинтересованных сторон, представляющих цели и задачи, и выполняющих

требования ТТЗ с учетом ограничений и целевых показателей.

Весь жизненный цикл системной инженерии показан в виде V-диаграммы в [5, 16] для демонстрации разбиения практик жизненного цикла системы на практики ее определения и воплощения. В соответствии с [16] сформируем V-диаграмму создания ИВСТС (рис. 1), где стейкхолдеры и заказчик — лица принимающие решения (ЛПР) вверху на правой ветви, обеспечивают возможности на левой ветви так что формируют или фокусируют внимание в соответствии с потребностями на набор требований для создания системы — ИВСТС. Потребности ЛПР, расположенные в левой верхней части V-диаграммы, фокусируют (определяют) требования в средней части левой ветви.

Далее требования определяют архитектуру, которая в свою очередь определяет не архитектурную часть, в нашем случае проектную и/или рабочую конструкторскую документацию (РКД) [11] на макет и/или опытный образец и рабочую технологическую документацию (ТД) [12]. Таким образом на левой ветви V-диаграммы имеем «водопад запросов» идущий от нужд ЛПР до конструкторско-технологической документации (ветвь Анализ — Определение), имеющий следующие составляющие и их функции, где стейкхолдеры определяют требования, которые определяют, архитектуру, которая определяет структуру, которая определяет не архитектурные инженерные решения, они определяют РКД, которая определяет ТД, которая обеспечивает изготовление изделия (опытный образец). На правой ветви V-диаграммы ЛПР устанавли-

вают порядок использования и применения всей системы ИВСТС, в виде требований по реализации системы, которые валидированы с требованиями, архитектурой и структурой на левой ветви V-диаграммы соответственно. В свою очередь система ИВСТС имеет подсистемы, которые верифицированы с архитектурными решениями. Подсистемы содержат части декомпозированные до уровня деталей, которые верифицированы с не архитектурными (инженерными) решениями в виде КД и ТД.

Таким образом «водопад запросов» ЛПР (Анализ и Определение) сбалансирован и имеет справа ответную часть в виде «лестницы синтеза» — воплощения (Синтез и Воплощение), необходимой для их реализации на каждом из соответствующих уровней: изготовление по ТД деталей; сборка по КД подсистемы и удовлетворение требований; сборка системы и удовлетворение требований; удовлетворение требований на порядок использования и применения.

Необходимо отметить, что V-диаграмма является следствием классической «Водопадной модели». Поэтому для разработки ИВСТС следует учитывать ситуации, когда проблема, упущенная на этапе формирования требований системы, обнаруживается на этапе внедрения. Тогда возникает потеря большого количества труда, на ее поиск и появление дополнительных затрат на доработку сложной системы. Главным недостатком является то, что требования формулируются до начала этапа разработки ИВСТС, что невозможно в силу сложности разрабатываемого изделия, так как в ходе проектирования ИВСТС существует в среднесрочном периоде высокая

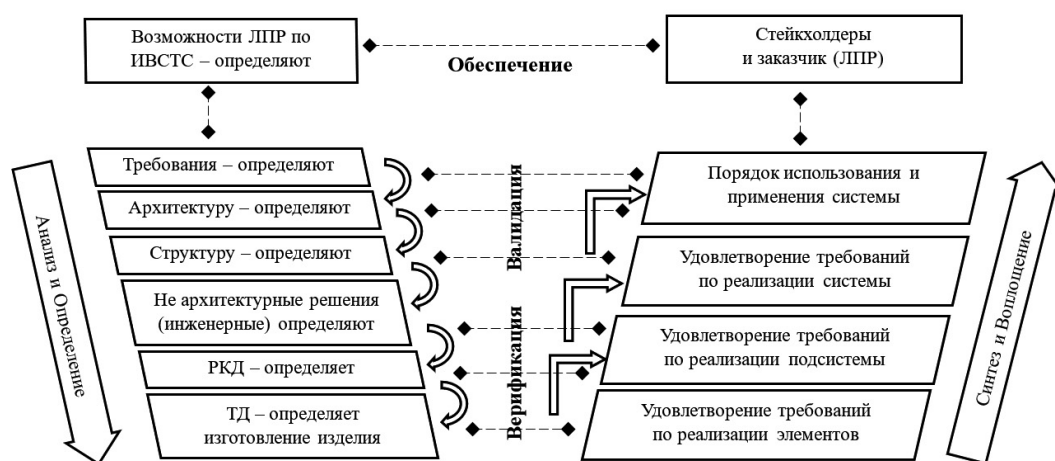


Рис. 1. Водопад запросов и лестница синтеза создания ИВСТС

динамика изменения требований по его применению и использованию.

Эту проблему по доработке системы частично решает «Итеративная водопадная модель», где по обратной связи можно сразу переработать фазу разработки с ошибкой. Существует «Спиральная модель» [13], где каждая итерация содержит: анализ требований, проектирование, разработку, тестирование, оценку рисков. Такая модель используется в разработке программного обеспечения для сложных и больших проектов, являющаяся сложной в применении и затратной в силу зависимости от анализа рисков. Основным преимуществом V-диаграммы является возможность проводить глубокую декомпозицию требований к ИВСТС с уровня мета на уровни мега, макро, мезо вплоть до уровней микро и даже до уровней внутренних свойств материалов [14, 15]. Это существенно важно на критических нагрузках и в закритических режимах работы изделия.

Для оценки категории «метод» в [16] выделяют: Системную инженерию — System Engineering, Системную разработку — System Implementation и Управление проектами/системами — Project / Systems Management, и назы-

вают «методами» (рис. 2). Где методы системной инженерии в совокупности представляют собой набор пересекающихся множеств, сфер деятельности системных инженеров и других специалистов, занятых созданием ИВСТС, которые состоят из взаимно пересекающихся подмножеств в виде облачных структур с подразделением на Системную инженерию, Системную разработку и Управление проектами/системами (УПС).

С целью проведения системно-логического анализа и построения V-диаграммы создания ИВСТС выделим на рис. 2 жирной рамкой следующие части, две ветви — левую и правую, а также перемычку между ними:

1. Левая ветвь в разделе Системная инженерия (СИ) набор методов: от Анализа потребностей и возможностей до Анализа развилки, моделирование и симуляции;

2. Правая ветвь в разделе Системная разработка (СР) аналогично: от Подготовки производства до Тестирования;

3. Перемычка в разделе, где пересекаются СИ+СР+УПС содержит: гарантии качества (QA), проверка и приемка (V&V), постоянные улучшения.

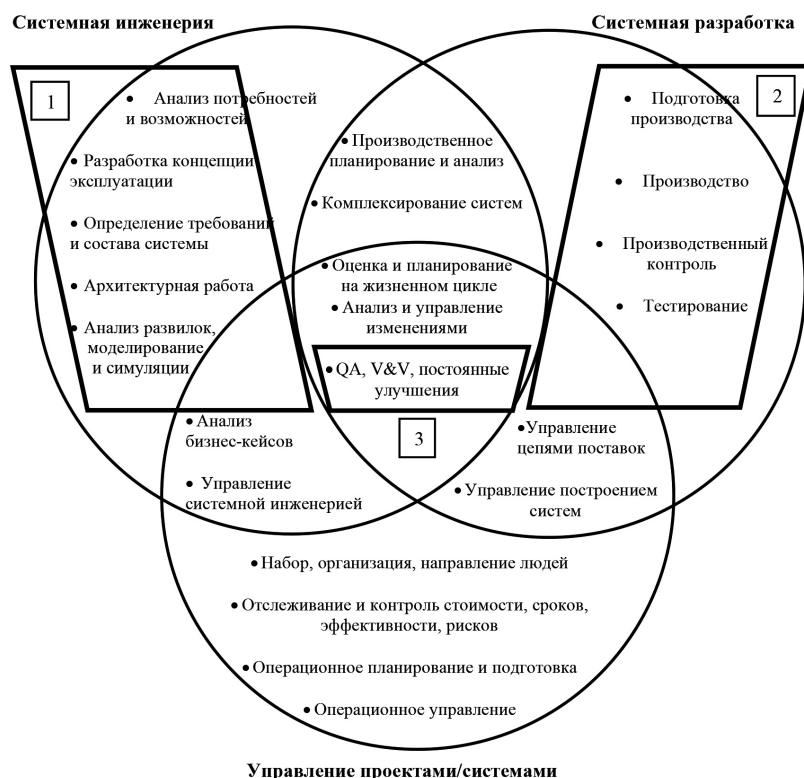


Рис. 2. Методы системной инженерии

Таким образом легко заметить, что ранее выделенные части: Системная инженерия и Системная разработка (СИ+СР) являются левой и правой частями V-диаграммы системной инженерии, которая используется для разработки сложных систем [16].

V-диаграмма создания ИВСТС на основе цифровых двойников.

Для эффективной работы создателей ИВСТС по всем каскадам «водопада запросов» — определения и «лестницы синтеза» — воплощения (рис. 1) потребуется координация и регламентация работы, включая установление постоянной обратной связи с лицами, принимающими решения — стейкхолдерами и заказчиками, которые нуждаются в требованиях, сфокусированных на их нуждах. Особенно это необходимо со стейкхолдерами с высоким уровнем важности и влияния. Поэтому, например Макс Кларксон, относит к первостепенным сторонам (стейкхолдерам) те из заинтересованных сторон, без чьего постоянного участия компания не сможет существовать [17].

С целью обеспечения требуемых свойств и характеристик на всем ЖЦ сформируем обобщенную V-диаграмму создания ИВСТС (рис. 3). На левой части диаграммы показано в нисходящей ветви «водопад запросов», на правой части в восходящей ветви — «лестница синтеза». Где, начиная с «водопада запросов», первоначально производится Анализ изготовления и возможностей создания ИВСТС (рис. 3). Потом происходит Разработка Концепции (ИВСТС), Определение требований и состава Системы (ИВСТС), Архитектурная работа (ИВСТС), Анализ развилки, моделирование и симуляции (ИВСТС), Подготовка производства (ИВСТС).

ИВСТС), далее — Архитектурная работа (архитектура ИВСТС). После чего выполняется Анализ развилки, моделирование и симуляции (анализ развилки создания и моделирование использования, применения ИВСТС с учетом работы внутренних факторов и воздействия внешних факторов). Наконец Подготовка производства — разработка РКД и ТД завершает левую ветвь.

В основании диаграммы (по аналогии с Методами СИ, рис. 2) находятся Гарантии качества, проверка и приемка, постоянные улучшения, как процесс, в рамках которого разрабатывается РКД и ТД. В правой части диаграммы — восходящая ветвь «лестница синтеза». Сначала Производство (изготовление деталей, узлов и агрегатов ИВСТС в соответствии с РКД и ТД), далее выполняется Производственный контроль (валидация), Синтез (сборка ИВСТС) и Тестирование (верификация — приемка продукции [18]). В завершении правой ветви по результатам испытаний и приемки стейкхолдеры и заказчик принимают готовое ИВСТС и передают его в эксплуатацию потребителю, пользователю (рис. 3).

С целью улучшения системы необходимо вести работу с требованиями, начиная с анализа исходных данных. В случае, если применяется V-диаграмма для улучшения (модификации) системы и модификация системы инициируется на низком уровне системной иерархии левой ветви, то и система будет иметь меньший уровень соответствия требованиям стейкхолдера [19], в нашем случае — Заказчика на правой ветви. В случае проведения улучшений на более низких уровнях: Архитектурная работа или Анализ

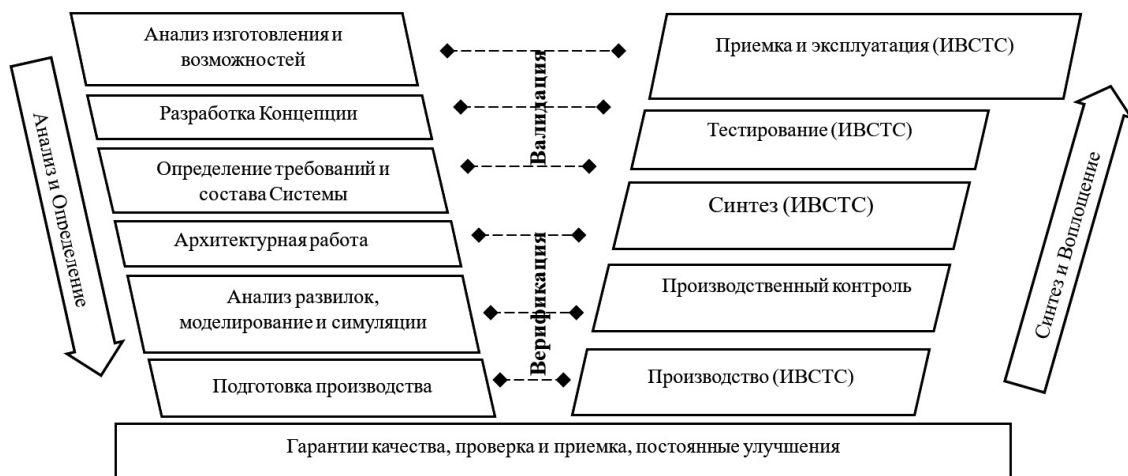


Рис. 3. V-диаграмма создания ИВСТС в системном инжиниринге

развилки, моделирование и симуляции, требуется соответственно изменение «родительских» требований системного уровня, что может породить создание новой подсистемы [17].

Поэтому процесс формирования требований должен содержать этап выявления заинтересованных сторон (стейкхолдеры, заказчик), и документирование их потребностей, включая условия и ограничения на всем ЖЦ [20]. Процесс управления требованиями, включая их изменения в соответствии с этапом ЖЦ, имеет особенности: исходные требования разрабатываются в ходе формирования концепции ИВСТС и аванпроекта; проектные требования уточняются на этапе эскизного проекта и дополняются на этапе технического проекта [21]. Разработку требований для ИВСТС в силу высокой степени сложности и необходимости их глубокой декомпозиции целесообразно вести в виде многоуровневой матрицы требований, целевых показателей и ресурсных ограничений на специальной цифровой платформе CML-Bench® [22]. Причем требования к ИВСТС могут быть как задокументированы, так и в виде цифровой модели изделия и/или его составных частей, могут быть представлены в виде многоуровневых матриц требований, целевых показателей и ресурсных ограничений цифровых двойников изделий [15].

Отметим, что для сложных наукоемких изделий создаются и поддерживаются компьютерные модели на основе методов аналитической и дифференциальной геометрии, алгебры логики и топологии, механики твердого тела, вычислительной математики и др., которые реализуются наилучшим образом с помощью ЦД, позволяющего ответить на два вопроса:

1. Что происходит с изделием сейчас?;
2. Что будет с изделием в будущем если на него будет оказано внешнее воздействие и/или произойдут внутренние изменения?

Здесь важен как процесс формирования матрицы целевых показателей и ресурсных ограничений, описывающих изделие, также важно управление требованиями и на всей V-диаграмме. Это возможно применяя платформу CML-Bench® позволяющую «... осуществлять декомпозицию изделия как сложной технической/киберфизической системы на подсистемы, компоненты, узлы, детали и сборочные единицы,

осуществлять детализацию требований, формировать целевые показатели, учитывать ресурсные ограничения (в первую очередь технологические и производственные), проводить балансировку требований и целевых показателей ...» [22].

Таким образом V-диаграмма разработки ИВСТС должна основываться на многоуровневой матрице требований, целевых показателей и ресурсных ограничений на основе ЦД, что позволяет «... организовать процесс «цифровой сертификации» — специализированный бизнес-процесс, основанный на тысячах / десятках тысяч виртуальных испытаний как отдельных компонентов, так и всей системы в целом, целью которого является прохождение с первого раза всего комплекса натурных, сертификационных, рейтинговых и прочих испытаний» [14]. Тем самым кратно сократить затраты на создание опытных образцов ИВСТС ВВСТ и принять их к серийному производству и далее в эксплуатацию и/или на снабжение с первого предъявления.

Заключение

Разработка ИВСТС ВВСТ на основе V-диаграммы системной инженерии и ЦД дает снижение временных, финансовых и иных ресурсных затрат в десять раз и более за счет заранее выявленных и декомпозированных требований, целевых показателей и ресурсных ограничений для архитектурных решений и оценки развилки, обеспечивает выполнение цифровой валидации и верификации ИВСТС ВВСТ при параллельной организации работ с натурными испытаниями, что является критичным для систем с высокой степенью технологической сложности, как по срокам создания и стоимости, так и по уровню ответственности разработчика за их работу в период эксплуатации и применения.

Литература

1. Стенограмма заседания дискуссионного клуба «Валдай». URL: <http://prezident.org/tekst/stenogramma-zasedaniya-diskussionnogo-kluba-valdai-05-10-2023.html> (дата обращения: 09.10.23).
2. ГОСТ Р 57700.37–2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники

изделий. М.: Российский институт стандартизации. 2021. 15 с.

3. Боровков А. Цифровые двойники в условиях четвертой промышленной революции // Журнал «Connect WIT». 2021 № 01–02. С. 50–53. URL: https://www.connect-wit.ru/izdaniya-connect.html#flipbook-df_59223/52/ (дата обращения: 09.10.2023).

4. Кулемин В.Ю. К вопросу о системном инжиниринге при создании изделий высокой степени технологической сложности вооружения военной и специальной техники на основе цифровых двойников // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2023. № 2 (127). С. 89–94.

5. ГОСТ Р 57193–2016. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла систем. М.: Стандартинформ. 2016. 98 с.

6. Системная инженерия. Статья. Большая российская энциклопедия. <https://bigenc.ru/c/sistemnaia-inzheneriia-8275fd> (дата обращения: 11.10.2023).

7. Committee on Pre-Milestone A Systems Engineering, 2009, Pre-Milestone A and Early-Phase Systems Engineering: A Retrospective Review and Benefits for Future Air Force Acquisition, The National Academies Press. <https://nap.nationalacademies.org/catalog/12065/pre-milestone-a-and-early-phase-systems-engineering-a-retrospective> (дата обращения: 05.10.2023).

8. Miles R.F., Systems Concepts. Wiley, New York, 1973. S. Ramo, R. St. Clair. The Systems Approach: Fresh Solutions to Complex Civil Problems Through Combining Science and Practical Common-Sense Hardcover — KNI, Incorporated, Anaheim, California, 1998. 248 p.

9. Кулемин В.Ю. К вопросу формирования замысла и описании при создании изделий высокой степени технологической сложности вооружения военной и специальной техники на основе цифровых двойников // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2023. № 1 (131). 116–121.

10. ISO/IEC/IEEE 24765:2017. Systems and software engineering—Vocabulary.

11. ГОСТ 2.103–2013. Единая система конструкторской документации. Стадии разработки. М.: Стандартинформ. 2013. 8 с.

12. ГОСТ 3.1109–82. Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий. М.: Стандартинформ. 2012. 15 с.

13. Barry Boehm. Spiral Development: Experience, Principles, and Refinements Article July 2000. URL: <https://www.researchgate.net/publication/235035976> (дата обращения: 07.12.23).

14. Боровков А.И., Рябов Ю.А., Гамзикова А.А. Цифровые двойники в нефтегазовом машиностроении // Журнал «Neftegaz.Ru». 2020. № 6 (102). С. 35. URL: https://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2020/06_june/29/neftegaz-18-21.pdf (дата обращения: 25.10.23).

15. Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности: монография. Боровков А.И. [и др.]. СПб: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. 492 с.

16. Электронный ресурс. V-диаграмма Systems Engineering Thinking Wiki (sewiki.ru) (дата обращения: 12.10.2023).

17. Clarkson M.E. A stakeholder framework for analyzing and evaluating corporate social performance//Academy of management review. 1995. Vol. 20. N. 1. Pp. 92–117 [Электронный ресурс] https://www.jstor.org/stable/258888?seq=1#page_scan_tab_contents (дата обращения: 14.09.22).

18. ГОСТ 15.309–98. Система разработки и постановки продукции на производство. Основные положения. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. 1998. 16 с.

19. ГОСТ Р 59194–2020 Управление требованиями. Основные положения. М.: Стандартинформ. 2020. 19 с.

20. Pyster A., Olwell D., Hutchison N., Enck S., Anthony J., Henry D. and Squires A. (eds). Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK) version 1.0. Hoboken, NJ: The Trustees of the Stevens Institute of Technology. 2012. 454 p.

21. ГОСТ Р 59193–2020 Управление конфигурацией. Основные положения. М.: Стандартинформ. 2020. 19 с.

22. Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников (Digital Twins). Испытания и приемка выпускаемой продукции. CML-Bench (часть 1) / А.И. Боровков [и др.] // САПР и графика. № 8. С. 42–51.

УДК: 517.977; 623.09

DOI: 10.53816/20753608_2024_2_44

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНЫХ ОБЪЕКТОВ ДИВЕРСИОННЫХ ДЕЙСТВИЙ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ АНТИДИВЕРСИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

A MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINING THE LIKELY OBJECTS OF SABOTAGE ACTIONS WHEN PLANNING ANTI-SABOTAGE MEASURES

Академик РАН М.В. Сильников, В.И. Лазоркин

АО «НПО Спецматериалов»

M.V. Silnikov, V.I. Lazorkin

Рассматривается задача формализованного определения уязвимых элементов объекта военной инфраструктуры при планировании антидиверсионных мероприятий. Приводятся сведения о тактике действия и типовом составе диверсионно-разведывательной группы. В заключение приводится пример расчета.

Ключевые слова: диверсионно-разведывательная группа, антидиверсионные мероприятия, переносные средства поражения, средства активной защиты.

The problem of formalized determination of vulnerable elements of military infrastructure object in planning anti-diversion measures is considered. Information on the tactics of action and typical composition of a sabotage-intelligence group is given. In conclusion, an example of calculation is given.

Keywords: sabotage and reconnaissance group, anti-sabotage measures, portable means of destruction, means of active protection.

Введение

Диверсионно-разведывательные группы (ДРГ), которые могут забрасываться на территорию Российской Федерации в угрожаемый период и в начальный период боевых действий, представляют серьезную угрозу для объектов военной инфраструктуры.

В отличие от регулярных армейских подразделений, ДРГ, как правило, действуют скрытно из засад, применяя оружие из-за пределов охраняемого периметра объектов, стремясь достигнуть внезапности. Поэтому существующие системы охраны объектов часто оказываются неэффективными [1].

Главными задачами ДРГ являются [2]:

– блокирование объектов путем вывода из строя технических средств охраны (ТСО), транс-

портных коммуникаций, кабельных линий связи и управления, организации засад и уничтожения подразделений усиления охраны и обороны объектов;

– уничтожение средств противовоздушной и противоракетной обороны с целью обеспечения эффективного воздействия на объекты средств поражения высокоточного оружия (СП ВТО);

– наведение средств воздушного нападения (СВН) на объекты с помощью инфракрасных и радиолокационных средств целеуказания;

– разведка результатов воздушных ударов по объектам;

– скрытное проникновение на объекты и транспортные коммуникации с целью установки взрывных устройств с последующим дистанционным подрывом;

– захват и уничтожение вооружения и военной техники.

При невозможности скрытного проникновения на объект и его минирования возможно открытое нападение ДРГ в виде налета, предусматривающего внезапное нанесение удара по объекту с применением переносных средств поражения (ПСП), быстрый выход ДРГ из боя и скрытный отход.

Для осуществления налета на объекты в составе ДРГ могут быть сформированы несколько групп со следующими задачами:

– группа огневой поддержки (2–3 чел.) — уничтожение огневых средств и личного состава подразделений охраны, огневая поддержка действий штурмовой группы, обеспечение ее выхода из боя и отхода, огневое противодействие подхода резерва сил охраны и обороны, установка минно-взрывных заграждений на маршрутах движения мобильных средств;

– штурмовая группа (3–4 чел.) — проникновение на объект и вывод из строя объекта с использованием взрывных устройств и ПСП;

– группа боевого обеспечения (3–4 чел.) — устройство засад и минно-взрывных заграждений на вероятных путях подхода резерва сил охраны и обороны, его уничтожения или сковывания огнем на время проведения налета и отхода других групп;

– группа разграбления (2–3 чел.) — проделывание проходов в системе охранных инженерных заграждений, уничтожение подразделений охраны.

Время нахождения штурмовой группы на рубеже налета может составить 0,5–2,0 часа [3].

ДРГ противника для решения своих задач могут использовать экстремистские и террористические группы.

Численность диверсионной (террористической) группы — 10–20 чел. В состав группы могут входить гранатометчики, пулеметчики, снайперы и радист.

В условиях ограниченных сил и средств обеспечения противодиверсионной устойчивости объекта со сложной структурой планирование антидиверсионных мероприятий представляет собой достаточно сложную задачу [4].

Целью статьи является формализация определения уязвимых элементов объекта со сложной структурой, что позволит оптимизировать рас-

пределение сил и средств для их охраны, обороны и защиты от диверсионных воздействий.

Математическая постановка задачи

Диверсионная группа, состоящая из J отделений, каждое из которых включает M_j диверсантов, вооруженных переносными средствами поражения и взрывными устройствами j -го типа, проникает на объект защиты с целью вывода его из строя.

Объект предназначен для выполнения № задачи и состоит из I элементов, взаимосвязь которых характеризуется матрицей связности $\|a_{i,k}\|_{I \times I}$, компоненты которой $a_{i,k}$ — вероятность выхода из строя k -го элемента при условии выхода из строя i -го элемента.

Каждый i -й элемент характеризуется коэффициентом важности V_i .

Диверсионная группа совершает последовательно Ω нападений на объект. Диверсант из j -го отделения, проникает к i -му элементу и выводит его из строя с вероятностью $P_{j,i}$.

Вероятность сохранения объектом возможности выполнения n -й задачи при v -м нападении диверсантов:

$$F_n^v(m_v) = \prod_{k=1}^I \left(1 - a_{k,n} \cdot \left(1 - \prod_{j=1}^J (1 - P_{j,k})^{(m_{j,k}^t + x_{j,k}^t)} \right) \right), \quad t = \overline{1, T}; \quad n \in G; \quad (1)$$

где $m_{j,k}^t$ — число диверсантов j -го подразделения, воздействующих на k -й элемент при t -м нападении на объект;

$x_{j,k}^t$ — суммарное число диверсантов j -го подразделения, воздействующих на k -й элемент за все предшествующие $(t-1)$ нападений на объект:

$$x_{j,k}^t = \sum_{l=1}^{t-1} m_{j,k}^l; \quad (2)$$

T — количество нападений на объект;

$G = n_1, \dots, n_N$ — множество номеров элементов, функционирование которых обеспечивает решение объектом возложенных на него задач.

Решение задачи определения наиболее вероятных целей диверсионных воздействий на объект может осуществляться при двух постановках.

Первая: если известны состав ДРГ, значения коэффициентов относительной важности решения объектом возложенного на него задач V_i

таких, что $0 \leq V_i \leq 1$, $i \in G$, $\sum_{i=n_1}^{n_N} V_i = 1$, и желательные для противника значения вероятностей решения объектом соответствующих задач, то определить оптимальное для противника распределение диверсантов по элементам объекта (целям диверсий), при котором минимизируется суммарная важность решаемых объектом задач при условии выполнения упомянутых ограничений:

$$W_t^*(m_t) = \min_{m_t} \sum_{n=n_1}^{n_N} V_n \cdot F_n^t(m_t); \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^I m'_{j,k} \leq M'_j, \quad j = \overline{1, J}; \quad (4)$$

$$F_n^t(m_t) \leq f_n^t, \quad n \in G; \quad t = \overline{1, T}; \quad (5)$$

где $F_n^t(m_t)$ — вероятность сохранения объектом возможности выполнения n -й задачи после t -го нападения диверсантов (определяется выражением (1));

M'_j — число диверсантов в j -м подразделении при t -м нападении на объект;

f_n^t — желательная для диверсантов вероятность сохранения объектом возможности выполнения n -й задачи после t -го нападения на объект.

Вторая: относительная важность задач объекта и состав ДРГ неизвестны, но известны желатель-

ные для противника значения вероятностей решения объектом соответствующих задач. Тогда задача состоит в определении минимального состава ДРГ и распределения диверсантов по целям диверсий при условии выполнения требований ДРГ к вероятностям решения объектом своих задач и возможному ограничению по составу отделений ДРГ:

$$C(m_t) = \min_{m_t} \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^I m'_{j,k}; \quad (6)$$

$$F_n^t(m_t) \leq f_n^t, \quad n \in G; \quad t = \overline{1, T}. \quad (7)$$

В качестве примера определим наиболее уязвимые элементы комплекса обеспечения кораблей с берега следующими энергосредами:

A — газ высокого давления;

B, C — переменный ток 400 В 50 Гц, переменный ток 220 В 400 Гц;

D — воздух высокого давления;

E — постоянный ток 195–320 В;

F — пар технический;

G — холодная вода высокой чистоты;

S — вода высокой чистоты;

R — вода хозяйственно-питьевая.

Структурная схема живучести комплекса приведена на рисунке.

Значения коэффициентов важности элементов комплекса V :

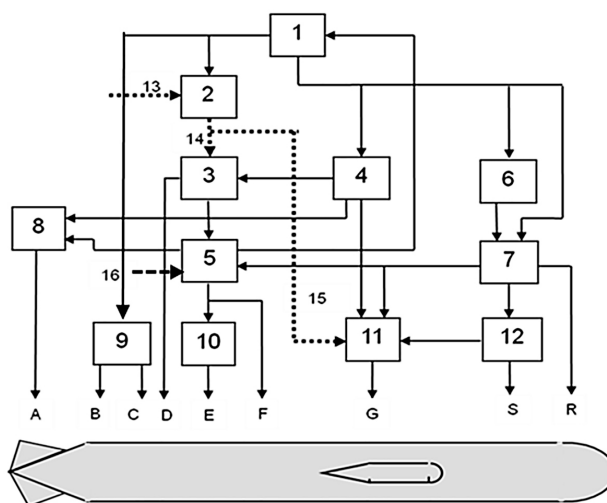


Рис. Структурная схема живучести комплекса обеспечения кораблей с берега основными энергосредами: 1 — резервная электростанция; 2 — морской водозабор; 3 — компрессорная станция; 4 — трансформаторная подстанция; 5 — технологическая котельная; 6 — насосная станция 1-го подъема; 7 — насосная станция 2-го подъема; 8 — азотодобывающая станция; 9 — трансформаторно-преобразовательная подстанция; 10 — зарядно-питательная станция; 11 — станция охлаждения воды высокой чистоты; 12 — станция получения воды высокой чистоты; 13, 14, 15 — трубопроводы морской воды; 16 — трубопроводы топлива

$$\mathbf{V}^T = (0,103 \ 0,031 \ 0,052 \ 0,052 \ 0,103 \ 0,072 \ 0,072 \ 0,062 \ 0,072 \ 0,072 \ 0,072 \ 0,072 \ 0,072 \ 0,072 \ 0,031 \ 0,031 \ 0,031).$$

Значения вероятностей вывода из строя элементов комплекса P :

$$\mathbf{P}^T = \begin{pmatrix} 0,8 & 0,8 & 0,6 & 0,6 & 0,5 & 0,7 & 0,7 & 0,6 & 0,5 & 0,5 & 0,5 & 0,5 & 0,5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,8 & 0,8 & 0,8 & 0,8 \end{pmatrix}.$$

Матрица связности:

$$\alpha = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

На комплекс ожидается два нападения диверсионной группы, состоящей из двух отделений. В первом отделении 7 диверсантов, во втором — 3. Диверсанты первого отделения вооружены ручными противотанковыми гранатометами (РПГ), диверсанты второго отделения — взрывными устройствами (ВУ).

Желательная для противника вероятность обеспечения кораблей каждой из энергосред — не более 0,1.

Результаты расчета целераспределения диверсантов по элементам комплекса при первой постановке задачи приведены в табл. 1, вероятности сохранения функций комплекса — в табл. 2.

Из данных табл. 2 следует, что наиболее вероятными целями диверсий являются:

– для диверсантов первого отделения: элементы № 1 — резервная электростанция, элемент № 5 — технологическая котельная, элемент № 7 — насосная станция 2-го подъема;

Таблица 1

Целераспределение диверсантов по элементам комплекса

Номер отделения	Число диверсантов, назначенных на элемент номер															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	2	0	0	0	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	0

Таблица 2

Вероятности сохранения функций комплекса

Вероятности сохранения функций								Вероятность сохранения всех функций комплекса
A	B, C	D	E	F	G	S	R	
0,125	0,04	0,20	0,125	0,011	0	0,09	0	0,063

Таблица 3

Целераспределение диверсантов по элементам комплекса

Номер отделения	Число диверсантов, назначенных на элемент номер															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	1	1	0	0	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 4

Вероятности сохранения функций комплекса

Вероятности сохранения функций								Вероятность сохранения всех функций комплекса
A	B, C	D	E	F	G	S	R	
0,125	0,20	0,20	0,125	0,011	0,018	0,09	0,018	0,095

— для диверсантов второго отделения — трубопроводы подачи морской воды соответствующим потребителям (элементы № 14, 15).

Рассмотрим вторую постановку задачи при ограничении на состав диверсантов в отделениях ДРГ: $M_1 \leq 7$, $M_2 \leq 5$.

Результаты расчета целераспределения диверсантов по элементам комплекса приведены в табл. 3, вероятности сохранения функций комплекса — в табл. 4.

Цели воздействия диверсий: элементы № 1 (резервная электростанция), № 2 (морской водозабор), № 5 (технологическая котельная), № 7 (насосная станция 2-го подъема).

Общее количество диверсантов в ДРГ — 7 чел., все в 1-м отделении.

В заключение отметим, что первая постановка задачи формулы (3)–(5) позволяет определить вероятные объекты диверсий и средства воздействия на них по информации о составе и вооружении ДРГ, вторая постановка формулы (6)–(7) — определить возможный состав ДРГ, наиболее вероятные объекты диверсий и сред-

ства воздействия на них, что обеспечивает возможность планировать не только мероприятия по охране и обороне этих объектов, но и мероприятия по их защите.

Литература

1. Некоторые вопросы противодиверсионных действий. 19.07.2017. Сайт: <https://topwar.ru/120811-nekotorye-voprosy-protivodiversionnyh-deystviy.html> (дата обращения: 28.02.24)
2. Организация, вооружение и тактика действий ДРГ армий основных иностранных государств. Сайт: <https://pereklichka.livejournal.com/1050109.html> (дата обращения: 28.02.24)
3. Зарицкий В.Н., Харкевич Л.А. Общая тактика: учебное пособие. Тамбов: Изда-во ТГТУ, 2007. 184с.
4. Лазоркин В.И., Сильников М.В. Методология оценки структурной устойчивости больших систем // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. Вып. 7–8 (121–122). 2018. С. 40–43.

УДК: 358.119.1

DOI: 10.53816/20753608_2024_2_49

**ПРИНЦИПЫ ИНДУСТРИИ 4.0 В ОЦЕНКЕ И ПОВЫШЕНИИ
ЗАЩИЩЕННОСТИ ВОЕННЫХ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН**

**THE PRINCIPLES OF INDUSTRY 4.0 IN ASSESSING AND IMPROVING
PROTECTION OF MILITARY TRACKED VEHICLES**

И.И. Баранов, С.А. Кислицын, чл.-корр. РАН Е.А. Хмельников, И.Д. Шадрин

НТИ (филиал) УрФУ

I.I. Baranov, S.A. Kislitsyn, E.A. Khmelnikov, I.D. Shadrin

Рассмотрены общие особенности численного моделирования процесса взаимодействия противотанковых средств с объектом, защищенным комплексной многослойной броней, а также предложен уточненный подход к классификации средств поражения, удобный для реализации в методиках численного моделирования.

Ключевые слова: боеприпасы, средства поражения, поражающие факторы, классификация, моделирование.

In the article authors consider the general features of numerical modeling of the process interaction between anti-tank weapons and object, protected by complex multilayer armor. Also, authors propose to clarify the approach of the classification for means of destruction.

Keywords: ammunition, damaging factors, classification, modeling.

Большинство авторов работ, посвященных решению задач защищенности [1–3], констатируют необходимость целостного взгляда на возрастающую сложность решения задач защищенности. При этом и для описания ситуаций решения огневых задач [4–8], и для анализа защищенности военной гусеничной машины (ВГМ) используется статистический подход [1–8].

Один из основоположников теории вероятностей А.Н. Колмогоров утверждал, что нет формализованного способа получить значение вероятности. Но если вероятность как-то определена, то тогда теория вероятностей определяет набор корректных действий, которые можно осуществлять с имеющимися вероятностями.

Вероятностные подходы к определению защищенности танков подробно и глубоко проработаны в работе «Защита танков» [2], но в этой работе даны лишь общие оценки факторов, влияющих на вероятности повреждений в ре-

зультате противодействия противника. Методы получения значений вероятностей не описаны.

С другой стороны, известен афоризм итальянского вероятностного статистика и актуария Бруно де Финетти: «Вероятности не существует», которым он выражал идею о том, что вероятность — это выражение взгляда наблюдателя на мир. И, таким образом, мы имеем не рефлексивную, а валюативную процедуру, и вынуждены прибегать к опросу экспертов, как источнику получения значения вероятности.

Кроме того, еще в 1948 году Уоррен Уивер в своей работе «Наука и сложность» утверждал, что «методы статистической механики действительны только тогда, когда они (объекты) распределены по своим положениям и движениям беспорядочно, то есть неорганизованно» [9]. Уоррен Уивер предостерегал от чрезмерного увлечения статистическими методами в случаях, когда вероятность событий существенно

упорядочиваются, например, корректируется поведением людей. Он провел различие между двумя формами сложности: неупорядоченной сложностью и упорядоченной сложностью. Явления «неупорядоченной сложности» рассматриваются с использованием теории вероятностей и статистической механики, в то время как «упорядоченная сложность» имеет дело с явлениями, которые требуют одновременного рассмотрения значительного числа факторов, взаимосвязанных в единое целое.

Из перечисленного можно сделать вывод, что сложность технического средства упорядоченная и ею следует управлять на основе подходов системного инжиниринга, а сложность взаимодействия с противником можно в первом приближении представить как неупорядоченную и в этом случае для нее необходимо получать значения вероятностей.

Современные открытые источники в качестве основы для задания значений вероятности ссылаются на данные, источником которых в итоге являются отчеты ЦНИИ-48 времен Великой Отечественной войны (ВОВ). Эксперты института осматривали подбитые машины в местах их ремонта. Так, осенью 1942 года были изучены поражения 178 танков, среди которых большая часть была подбита. Машины осматривались на московских рембазах № 1, № 6 и № 112. На этой основе в работе [6] постулируется следующее: «В качестве объекта оптимизации рассматривают всю совокупность средств (элементов комплекса), участвующих в выполнении огневых задач и непосредственно влияющих на эффективность их выполнения. Выбор более частной модели для решения рассматриваемой задачи оптимизации не оправдан, так как каждый элемент комплекса вносит свой вклад в выполнение огневой задачи, однако самостоятельно ее выполнить не может» [6]. На сегодня этот постулат не соответствует действительности.

Характер современных боевых действий не соответствует картинам, представляющим собой столкновения нескольких фронтов с концентрацией 300 стволов на 1 км фронта и удары танковой дивизией или армией. Речь сегодня идет о боях мобильных групп среди опорных пунктов. При этом каждая боевая единица представляет собой существенную часть боевого ресурса, а решение каждого командира

танка меняет картину боя. Каким образом получить распределение вероятностей поражения для различных проекций и зон ВГМ в современном бою? Сегодня вместо опроса экспертов можем применить интерактивную симуляцию. Для реализации динамического моделирования, а возможно и для инструментов оперативного управления, вполне пригоден программный аппарат, разработанный в так называемых *real-time strategy* (RTS — стратегиях реального времени). Только в качестве юнитов будут выступать цифровые двойники комплексов вооружения, а эксперты будут ими управлять.

Симуляция предполагает виртуализацию исследуемой системы, а наиболее полно данные методы описаны в идеологии «Индустрия 4.0». Насыщение современного поля боя комплексами вооружений (КВ), имеющими в своем составе разведывательные, ударные и информационно-управляющие комплексы, позволяет применить к разработке и применению компонентов КВ принципы Индустрии 4.0.

Тобиас Пентек, Марио Херман из университета Санкт-Галлена и Борис Отто из Дортмундского технического университета в работе «Сценарии и принципы проектирования для Industry 4.0» [10] дают следующее определение: «Индустрия 4.0 — это собирательный термин для технологий и концепций организации цепочки создания стоимости».

В рамках модульно структурированных интеллектуальных фабрик Индустрии 4.0, киберфизические системы (КФС) отслеживают физические процессы, создают виртуальную копию физического мира и принимают децентрализованные решения. С помощью интернета вещей (IoT — Internet of Things) КФС общаются и сотрудничают друг с другом, а также с людьми в режиме реального времени. С помощью IoT участники цепочки создания стоимости предлагают и используют как внутренние, так и межорганизационные услуги [10].

Несложно интерпретировать данное представление в перспективы развития цифрового поля боя. В результате получается следующая формулировка. Интерпретируя данное определение для описания высокотехнологичного противостояния, можно сформулировать, что цифровое поле боя — это собирательный термин для технологий и концепций, направленных на

организацию связанной последовательности выполнения боевых задач.

В рамках модульно структурированных интеллектуальных КВ киберфизические системы отслеживают физические процессы, создают виртуальную копию физического мира и готовят децентрализованные решения. С помощью интернета вещей КФС общаются и сотрудничают друг с другом и с людьми в режиме реального времени. С помощью интернета вещей подразделения, участвующие и обеспечивающие выполнение боевых задач, информируют друг друга о тактической обстановке. При этом совместно используют как внутренние силы и средства, так и средства усиления.

Пример такой модели цифрового поля боя с цифровыми двойниками комплексов вооружения представлен на рис. 1.

ВГМ в такой интерпретации представляют собой классические киберфизические системы, и, исходя из этого, к ним применимы требования интероперабельности, виртуализации и возможности распределенного управления в реальном времени.

Интероперабельность — это характеристика объекта, описывающая его пригодность для работы с другими объектами или системами. Первоначально этот термин был определен для

услуг в области информационных технологий, обеспечивающих обмен информацией, в дальнейшем термин применен в системной инженерии, а сейчас это понятие получило более широкое определение и включает в себя большинство факторов, влияющих на межсистемные взаимодействия.

Типы интероперабельности включают в себя семантическую интероперабельность — способность киберфизических систем (например, боевых машин разного типа) взаимодействовать друг с другом, и междоменную интероперабельность — способность нескольких комплексов вооружений работать вместе и обмениваться информацией без необходимости вмешательства операторов для ее конвертации. Помимо способности двух или более компьютерных систем обмениваться информацией, интероперабельность — это способность киберфизических систем автоматически интерпретировать информацию, которой они обмениваются, для получения полезных результатов, определенных конечными пользователями указанных систем. Для достижения семантической интероперабельности все стороны должны ссылаться на общую эталонную модель обмена информацией. Содержание запросов на обмен информацией определено однозначно — то, что отправляется, совпадает с тем, что принимается.



Рис. 1. Цифровое поле боя

Интероперабельность поиска означает возможность поиска по двум или более информационным системам с помощью одного запроса.

Принципы построения семантической интероперабельности при моделировании ударных возможностей КВ изложены в статье «Боеприпасы, средства поражения и поражающие факторы. Общность и различия понятий для целей математического моделирования» [11]. Для ее достижения требуется переход от необходимости описания видов боеприпасов к формируемым ими средствам поражения, а задачу взаимодействия с целью решать, анализируя поражающие факторы, характеризующие каждое средство поражения. Это позволяет ограничить семантику ударных средств всего восьмью поражающими факторами: ударный, фугасный, бризантный, кумулятивный, термический, электромагнитный, проникающие излучения, химический [11].

Междоменная интероперабельность предполагает взаимодействие для обмена информа-

цией множества социальных, организационных, политических, юридических лиц, работающих вместе ради достижения общей цели. Междоменная интероперабельность при моделировании защищенности ВГМ требует однозначного соответствия терминов, описывающих возможности ударных средств, терминам, характеризующим защитные свойства ВГМ.

Используемые в ГОСТах и литературе термины, относящиеся к защищенности и ударным возможностям, можно разделить на 3 группы: объекты, события, свойства.

Объекты: броня, боеприпасы, средства поражения, средства доставки, преграды, защитные структуры, цели, артиллерийские выстрелы, КВ, броневые преграды (табл. 1).

События: выстрелы из орудия, поражения цели (подавление, уничтожение), поражения преграды (кондиционные и некондиционные), поражения танка при условии попадания, повреждение, ущерб, вред, отказ, разрушение, проникание (табл. 2).

Таблица 1

Классификация объектов

Объекты	Структурный (физический)	Процессный (преобразующий)	Функциональный (абстрактный)	Определение термина	Свойства
Боеприпасы (БП)	1			Расходная часть ударных средств комплекса вооружений, содержащая: разрывной, метательный, пиротехнический, вышибной заряды или их сочетание [12]	Тип, класс, вид, калибр, используемые средства доставки
Средства поражения (СП)		1		Объект, возникающий в результате применения боеприпасов в процессе функционирования вооружения, непосредственно предназначенные для воздействия на защищаемый объект [11]	Могущество — способность причинять ущерб требуемого уровня объекту поражения; характеризует их действие у цели. Спектр поражающих факторов, способных преодолевать защиту выбранной цели — наносить ущерб или причинять вред
Поражающий фактор (ПФ)			1	Параметризованная модель физического явления, причиняющего ущерб или вред [11]	Мощность, спектр
Средства доставки и носители		1		Ударные средства комплекса вооружений	Дальность, скорость, точность, грузоподъемность

Объекты	Структурный (физический)	Процесный (преобразующий)	Функциональный (абстрактный)	Определение термина	Свойства
Комплекс вооружений (КВ)			1	Совокупность ударных, управляющих, разведывательных и обеспечивающих образцов ВВСТ для самостоятельного выполнения боевых задач	Огневая мощь — способность ударных средств комплекса вооружений наносить поражения
Военная гусеничная машина (ВГМ)	1			Вооруженная самоходная машина с гусеничным двигателем	Работоспособность, (боеспособность), защищенность — свойство изделия снижать вред от ПФ определенных СП стойкость — свойство сохранять работоспособное состояние во время и после воздействия на изделие комплекса ПФ определенного СП
Защитная структура	1			Конструктивный элемент брони	ПКП — максимальные параметры ударника (скорость, угол встречи от нормали) при которых преграда остается кондиционной, после поражения; ПСП — толщина монолитной брони, пробиваемой снарядом насквозь при условии полного расходования его энергии на пробитие; ППС — частота получения кондиционных поражений монолитной броней, имеющей заданную толщину
Броня			1	Комплекс конструктивных элементов, специально предназначенный для предотвращения распространения ПФ внутрь конструкции	Противоосколочная, противопульная, противоснарядная
Преграда броневая		1		Граница для ПФ, разрушающий ПФ повреждает преграду, проникающий ПФ преобразуется по уровню и виду	Живучесть — способность сохранять защитные свойства после многократного воздействия ПФ
Цель			1	Информационный сигнал, ориентирующий на объект возможного удара оружием	Координаты, подвижность, защищенность, опасность
Оборудование ВГМ	1			Взаимное расположение и закрепление компонентов структуры изделия (компоновка)	Устойчивость — способность сохранять работоспособное состояние во время действия на него определенного ПФ; прочность — способность сохранять работоспособное состояние после воздействия на него определенного ПФ
Защита			1	Пространство за броней	Снижение действия ПФ

Таблица 2

Классификация событий

События	Объект	Определение	Степени
Попадание	ВГМ	Последствия удара оружием, реализованная угроза, воздействие ПФ на объект	Опасное, не опасное
Поражение	Защитная структура	Воздействие ПФ на объект нанесения ущерба	Кондиционное, некондиционное
Повреждение	ВГМ	Нарушение исправного состояния при сохранении работоспособности	Перечень деградировавших функций
Ущерб	ВГМ	Снижение ценности, деградация	Полный, частичный, нулевой
Вред	Экипаж	Нарушение здоровья	Степень превышения предельно допустимого уровня (ПДУ) вредного воздействующего фактора
Отказ	Оборудование ВГМ	Нарушение работоспособности в результате дефекта, поражения или износа	Полное, частичное, временное, постоянное
Пробитие	Защитная структура	Некондиционное поражение всех преград защитной структуры	Сквозное — с прониканием первичного ПФ; частичное
Разрушение	Преграда броневая	Действие по нарушению целостности преграды	Полное, пробитие, ущерб
Проникание	Броня	Мера прохождения ПФ через броню	Отсутствие, допустимое, недопустимое

Свойства: устойчивость, прочность, живучесть, защищенность, стойкость, работоспособность, неработоспособность, огневая мощь, могущество по цели, поражающее действие боеприпаса, мощности поражающих факторов боеприпаса, сопротивляемость цели, вид и степень защищенности цели, боеспособность, бронепробивная способность, защита от бронепробивающих средств, сохранение боеспособности экипажа, непоражение боекомплекта, жесткость, стойкость узлов и деталей, бронепробиваемость, противоснарядная и противоккумулятивная стойкость.

Налицо полное отсутствие семантической интероперабельности между аспектами поля боя со стороны нападения и со стороны защиты, например, термином «поражение» обозначаются совершенно разные события, при этом критерии эффективности не являются независимыми от условий оценки и не безразмерны.

Для целей моделирования предлагается однозначно классифицировать термины и их отно-

шения между собой, не выходя за пределы традиционной терминологии.

Для иллюстрации рассмотрим востребованность семантической интероперабельности при необходимости совместного рассмотрения производственной, функциональной и конечно-элементной моделей на примере изготовления, доставки, использования и оценки результатов применения по назначению артиллерийского выстрела с бронебойным подкалиберным снарядом (БПС) для танкового орудия.

Производство, хранение и применение боеприпасов:

1. Изготовление изделий 3БМ42 на механическом заводе (рис. 2): изготовление и сборка корпуса активной части, ведущего устройства и стабилизатора; хранение и перевозка на завод, имеющий лицензию на производство боеприпасов;

2. Снаряжение выстрела 3ВБМ17 (рис. 3): сборка бронебойного подкалиберного снаряда, состоящего из 3БМ42, порохового заряда, трасера и сгораемой гильзы, а также метательного



1

4. Заряжание артиллерийского выстрела в систему 2А46, наведение и производство выстрела из танкового орудия (рис. 4);

2. Формирование первичного поражающего фактора: взаимодействие ударника с преградой, на определенной скорости и углах;



1. *Journal of the American Medical Association*, 2000; 283: 2689-2693.

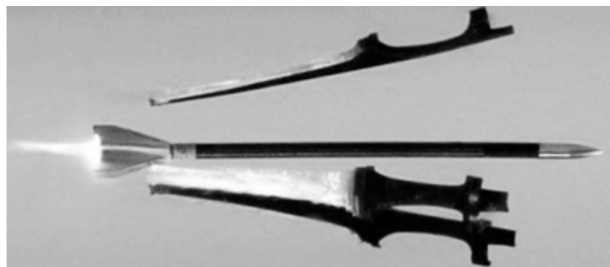


Рис. 5. Формирование средства поражения

4. Формирование вторичных поражающих факторов: распространение ударной волны по пораженной преграде, срабатывание динамической защиты и формирование бризантной и фугасной волн, движение вторичных осколков по защитной структуре (рис. 6);

5. Результат взаимодействия: фиксирование регистрирующей аппаратурой параметров вторичных поражающих факторов на местах экипажа и местах установки оборудования ВГМ;

6. Оценка результатов применения комплекса вооружения по защищенному объекту: определение ущерба конструкции, повреждения брони, вреда экипажу от единичного попадания в процессе функционирования КВ с заданными условиями применения, анализ видов повреждений и критичности отказов для работоспособности защищенного объекта, повторное воздействие КВ по поврежденному объекту.

Цели комплексного моделирования: оценка защищенности ВГМ для заданных условий применения и противодействия, оценка эффективности комплекса вооружений по защищенному объекту, корректировка условий применения комплекса вооружений либо способа использования защищенного объекта.

При проектировании средств поражения и защитных структур необходимо использовать сопоставимые критерии подобия, также необходимы критерии сопоставления эффективности комплексов вооружения и средств защиты. Примером корректных критериев подобия являются числа Прандтля (Pr), Нуссельта (Nu), Грасгофа (Gr) для теплообмена, число Рейнольдса (Re) для течения жидкости, коэффициент Пуассона (μ) и число Ньютона (Ne) в механике.

Сегодня в качестве критериев эффективности используются такие параметры, как предел кондиционного поражения (ПКП), предел сквозного пробития (ПСП), предел противоккумуля-

тивной стойкости (ППС), эквивалентная толщина (масса) равностойкой монолитной стальной брони средней твердости, расход боеприпасов на уничтожение (подавление), величина заданного ущерба, огневая (поражающая) мощь.

Перечисленные критерии эффективности не отвечают требованиям теории подобия и, должны быть дополнены. Так, например, ПКП первоначально применялся для подтверждения кондиционности партии броневое проката при испытаниях образца от данной партии одним видом снарядов. Для всего изделия в целом кондиционное поражение последней преграды в защитной структуре определяет факт выполнения необходимого, но не достаточного условия защиты от единственного вида ударника. Кроме того, результат воздействия ударника другой конструкции, имеющего тот же ПСП по монолитной стали средней твердости, при работе по сложной защитной структуре может значительно отличаться в произвольную сторону. Это не значит, что подобные данные бесполезны для цифровых методов определения уровней защищенности. Массив экспериментальных данных по ПКП, ПСП и ППС представляет собой материал для верификации конечноэлементных моделей простых преград и ударников, на основе которых можно формировать цифровые эксперименты в полной постановке.

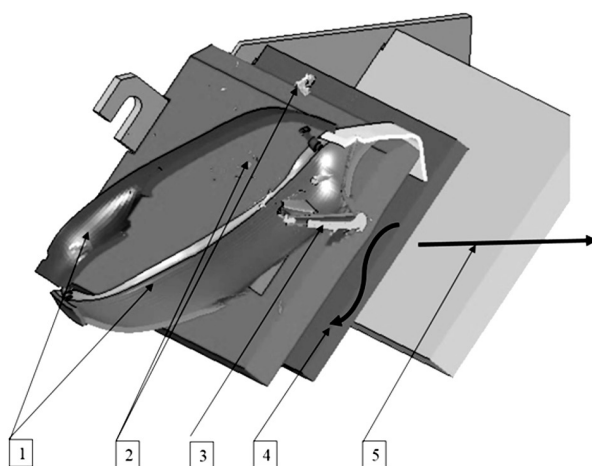


Рис. 6. Формирование поражающих факторов.
1 — пластины ДЗ; 2 — осколки; 3 — фрагменты ударника; 4 — высокочастотные вибрации; 5 — ударная волна

Таким образом, изменившийся характер современных боевых действий не соответствует картинам, изученным по итогам ВОВ, поэтому сложность взаимодействия с противником можно рассматривать как вероятностную лишь в первом приближении. Для более детальных исследований необходимо использовать концепции «Индустрии 4.0», а в частности, использовать виртуализацию поля боя посредством цифровых двойников комплексов вооружений. Однако для этого требуется однозначно классифицировать термины, описывающие возможности ударных средств и защитные свойства ВГМ.

Литература

1. Буренок М.В., Халитов В.Г. Защита бронетанковой техники от противотанковых средств // Вооружение и экономика. 2021. № 55. С. 11–17.
2. Григорян В.А., Юдин Е.Г., Терехин И.И., и др. Защита танков. Т. 1. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 327 с.
3. Исаков П.П., Иванов В.А. Теория и конструкция танка. Т. 4. М.: Машиностроение, 1984. 348 с.
4. Григорян В.А., Белобородько А.Н., Дорохов Н.С. Частные вопросы конечной баллистики. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 592 с.
5. Данилин Г.А., Огородников В.П., Заволокин А.Б. Основы проектирования патронов к стрелковому оружию. СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2005. 374 с.
6. Фендриков Н.М., Яковлев В.И. Методы расчетов боевой эффективности вооружения. М.: Военное издательство Министерства обороны СССР, 1971. 224 с.
7. Бабкин А.В., Велданов В.А., Грязнов Е.Ф. и др. Средства поражения и боеприпасы. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 984 с.
8. Балаганский И.А., Мержиевский Л.А. Действие средств поражения и боеприпасов. 2-е изд. Новосибирск: НГТУ, 2017. 408 с.
9. Warren W. Science and Complexity // American Scientist. Vol. 4. No. 36, 1948. P. 11.
10. Hermann M., Pentek T., Otto B. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios // researchgate.net. 2015. URL: <https://www.researchgate.net/publication/307864150> (дата обращения: 12.02.2022).
11. Баранов И.И., Кислицын С.А., Хмельников Е.А., Шадрин И.Д. Боеприпасы, средства поражения и поражающие факторы. Общность и различия понятий для целей математического моделирования // Молодежь и наука. Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2023. С. 53.
12. Свертилов Н., генерал-полковник. Руководство по эксплуатации ракетно-артиллерийского вооружения. Приложение к приказу начальника вооружения ВС РФ; № 27 от 14.09.2006. М., 2006. 261 с. https://vii.sfu-kras.ru/images/Osn_chast.pdf (дата обращения: 12.02.2022).

УДК: 355/359

DOI: 10.53816/20753608_2024_2_58

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ЭТАПАХ СИСТЕМНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ НОВОГО ОРУЖИЯ

PROSPECTS FOR THE USE OF SIMULATION METHODS AT THE STAGES OF SYSTEM DESIGN NEW WEAPONS

Чл.-корр. РАРАН А.Ю. Пронин^{1,2}, А.В. Леонов^{1,2}, С.Г. Брайткрайц²

¹РАРАН, ²46 ЦНИИ Минобороны России

A.Y. Pronin, A.V. Leonov, S.G. Breitkreits

Рассматриваются методы моделирования для оценки реализуемости и эффективности новых научно-технических и технологических решений при создании нового оружия. При решении прикладных задач системного проектирования (в том числе оценки реализуемости и эффективности новых технологий) предлагается комплексное (совместное) использование методов экспертного и имитационного моделирования. Дальнейшим развитием рассмотренных методов моделирования является внедрение искусственного интеллекта (гибридное моделирование).

Ключевые слова: научно-технологические достижения, фундаментальные исследования, научно-технический задел, перспективное вооружение, моделирование, метод, искусственный интеллект.

Modeling methods are considered to assess the feasibility and effectiveness of new scientific, technical and technological solutions in the creation of new weapons. When solving applied problems of system design (including assessing the feasibility and effectiveness of new technologies), it is proposed to use complex (joint) methods of expert and simulation modeling. A further development of the considered modeling methods is the introduction of artificial intelligence (hybrid modeling).

Keywords: scientific and technological achievements, fundamental research, scientific and technical groundwork, advanced weapons, modeling, method, artificial intelligence.

Создание нового оружия весьма сложный и затратный процесс, который чаще всего начинается с формирования научно-технического задела (НТЗ), создания макетных, экспериментальных, а затем опытных и серийных образцов, при этом заделная фаза может составлять примерно 10 % от общих затрат на их создание [1]. Учитывая, что затраты на каждой последующей стадии жизненного цикла образца вооружения возрастают примерно на порядок, накопление научно-технических и технологических результатов на ранних стадиях его создания всегда предпочтительнее, чем на более поздних стадиях. Обуслов-

лено это следующим обстоятельством. С одной стороны, отказ от реализации недостаточно эффективных результатов на ранних стадиях менее затратен, а с другой — результаты, полученные на ранних стадиях, имеют более высокий потенциал широкого (универсального) использования в образцах нового оружия. При этом целесообразность разработки того или иного образца должна тесно увязываться с целями и задачами создания совокупности унифицированных образцов, а также с требованиями заказчиков к их характеристикам и свойствам. Причем эти требования должны формулироваться с учетом

возможности создания, с одной стороны, научно-технического задела на основе выполнения взаимоувязанных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) по созданию перспективных технологий, а с другой — возможности установления оптимальных параметров конструктивно-технологической схемы нового образца, обеспечивающей требуемые его характеристики в разрабатываемой или модернизируемой совокупности образцов. Поэтому одна из важнейших задач создания нового оружия заключается в сочетании результатов фундаментальных и прикладных исследований с оптимальными научно-техническими и технологическими решениями (с учетом возможностей унификации), в целях обеспечения требований заказчиков к эффективности нового оружия при его минимальной стоимости.

Таким образом, современный этап создания нового оружия характеризуется переходом от традиционной парадигмы проектирования отдельного конкретного образца к новой парадигме — системному проектированию целостной унифицированной совокупности перспективных образцов в интересах одного или нескольких заказчиков, которая должна обеспечивать выполнение широкого спектра задач и максимальную адаптацию к тем или иным условиям применения (эксплуатации). В соответствии с основными положениями, изложенными в работах [2, 7–10], ключевыми этапами системного проектирования являются:

- анализ широкого спектра научно-технологических достижений и оценка возможности их использования при создании нового оружия;
- формирование научно-технического задела как инновационной основы создания новых поколений оружия и оценка его готовности для постановки опытно-конструкторских работ;
- обоснование облика и определение тактико-технических требований к образцам;
- определение основных технических и технологических решений образцов нового оружия (этапы технического и технологического проектирования);
- изготовление экспериментальных и опытных образцов, проведение их натурных испытаний;
- проработка вопросов боевого применения и интеграции нового оружия в состав системы вооружения/

Именно поэтому в последние годы все большую актуальность приобретает использование методов моделирования, позволяющих, во-первых, установить взаимосвязь требований, предъявляемых заказчиком к новому оружию, и потребностей в проведении фундаментальных научных исследований, направленных на создание НТЗ; во-вторых, оценить реализуемость и эффективность предлагаемых научно-технических и технологических решений при создании нового оружия. Острая необходимость в таких оценках обусловлена, в первую очередь, потребностью в поддержке принятия решений по обоснованию выбора рациональных вариантов нового оружия на каждом этапе системного проектирования. Следует отметить, что общим недостатком существующих методов моделирования является их весьма разрозненный характер, они касаются в основном отдельных этапов системного проектирования, опираются на различный методический аппарат и исходные данные. И, самое главное, они не позволяют дать комплексную оценку реализуемости и эффективности новых научно-технических и технологических решений при создании нового оружия.

В этой связи далее рассматривается возможность комплексного применения различных методов моделирования на этапах системного проектирования нового оружия, в том числе методов многоэтапного экспертного моделирования и имитационного моделирования, а также совместного использования с ними возможностей искусственного интеллекта.

Метод многоэтапного экспертного моделирования

В основу предлагаемого метода, основанного на экспертных оценках, для оценки реализуемости и эффективности научно-технологических достижений в образцах нового оружия положена логическая взаимосвязь требований, предъявляемых заказчиком к перспективному оружию, и потребностей в проведении фундаментальных научных исследований (ФНИ), направленных на создание научно-технического задела. Сущность задачи формирования рационального состава приоритетных ФНИ состоит в том, чтобы при невозможности финансирования всех ФНИ отобрать такие направления

исследований, ожидаемые результаты которых обеспечили бы максимальное научно-техническое влияние на создание образцов нового оружия с учетом финансовых ограничений [3]. При этом отобранные ФНИ должны быть максимально востребованы при создании нового оружия.

С методической точки зрения практическая реализация отмеченной логической взаимосвязи осуществляется следующим образом. Вначале образцы нового оружия разбиваются на основные функционально-технологические блоки (ФТБ), совершенствование которых оказывает наибольшее влияние на достижение заданных требований к характеристикам нового оружия. Затем экспертно определяются направления технологических разработок, которые позволяют усовершенствовать каждый ФТБ. При этом осуществляется оценка «достаточности» существующих технологий, в противном случае определяется «приращение» технологий, необходимое для повышения боевых возможностей нового оружия. По результатам анализа состава важнейших технологий экспертно определяется необходимый состав ФНИ, результаты которых позволят сформировать соответствующий НТЗ для проведения прикладных исследований в интересах создания нового оружия. Далее в интересах повышения обоснованности состава приоритетных ФНИ, ожидаемые результаты которых будут иметь целевую направленность на разработку нового оружия, проводится ранжирование направлений исследований в соответствии с их научно-техническим влиянием на образец нового оружия. Таким образом, задача обоснования рационального состава ФНИ становится, по своей сути, задачей многокритериальной коллективной экспертизы.

В этой связи для обеспечения наиболее полного охвата вопросов, связанных с определением потребностей в ФНИ с учетом требований, предъявляемых к новому оружию, целесообразно привлечение экспертного сообщества. Наиболее распространенным и результативным методом многокритериальной коллективной экспертизы при обосновании приоритетов научно-технологического развития в условиях недостаточного объема количественных исходных данных является метод анализа иерархий Т. Саати [4]. Применительно к решению поставленной задачи данный метод был модифициро-

ван в направлении многоэтапного экспертного моделирования процесса оценки влияния научно-технологических достижений на создание нового оружия. Суть модификации заключается в построении некоторого многоуровневого множества информационно-логических матриц оценок влияния результатов ФНИ на создание нового оружия. В результате достаточно сложный процесс оценки влияния результатов ФНИ на создание нового оружия представлен как многоэтапный процесс экспертного моделирования. Таким образом, преодолеваются методические трудности, связанные с непосредственной оценкой влияния результатов ФНИ на создание нового оружия.

Алгоритм метода многоэтапного экспертного моделирования приведен на рис. 1.

Рассмотрим основные этапы экспертного моделирования.

Этап 1. Формирование сквозной информационно-логической схемы: образец нового оружия — ФТБ — технологии — ФНИ.

Этап 2. Формирование матрицы оценок влияния каждого нижестоящего уровня на вышестоящий уровень (для каждого уровня информационно-логической схемы, начиная с ее первого уровня), например:

- в матрице «образец нового оружия — ФТБ» оценивается влияние качества ФТБ на показатели образца нового оружия (1-й уровень);
- в матрице «ФТБ — технологии» оценивается влияние результатов прикладных исследований (ПИ) на новые возможности ФТБ (2-й уровень);
- в матрице «технологии — ФНИ» оценивается возможность реализации результатов ФНИ в прикладных исследованиях и технологических разработках (3-й уровень).

Более подробно содержание метода многоэтапного экспертного моделирования приведено в работе [5].

Практическая реализация метода многоэтапного экспертного моделирования рассмотрена с использованием динамического программирования.

Иерархическая схема определения потребностей в ФНИ для создания образца нового оружия представлена на рис. 2.

В соответствии с предложенным авторами методом определяются доминирующие

последовательности для каждого функционально-технологического блока. Серым цветом обозначены доминирующие последовательности для важнейших технологий, определяющих

технический уровень ФТБ. На завершающем этапе формируется общая доминирующая последовательность для перспективного образца нового оружия.

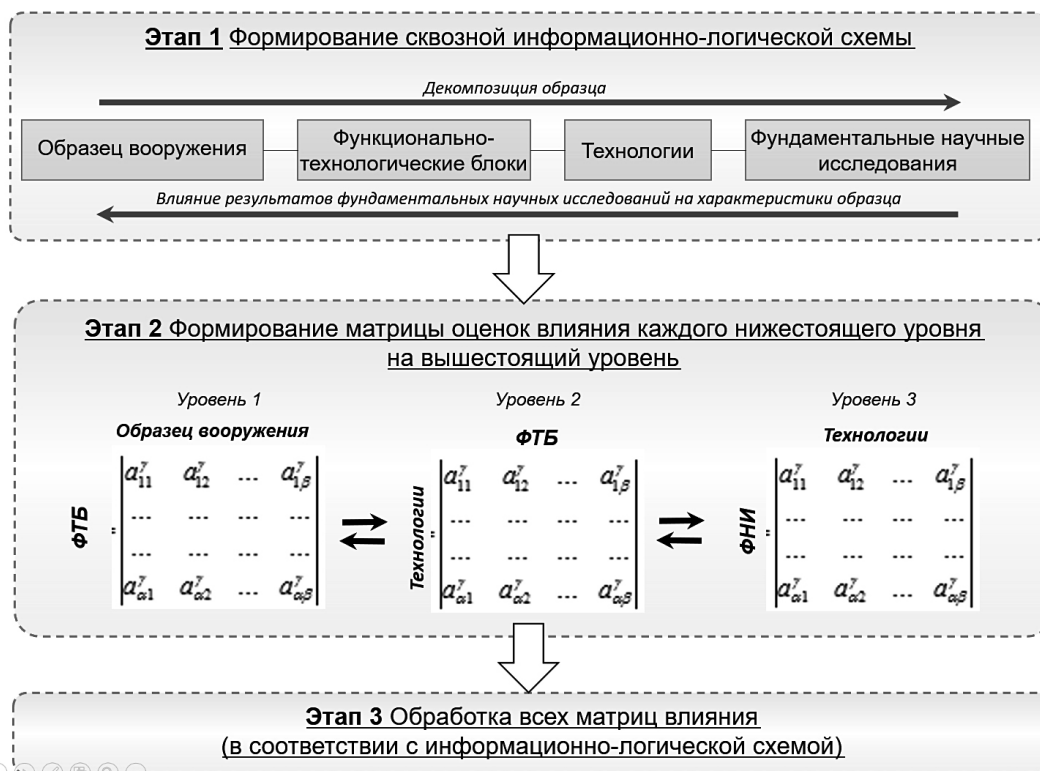


Рис. 1. Алгоритм метода многоэтапного экспертного моделирования



Рис.2. Иерархическая схема определения потребностей в ФНИ для создания перспективного образца нового оружия

Использование предложенного метода экспертного моделирования в практической деятельности органов планирования и управления созданием образца нового оружия позволит организовать взаимоувязанный и нацеленный на конечный результат цикл исследований ФНИ → технологии ФТБ → перспективный образец нового оружия с учетом существующих финансово-экономических ограничений. Это позволит также повысить эффективность реализации результатов НИР фундаментального характера в прикладных исследованиях в интересах создания перспективных, в том числе нетрадиционных, образцов нового оружия. Для повышения эффективности предложенного метода и охвата более широкого спектра мнений в рассматриваемой области в качестве экспертов целесообразно привлекать: генеральных конструкторов по направлениям создания перспективного вооружения; руководителей приоритетных технологических направлений; специалистов заказывающих управлений и научно-исследовательских организаций федеральных органов исполнительной власти, в том числе Минобороны России, организаций РАН и высшей школы, а также предприятий — разработчиков нового оружия. В целом, предложенный метод представляет собой объективный инструмент выбора приоритетных ФНИ, исходя из потребностей создания образцов нового оружия и возможных достижений отечественной науки. Кроме того, этот метод является достаточно универсальным и поэтому может использоваться для решения практических задач обоснования мероприятий по планированию НТЗ для создания перспективных, в том числе нетрадиционных, образцов нового оружия.

Однако у экспертного подхода есть весьма существенные недостатки. Общими недостатками этого подхода является низкая оперативность получения экспертных оценок в сроки, определенные заказчиком или разработчиком перспективного образца нового оружия, что обусловлено длительностью процесса оценки, уровнем квалификации и субъективизмом привлекаемых экспертов, сопутствующих организационных процедур экспертных оценок и их обработки. Это делает невозможным получение четкой коллективной оценки технологий и с системных позиций оценивания интегральной реализуемо-

сти и эффективности научно-технических и технологических решений в рассматриваемой совокупности образцов нового оружия при решении конкретных боевых задач. Тем не менее, метод экспертного моделирования имеет хорошие перспективы развития в следующих направлениях: внедрение искусственного интеллекта; совершенствование интеллектуальных человеческих ресурсов (собственно, естественного интеллекта), привлекаемых к экспертным оценкам, и самих процедур коллективной экспертизы.

Метод имитационного моделирования

Одним из наиболее прогрессивных подходов к оценке реализуемости и эффективности разрабатываемых технологий является использование имитационного моделирования, которое в настоящее время находит все более широкое применение как в нашей стране, так и за рубежом на этапах системного проектирования нового оружия.

Имитационное моделирование осуществляется посредством моделирующих комплексов, стендов имитационного моделирования, разнообразных средств планирования и подготовки заданий, технических средств обучения. Оценку реализуемости и эффективности разрабатываемых технологий с использованием метода имитационного моделирования целесообразно начинать с уточнения исследуемой предметной области, ее структуризации и выделения иерархических уровней, поскольку каждый уровень технологий, несомненно, потребует разработки своей (соответствующей) совокупности моделей. Например, в качестве технологических уровней могут рассматриваться: технологии создания перспективных образцов нового оружия; технологии функционально полных систем, блоков и модулей (технологии, направленные на модернизацию образцов); технологии комплектующих изделий (элементов) и материалов (технологии повышения качества образцов). Несмотря на то что такое разделение носит достаточно условный характер, и четкой границы между указанными уровнями нет, данная стратификация технологий и соответствующих моделей представляется удобной именно в целях имитационного моделирования.

Таким образом, предметную область имитационного моделирования в интересах обос-

нования создания перспективного образца нового оружия составляют: технологии создания образца нового оружия, а также их функционально-технологических блоков, комплектующих изделий (элементов) и материалов; существующие и перспективные образцы оружия; сценарии боевого применения перспективных образцов оружия совместно с существующими (традиционными) видами оружия.

После отграничения и стратификации предметной области формулируются функции имитационных моделей в частности и имитационного моделирования вообще в контексте задачи оценки реализуемости и эффективности разрабатываемых технологий. Приведем пять наиболее распространенных функций имитационных моделей [5]: уточнение и упорядочение знаний о технологии; демонстрация исследуемого объекта, системы или технологии; обучение и трениаж; прогнозирование; проведение эксперимента. Из представленного перечня функций имитационных моделей для оценки реализуемости и эффективности разрабатываемых технологий наибольший интерес представляет имитационное моделирование как методология прогнозирования и как средство эксперимента. Особенно актуальным является такое моделирование и соответствующие оценки для технологий нетрадиционного вооружения, поскольку является наиболее сложным, трудноформализуемым и существенно различающимся в зависимости от вида имитируемого образца оружия. Зачастую

методик испытаний и методик прогнозирования развития нетрадиционного оружия практически нет. Меньшую ценность для оценки реализуемости и эффективности разрабатываемых технологий представляют модели, как средство обучения, хотя и здесь имитационное моделирование процессов планирования боевых действий (задач), предварительной оценки эффективности может оказаться незаменимым.

Сравнительная структурно-функциональная схема оценки реализуемости научно-технологических решений в образцах нового оружия при существующем подходе, основанном на методах экспертных оценок и при использовании метода имитационного моделирования, приведена на рис. 3.

Основными преимуществами метода имитационного моделирования, по сравнению с экспертными оценками, являются [6]:

- сокращение процедуры обоснования и оценивания технологий. При этом оценки основаны на строго формализованном аппарате математического и имитационного моделирования;
- наличие в аппарате имитационного моделирования обратной связи между этапом оценки эффективности применения образцов перспективного оружия, с реализацией конкретной технологии или комбинации технологий, и этапом формирования научно-технического задела;
- сокращение количества, упорядочение и конкретизация научно-исследовательских работ, результаты которых составляют научно-технический задел создания нового оружия;



Рис. 3. Структурно-функциональная схема оценки реализуемости научно-технологических решений в образцах нового оружия

- возможность непрерывного мониторинга всех этапов системного проектирования нового оружия;

- возможность оценки реализуемости результатов НИР, выполненных ранее, особенно учитывая наличие интегрированных баз данных результатов НИОКР.

В области имитационного моделирования в организациях ОПК созданы и применяются модели функционирования существующих и образцов нового оружия и отдельных систем, блоков модулей, спроектированных для применения в этих образцах. Для работы с этими моделями используются стенды имитационного моделирования. Однако в силу узкой специализации и специфики моделируемых процессов и объектов данные средства ограничены в способности воспроизводить динамику функционирования, существенно отличающихся друг от друга, образцов оружия (в частности, пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов, объектов бронетехники, надводных кораблей и подводных лодок с различными сочетаниями элементов бортовых систем управления). Кроме того, здесь требуется синтезировать алгоритмы комплексной обработки информации, решать вопросы интеграции комплексов бортового оборудования, тем более оценивать применимость и эффективность разрабатываемых технологий (особенно технологий нетрадиционного вооружения) в конкретных образцах оружия в задаваемых условиях боевого применения.

В этой связи необходимо проведение системных исследований по формированию методологии обоснования направлений военно-технической политики в области новейших научно-технических и технологических решений. Основными результатами таких исследований должны стать:

- структурно-функциональные схемы интеграции и комплексного применения имитационных моделей и моделирующих комплексов в Вооруженных Силах Российской Федерации;

- методические и технологические основы формирования и сопровождения базы знаний в интересах моделирования и поддержки принятия решений задач формирования военно-технической политики в области оборонных технологий;

- математические методы и информационные технологии моделирования необходимой де-

тализации процессов применения современных и перспективных (в том числе нетрадиционных) образцов нового оружия и методик оценки их эффективности при решении боевых задач.

В качестве аппаратной реализации и демонстрации результатов таких исследований может быть предложено создание макета первой очереди (с ограничением количества моделируемых технологий) имитационных экспериментальных стендов для оценки реализуемости и эффективности технологий нового оружия (высокоточного, гиперзвукового и лазерного оружия и т.д.).

Создаваемые имитационные модели должны быть: простыми и понятными потребителю; надежными и обладающими информационной полнотой с точки зрения решения главных задач; адаптивными, позволяющими легко переходить к разным объектам моделирования.

В этой связи чрезвычайно важно определить потребителя результатов имитационного моделирования. Потребителем результатов имитационного моделирования являются органы военного управления, отвечающие за развитие закреплённой номенклатуры оружия и формирование предложений в проекты государственной программы вооружения и государственного оборонного заказа.

Весьма перспективным направлением оценки реализуемости и эффективности новых технологий является использование искусственного интеллекта в существующих и разрабатываемых методах экспертного и имитационного моделирования.

Перспективы использования искусственного интеллекта

Несмотря на то что искусственный интеллект в той или иной форме начал применяться с 1950-х годов, он по-прежнему находится в стадии становления: до сих пор отсутствует четкая и понятная терминология, недостаточно разработаны научные основы искусственного интеллекта и др.

В этой связи, учитывая существующие методологические трудности, наиболее целесообразным при решении прикладных задач системного проектирования (в том числе оценки реализуемости и эффективности новых технологий)

представляется комплексное (совместное) использование методов экспертного и имитационного моделирования и возможностей искусственного интеллекта (метод гибридного моделирования).

Составные части гибридного моделирования показаны на рис. 4.

Одной из главных проблем внедрения искусственного интеллекта (с учетом упомянутых выше методологических трудностей) в существующие и разрабатываемые методы экспертного и/или имитационного моделирования является определение их рационального соотношения, то есть степени их интеграции (гибридизации). Для решения указанной проблемы предлагается методический подход, практически апробированный на отдельных этапах системного проектирования нового оружия [2].

Рассмотрим основное содержание данного подхода применительно к оценке комплексного (совместного) применения искусственного интеллекта и методов экспертного и/или имитационного моделирования. В принципе, можно сформулировать три направления решения прикладных задач системного проектирования перспективного вооружения на основе комплексирования различных методов моделирования:

– первое направление — частичное использование элементов искусственного интеллекта в существующих методах экспертного и/или имитационного моделирования (собственно, как сейчас и осуществляется оценка научно-технических и технологических решений нового оружия);

– второе направление — совместное использование возможностей искусственного интеллекта в разрабатываемых методах экспертного и/или имитационного моделирования (это вполне осуществимо в настоящее время);

– третье направление — полномасштабное использование инструментальных возможностей искусственного интеллекта (это должно быть осуществлено в недалеком будущем).

Для каждого из этих направлений оценка целесообразности и эффективности применения искусственного интеллекта может быть сформулирована в трех вариантах.

1. Минимизация затрат на решение прикладных задач за счет использования возможностей искусственного интеллекта при заданной эффективности и времени решения этих задач.

2. Максимизация эффективности решения прикладных задач за счет использования искусственного интеллекта при заданных затратах и времени решения этих задач.

3. Минимизация времени решения прикладных задач за счет использования возможностей искусственного интеллекта при заданной эффективности и затратах на решение этих задач.

Общий алгоритм оценки целесообразности и эффективности применения искусственного интеллекта можно представить в виде следующей последовательности действий (в данном случае под затратами понимаются и затраты времени на решение прикладных задач).

1. Оценка эффективности $W_i^{\text{ЭМ(ИМ)}}$ и затрат $C_i^{\text{ЭМ(ИМ)}}$ на решение i -й прикладной задачи

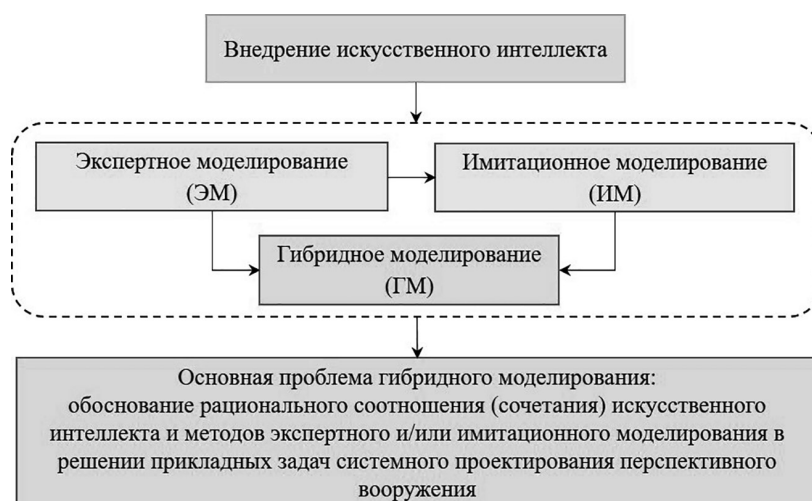


Рис. 4. Составные части гибридного проектирования

$\forall i = \overline{1, I}$ с использованием только методов экспертного и/или имитационного моделирования.

2. Оценка эффективности $W_i^{ГМ}$ и $C_i^{ГМ}$ затрат на решение i -й прикладной задачи $\forall i = \overline{1, I}$ на основе совместного использования методов экспертного и/или имитационного моделирования и возможностей искусственного интеллекта (то есть гибридного моделирования).

3. Сравнительная оценка полученных результатов:

а) $W_i^{ЭМ(ИМ)}$ и $W_i^{ГМ}$ при фиксированных затратах C_i на решение i -й прикладной задачи;

б) $C_i^{ЭМ(ИМ)}$ и $C_i^{ГМ}$ при фиксированной эффективности W_i решения i -й прикладной задачи.

Очевидно, что объем прикладных задач системного проектирования, возлагаемых на искусственный интеллект, будет определяться тем перечнем и объемом задач, которые назначает ему заказчик (потребитель) результатов экспертного и/или имитационного моделирования (то есть естественный интеллект), что в свою очередь непосредственно влияет на сравниваемые показатели эффективности и затрат. Собственно, этим и определяется многовариантность их сравнительной оценки. В этой связи главной особенностью предложенного методического подхода является необходимость:

– формирования множества возможных вариантов совместного использования методов экспертного и/или имитационного моделирования и возможностей искусственного интеллекта;

– выбора из них парето-оптимальных (недоминируемых) вариантов;

– обоснования выбора рациональных вариантов лицом, принимающим решения.

В качестве примера, иллюстрирующего эту особенность, на рис. 5 показано графическое отображение области парето-оптимальных вариантов.

В области G находятся оптимальные варианты, которые обеспечивают:

а) максимальное приращение эффективности $\Delta W_i^{ГМ}$ решения i -й задачи при заданных затратах $C_{изд.}$ на ее решение при комплексном (совместном) применении различных методов моделирования по сравнению с эффективностью $W_i^{ЭМ(ИМ)}$ решения этой задачи с использованием только методов экспертного и/или имитационного моделирования;

б) максимальное снижение затрат $\Delta C_i^{ГМ}$ на решение i -й задачи при требуемой эффективности ее решения $W_{треб.}$ при комплексном (совместном) применении различных методов моделирования по сравнению со стоимостью ее решения $C_i^{ЭМ(ИМ)}$ с использованием только методов экспертного и/или имитационного моделирования.

Предложенный методический подход может найти практическое применение при решении прикладных задач системного проектирования, в том числе оценки реализуемости и эффективности новых научно-технических и технологических решений. Кроме того, данный подход может быть использован для разработки двухуровневого метода планирования потребных затрат на внедрение искусственного интеллекта на этапах создания перспективного вооружения,

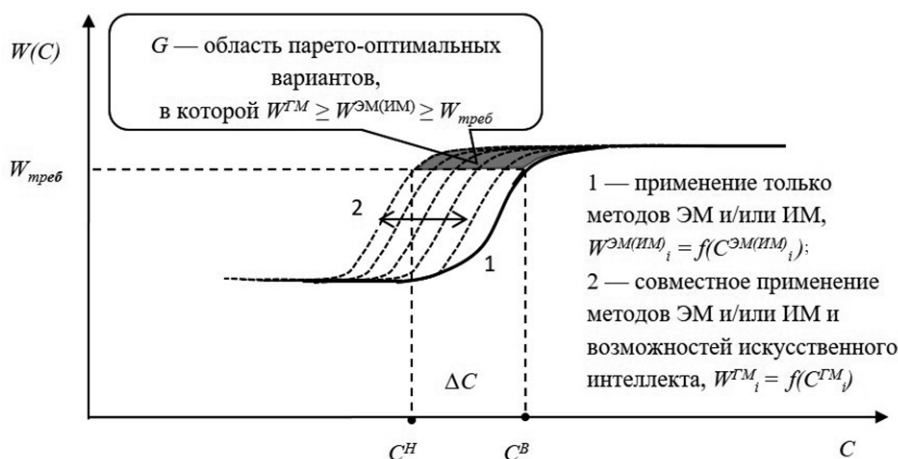


Рис. 5. Область парето-оптимальных вариантов совместного применения методов экспертного и/или имитационного моделирования и возможностей искусственного интеллекта

использование которого позволит планировать верхний C^B и нижний C^H уровни затрат в рамках соответствующих программ и проектов. При этом для определения C^H может учитываться такой фактор, как риск нехватки (дефицит) бюджетных средств для создания нового оружия.

Сформированные представления о гибридном моделировании могут быть положены в основу оценки технологий и систем искусственного интеллекта и в целом теории и методологии гибридного моделирования.

Внедрение искусственного интеллекта целесообразно предусматривать на всех этапах системного проектирования нового оружия, в том числе: при предъявлении к нему требований; при создании и при испытаниях, производстве и принятии на вооружение; эксплуатации и боевом применении. Комплексное использование различных методов моделирования совместно с возможностями искусственного интеллекта может позволить:

- осуществлять тактико-техническое и технико-экономическое обоснование возможности и целесообразности создания нового оружия за заданное время и с минимальными возможными затратами;
- определить роль и место нового оружия в составе системы вооружения;
- разработать тактико-техническое задание на опытно-конструкторскую работу по созданию опытного образца.

Таким образом, важнейшей задачей комплексного использования и развития методов моделирования в интересах создания нового оружия является поэтапная, планомерная и скоординированная работа по внедрению искусственного интеллекта. При этом этапность предполагает последовательное осуществление комплекса мероприятий по внедрению искусственного интеллекта для решения задач системного проектирования нового оружия. Планомерность заключается в создании и совершенствовании нового оружия с элементами искусственного интеллекта, согласно концепциям его развития, которые должны реализовываться через государственную программу вооружения, государственный оборонный заказ, государственные, федеральные и ведомственные программы. Координация состоит в тесной увязке предлагаемых мероприятий по созданию

и оснащению ВС РФ, нового оружия с элементами искусственного интеллекта с результатами проводимых фундаментальных, прогнозных и поисковых исследований.

Заключение

1. Диапазон выполняемых в настоящее время НИОКР и объем научно-технологического задела, сформированного в последние десятилетия, диктуют необходимость создания инструментария для оперативного оценивания реализуемости и эффективности имеющихся научно-технических и технологических решений для конкретного образца нового оружия и конкретного сценария боевых действий. Данное обстоятельство продиктовано в первую очередь потребностью в поддержке принятия решения на этапах системного проектирования нового оружия.

2. Оценка реализуемости разрабатываемых технологий может осуществляться на всех этапах системного проектирования нового оружия, начиная от анализа широкого спектра научно-технологических достижений до оценки возможности их использования при создании нового оружия и его интеграции в состав системы вооружения ВС РФ. Учитывая многовариантность оценки разрабатываемых технологий на каждом этапе системного проектирования, множественность подходов по созданию информационного и программно-алгоритмического обеспечения, использование аппарата экспертных оценок становится практически неподъемным. Показано, что дальнейшее совершенствование метода экспертного моделирования возможно в следующих направлениях: развитие методов имитационного моделирования, внедрение искусственного интеллекта; совершенствование интеллектуальных человеческих ресурсов (собственно, естественного интеллекта), привлекаемых к экспертным оценкам, и самих процедур коллективной экспертизы.

3. Одним из путей разрешения сложившегося положения в области оценки научно-технического и технологического задела может стать активно применяемое научно-исследовательскими организациями ОПК РФ и аналогичными структурами за рубежом при разработке, создании, испытаниях и эксплуатации (боевом применении) образцов нового оружия

имитационное моделирование. Имитационное моделирование осуществляется на основе моделирующих комплексов, стендов имитационного моделирования, разнообразных средств планирования и подготовки заданий, технических средств обучения, в том числе комплексных тренажеров подготовки операторов объектов военной техники всех видов базирования. К достоинствам такого подхода к оценке применимости разрабатываемых технологий в перспективных образцах нового оружия относятся:

- сокращение процедуры обоснования и оценивания технологий. При этом оценки основаны на строго формализованном аппарате математического и имитационного моделирования;

- наличие в аппарате имитационного моделирования обратной связи между этапом оценки эффективности применения образцов нового оружия с реализацией конкретной технологии или комбинации технологий и этапом формирования научно-технического задела;

- сокращение количества, упорядочение и конкретизация научно-исследовательских работ, результаты которых составляют научно-технический задел;

- возможность непрерывного мониторинга всех фаз системного проектирования и создания перспективных систем и комплексов;

- возможность оценки реализуемости результатов НИР, выполненных ранее, особенно учитывая наличие интегрированных баз данных результатов НИОКР.

4. Дальнейшим развитием методов экспертного и имитационного моделирования становится внедрение искусственного интеллекта (гибридное моделирование). Основные принципы внедрения искусственного интеллекта в существующие и разрабатываемые методы моделирования в интересах создания перспективного вооружения: этапность, плановость и координация работ по внедрению искусственного интеллекта. Необходимы системные исследования по формированию методологии гибридного моделирования, в том числе применительно к области новейших научно-технических и технологических решений.

Литература

1. Буренок В.М., Ивлев А.А., Корчак В.Ю. Программно-целевое планирование и управление созданием научно-технического задела для перспективного и нетрадиционного вооружения. М.: Издательский дом «Граница», 2007. 408 с.

2. Леонов А.В., Пронин А.Ю. О важности системного проектирования нового оружия // Вооружение и экономика. 2021. № 1 (55). С. 28–49.

3. Буренок В.М., Корчак В.Ю., Полубехин А.И. и др. Оборонный научно-технический задел: приоритетные направления развития и влияние на характер вооруженной борьбы. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. 173 с.

4. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 236 с.

5. Леонов А.В., Пронин А.Ю. Модифицированный метод оценки влияния научно-технологических достижений на создание перспективного вооружения // Вооружение и экономика. 2018. № 2 (44). С. 68–73.

6. Брайткрайц С.Г., Корчак В.Ю., Полубехин А.И., Реулов Р.В. Оценка реализуемости разрабатываемых технологий для сложных технических систем // Компетентность. 2022. № 9. С. 16–25.

7. Буренок В.М. Консолидация усилий в интересах развития систем вооружения // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2017. № 2 (97). С. 3–7.

8. Буренок В.М., Бабкин Г.В., Лавринов Г.А. Эффективное управление оборонными компетенциями — ключевой способ обеспечения адаптивности развития системы вооружения // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2023. № 3 (128). С. 3–15.

9. Корчак В.Ю., Леонов А.В., Борисенков И.Л. Интеграция нетрадиционного вооружения в состав системы вооружения // Вооружение и экономика 2011. № 2 (14). С. 63–70.

10. Буравлев А.И., Белорозов М.С. Модель управления технической готовностью ВВСТ при планировании и реализации государственной программы вооружения // Вооружение и экономика. 2022. № 1 (59). С. 12–32.

УДК: 629.7.018.7:53.087

DOI: 10.53816/20753608_2024_2_69

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА СЛЕДЯЩИЕ СИСТЕМЫ ИНФРАКРАСНОГО ДИАПАЗОНА ЗА ЗОНОЙ ФОРСАЖА ЛЕТАЮЩИХ ЛАБОРАТОРИЙ

MATHEMATICAL MODEL OF EXTERNAL INFLUENCES ON TRACKING SYSTEMS OF THE INFRARED RANGE BEHIND THE FORCING ZONE OF FLYING LABORATORIES

По представлению чл.-корр. РАРАН С.М. Мужичека

А.И. Маликов¹, М.С. Сергеев², А.С. Тараскин³, Е.С. Воякина⁴

¹929-й ГЛИЦ МО РФ им. В.П. Чкалова, ²ПАО «Ил», ³ЛИИ им. М.М. Громова, ⁴ФАУ ГосНИИАС

A.I. Malikov, M.S. Sergeev, A.S. Taraskin, E.S. Voyakina

Предложена усовершенствованная математическая модель внешних воздействий на следящую систему инфракрасного диапазона за зоной факела форсажа летающей лаборатории. Получены рекомендации по повышению зачетности летных экспериментов, сокращению затрат и сроков проведения летных испытаний систем защиты летательных аппаратов.

Ключевые слова: математическая модель, летные эксперименты, летающие лаборатории, комплекс защиты, следящие системы.

An improved mathematical model of external influences on the tracking system of the infrared range behind the zone of the afterburner flame of a flying laboratory is proposed. Recommendations are given to improve the creditability of flight experiments, reduce the costs and timing of flight tests of aircraft protection systems.

Keywords: mathematical model, flight experiments, flying laboratory, protection system, tracking systems.

Современные и перспективные комплексы защиты (КЗ) самолетов и вертолетов от управляемых ракет (УР) обеспечивают подавление головки самонаведения (ГСН) путем воздействия направленным излучением. Для направления воздействия на ГСН в состав КЗ включены инфракрасные (ИК) системы обнаружения атакующих управляемых ракет и слежения за этими УР по угловым координатам [1, 2]. При проведении летных испытаний (ЛИ) КЗ используются специализированные летающие лаборатории (ЛЛ), на которых размещены измерительные ГСН (ИГСН) [3].

В настоящее время проблемой проведения ЛИ является обеспечение точного выдерживания условий проведения летных экспериментов (ЛЭ) с привлечением ЛЛ. Для решения данной проблемы проводится предполетное математическое моделирование, обеспечивающее определение участков траектории, на которых должен быть выполнен ЛЭ. Используемая в существующих методиках ЛИ математическая модель воздействия КЗ на ИГСН обеспечивает расчет относительного положения следящей системы в районе размещения ИГСН на ЛЛ.

Один из недостатков существующей математической модели заключается в том, что не учитывается особенность применения форсажного режима работы двигателя ЛЛ и влияние бокового ветра на условия проведения ЛЭ. Планирование ЛЭ с использованием недостаточно точных результатов математического моделирования приводит к снижению зачетности ЛЭ и необоснованному уменьшению числа возможных реализаций с имитацией атак УР.

Целью работы является усовершенствование математической модели внешних воздействий на следящие системы устройств комплексов защиты, что обеспечит повышение зачетности летных экспериментов, сокращение затрат и сроков проведения летных испытаний.

Достигнуть поставленной цели удалось путем включения дополнительных блоков, учитывающих случайный характер внешних воздействий на следящие системы от зоны ИК-излучения форсажа, а также параметров ЛЭ, связанных с наличием бокового ветра и применением статистической обработки результатов моделирования. Структурная схема усовершенствованной модели представлена на рис. 1.

На рис. 2 в горизонтальной плоскости показано взаимное положение поля зрения следящей системы КЗ, ИГСН на ЛЛ и участка в районе факела форсажа для трех точек траектории полета ЛЛ при сближении с ЛА (КЗ).

С учетом геометрических соотношений, на максимальной дальности ЛЭ $D_{\max}$ размеры



Рис. 1. Структурная схема усовершенствованной математической модели внешних воздействий на следящую ИК-систему

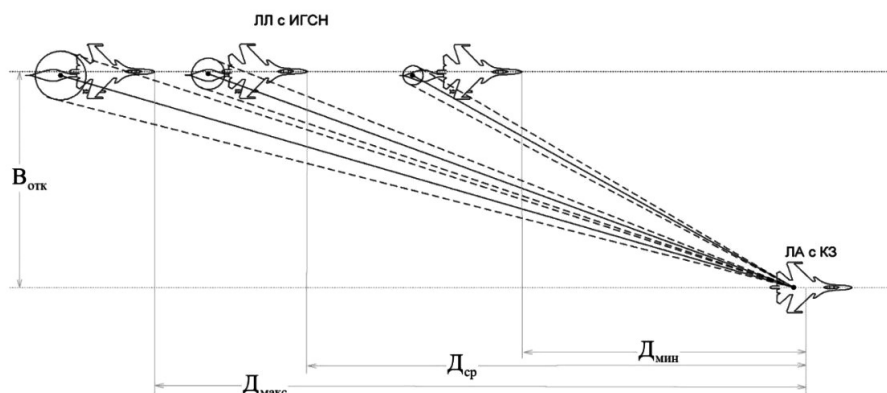


Рис. 2. Схема взаимного положения ЛА (КЗ) и ИГСН на ЛЛ с включенным форсажем одного (правого) двигателя

пятна следящей системы будут наибольшими и ИГСН будет находиться в пределах зоны видимости даже при отклонении его максимума от ИГСН $B_{отк}$. На средней дальности $D_{ср}$ максимум следящей системы направлен на ИГСН. На минимальной дальности $D_{мин}$ максимум следящей системы отклонен от ИГСН, размеры поля зрения будут минимальными и возможность выполнения ЛЭ будет сохранена при условии, если ИГСН останется в пределах этого поля зрения (приблизится к краю) [4].

При наличии бокового ветра на рабочих высотах проведения ЛЭ участки траектории полета, обеспечивающие условия проведения ЛЭ, могут быть расширены за счет дополнительного маневрирования по курсу с целью выдерживания требуемого направления на следящие системы. На рис. 3 изображено отклонение курса ЛА от линии заданного пути (ЛЗП) на угол α .

При разработке дополнительных блоков усовершенствованной математической модели учитывались следующие характеристики ИК-из-

лучения от зоны факела форсажа ЛЛ: расстояние от среза сопла до точки максимума интенсивности; статистические характеристики потока (мощности) ИК-излучения от зоны факела форсажа. Указанные характеристики могут быть определены путем обработки данных ЛЭ с использованием методов пространственных и временных распределений температуры физических объектов [5].

На рис. 4 приведено тепловое изображение (форма термограммы) ЛА, привлекаемого в качестве ЛЛ, при использовании режима форсажа правого двигателя.

На рис. 5 приведены результаты обработки термограмм в форме зависимостей относительной силы ИК-излучения от дальности от среза сопла участка в зоне форсажа.

Анализ результатов натурных работ показал, что кроме перемещения максимума интенсивности излучения необходимо учитывать случайный характер порождаемых этим излучением внешних воздействий.

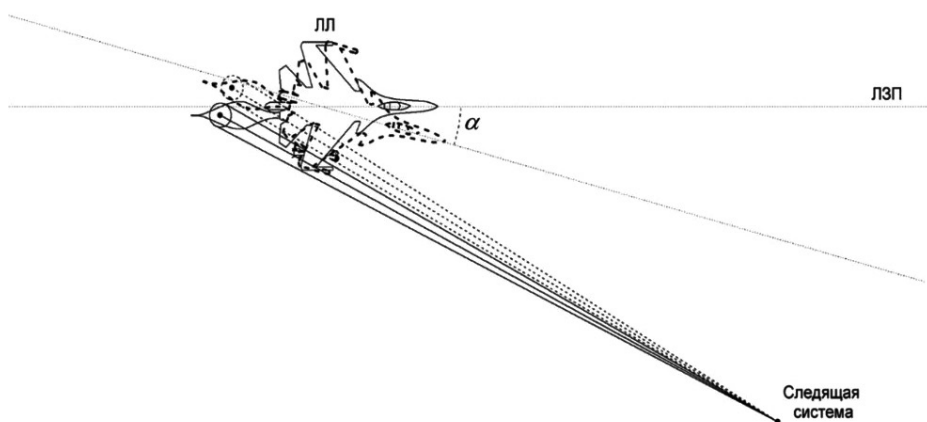


Рис. 3. Относительное положение ЛЛ и следящей системы при дополнительном маневрировании ЛЛ по курсу

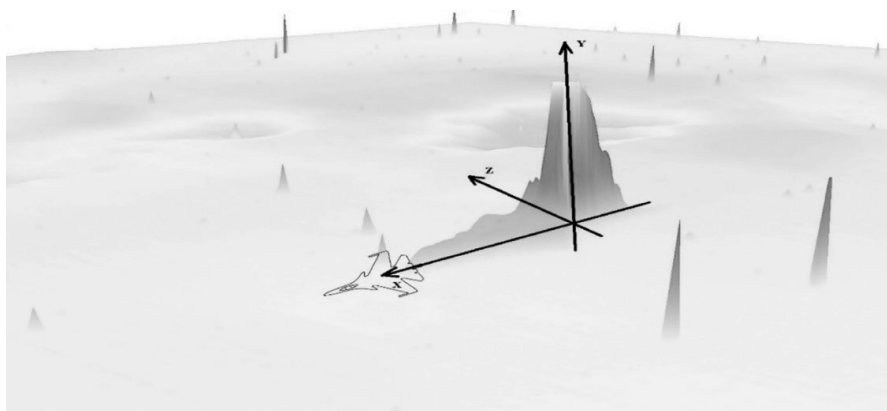


Рис. 4. Форма термограммы ИК-излучения ЛА при форсаже

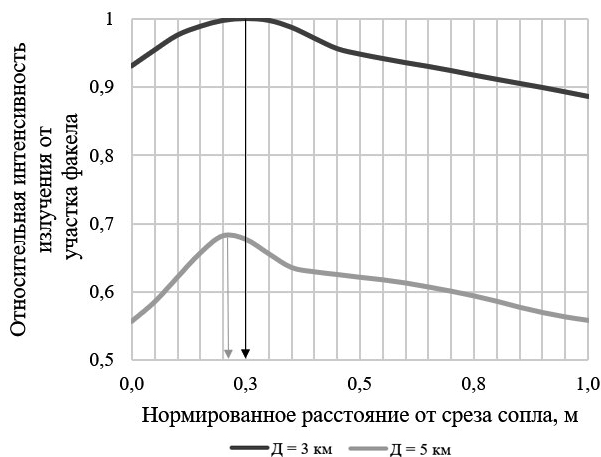


Рис. 5. Зависимости нормированной энергетической силы излучения участков зоны форсажа от дальности от среза сопла двигателя для различных дальностей до ЛЛ

Для оценки статистических характеристик потока (мощности) ИК-излучения от зоны факела форсажа проводилась обработка серии спектрограмм, полученных для относительно короткого интервала дальности. Результаты обработки спектрограмм приведены на рис. 6.

Проанализировав зависимости на рис. 6 можно сделать вывод, что интенсивность ИК-излучения от зоны факела форсажа носит случайный характер, который может быть учтен при переходе от детерминированной к статистической модели. В дополнение к анализу изображенных на рис. 6 зависимостей, качественный анализ

термограммы на рис. 4 позволяет заключить, что на систему слежения за зоной факела форсажа будет действовать случайный пространственно-временной входной сигнал. Такое воздействие будет определять основные ошибки сопровождения участка зоны форсажа ЛЛ с максимальной энергетической силой излучения [6, 7].

С учетом полученных данных установлено, что наиболее точно перемещение максимума излучения описывается уравнениями диффузии вида [8]:

$$\frac{\partial p(x,t)}{\partial t} = -A_x(t) \frac{\partial p(x,t)}{\partial x} + \frac{1}{2} B_x(t) \frac{\partial^2 p(x,t)}{\partial x^2}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial p(y,t)}{\partial t} = -A_y(t) \frac{\partial p(y,t)}{\partial y} + \frac{1}{2} B_y(t) \frac{\partial^2 p(y,t)}{\partial y^2}, \quad (2)$$

где $A_x(t), A_y(t)$ — нестационарные коэффициенты сноса; $B_x(t), B_y(t)$ — нестационарные коэффициенты диффузии; $p(x,t), p(y,t)$ — плотности вероятности.

Квазистационарное решение уравнений (1), (2) имеет вид [9]:

$$p(x,t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi B_x t}} \exp \left(-\frac{(x - A_x t)^2}{2 B_x t} \right);$$

$$p(y,t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi B_y t}} \exp \left(-\frac{(y - A_y t)^2}{2 B_y t} \right).$$

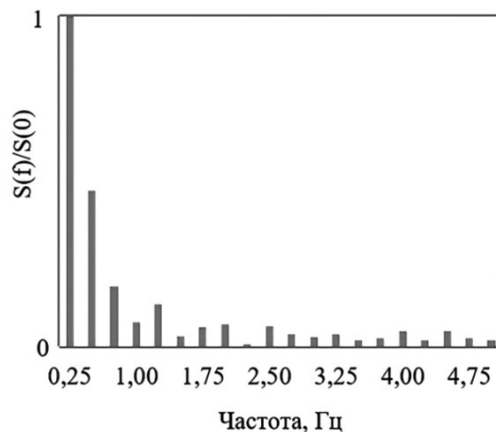
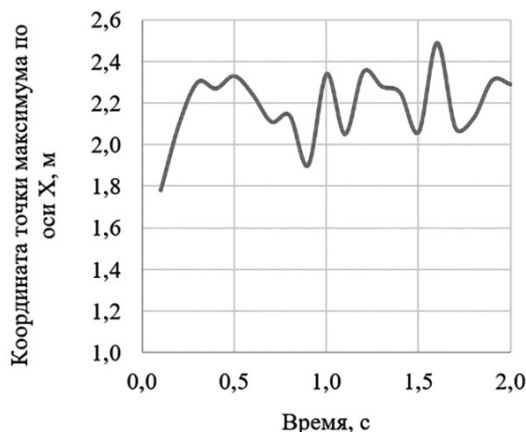


Рис. 6. Регистрация изменений координат точки максимума ИК-излучения в поле зрения следящей системы при сопровождении зоны факела форсажа ЛЛ и нормированный спектр, где $S(f)$ — спектральная плотность мощности

В усовершенствованной модели используется следующий алгоритм моделирования изменения пространственной координаты $X[n]$ точки максимума излучения зоны факела форсажа:

$$X[n] = X_m[n] + X_\phi[n];$$

$$X_m[n] = X_0 - n\Delta X;$$

$$X_\phi[n] = X_\phi[n-1] + \sigma \cdot \xi[n] \cdot \sqrt{1 - \rho^2};$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N-1}};$$

$$\rho = \exp(\Delta t_m \Delta f_{\text{эф}}),$$

где ΔX — ошибка оценки; σ — среднеквадратичное отклонение; $\xi[n]$ — случайная величина

с единичной дисперсией; ρ — коэффициент корреляции; $\Delta f_{\text{эф}}$ — эффективная ширина спектра; Δt_m — длина интервала корреляции.

Результаты математического моделирования [10] на языке программирования Python 3 с пояснениями приведены на рис. 7, 8.

Полученные результаты соответствуют условиям полета с нулевым углом сноса. Возможны различные способы использования этих результатов в реальных условиях выполнения ЛЭ. Первый способ предусматривает выполнение полета с постоянным углом скольжения на всем участке траектории. Этот способ гарантирует выполнение ЛЭ в заданных диапазонах дальности, но усложняет ЛЭ, поскольку требует выдерживания угла скольжения на участках с периодическим включением форсажа одного двигателя и достаточно сложных операций по неоднократному захвату цели измерительной ГСН. Второй

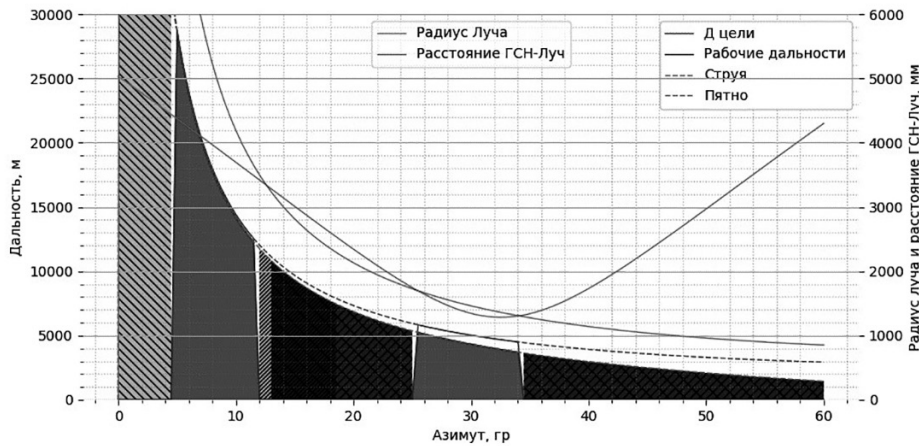


Рис. 7. Результат применения существующей математической модели

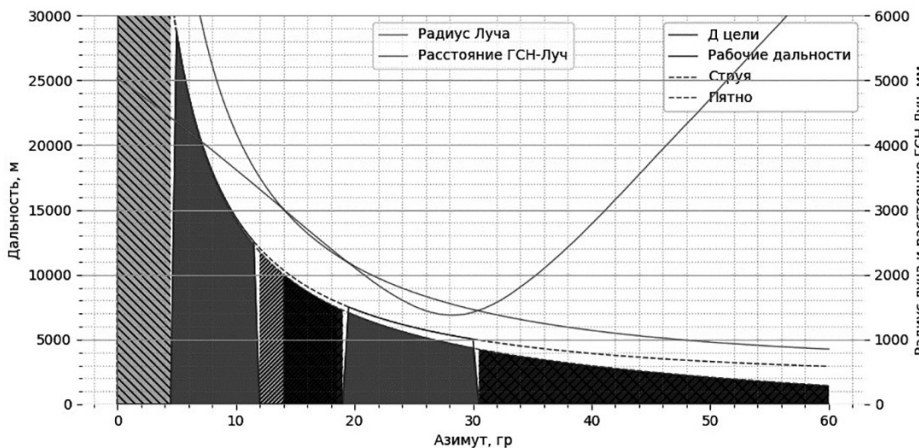


Рис. 8. Результат применения усовершенствованной математической модели

способ предусматривает коррекцию полетного задания по результатам предполетного моделирования, проводимого непосредственно перед полетом с учетом данных о направлении и скорости ветра на высоте выполнения ЛЭ. Этот способ делает ЛЭ менее сложным, но зависит от наличия и точности метеорологических данных, которые редко используются при проведении летных испытаний. Наиболее перспективным можно рассматривать способ выполнения ЛЭ с переменным углом скольжения, рассчитанным по данным предполетного математического моделирования об оптимальном изменении курса на всем участке траектории сближения ЛЛ с КЗ. Основным преимуществом такого способа является существенное расширение участков траектории, на которых выполняются условия для выполнения ЛЭ. Реализация данного способа не требует данных о направлении и скорости ветра на высотах ЛЭ, но предусматривает учет ограничений по углу скольжения для ЛЛ.

Таким образом, для учета ошибок сопровождения от зоны факела форсажа ЛЛ необходим переход от детерминированной к статистической математической модели, использующей характеристики случайных входных сигналов ИК-системы слежения за атакующими УР.

Рассмотренная усовершенствованная математическая модель внешних воздействий на следящие системы позволяет повысить точность определения диапазонов дальности с обеспечением условий проведения летного эксперимента.

Повышение зачетности летных экспериментов, сокращение затрат и сроков проведения летных испытаний комплексов защиты летательных аппаратов может быть достигнуто за счет существенного расширения участков траектории, на которых выполняются условия для летного эксперимента, путем дополнительного маневрирования по курсу на этапе сближения летающей лаборатории с целью.

Литература

1. Куприянов А.И., Шустов Л.Н. Радиоэлектронная борьба. Основы теории. М.: Вузовская книга, 2011. 284 с.
2. Ястребов М.А. Математическая модель преобразования сигнала в оптическом координаторе головки самонаведения. Контенант. 2020. Т. 19, № 5-1. С. 43–49.
3. Зиненков Ю.В., Кондратюк В.И., Аксенов С.П. и др. Разработка летающей лаборатории на базе легкого беспилотного летательного аппарата // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2022. Т. 26. № 2 (96). С. 41–52.
4. Максимов М.В., Горгонов Г.И. Радиоэлектронные системы наведения. М.: Радио и связь, 1982. 304 с.
5. Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. 2-е изд., доп. М.: Издательский дом «Спектр», 2013. 544 с.
6. Росин М.Ф., Булыгин В.С. Статистическая динамика и теория эффективности систем управления: учебник для вузов. М.: Машиностроение, 1981. 312 с.
7. Фукс-Рабинович Л.И., Епифанов М.В. Оптико-электронные приборы: учебное пособие для оптико-механических и приборостроительных техникумов. Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1979. 362 с.
8. Вакин С.А., Шустов Л.Н. Основы радиоэлектронной борьбы: учебное пособие. Часть I. М.: Издание ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1998. 118 с.
9. Росин М.Ф., Булыгин В.С. Статистическая динамика и теория эффективности систем управления: учебник для вузов. М.: Машиностроение, 1981. 312 с.
10. Вандер Дж. Плас. Python для сложных задач: наука о данных и машинное обучение. СПб.: Питер, 2020. 576 с.

УДК: 623.4.01

DOI: 10.53816/20753608_2024_2_75

**ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К МОДУЛЯМ
ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ПРОГРАММНО-МЕТОДИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА «ДВОЙНИК-МУЗР»
REQUIREMENT'S JUSTIFICATION TO THE SIMULATION MODULES
OF PROGRAM-METHODICAL PACKAGE «DUPLICATE-MUZR»**

По представлению академика РАН И.М. Смирнова

И.В. Спири

АО «НИИИ»

I.V. Spirin

Кратко излагаются предназначение, состав и уровни встроенной связанности модулей программно-методического комплекса «Двойник-МУЗР». На основании классификации и обобщения функционально-приемлемых возможностей программного обеспечения специального назначения описываются в порядке приоритетности требования к модулям имитационного моделирования. Приводятся варианты уточнения понятий и классификаций, относящихся к имитационным моделям. Варианты приемлемой реализации требований, определяющих облик модулей имитационного моделирования, подтверждаются моделями-примерами из различных программ, а также выявленными особенностями их создания.

Ключевые слова: SIMULATION SOFTWARE, FREE SOFTWARE, имитационное моделирование, программно-методический комплекс.

In this article are shortly described intended use, composition and level of incorporated connexity of modules of program-methodical package «Duplicate-Muzr». Here are described as prioritized requirements to the simulation modules based on the classification and generalization of functional reasonable opportunities of software special purpose. They presented update concepts and classifications which belong to simulation models. Analogues of acceptable requirement's realization, which specify module's image, are confirmed by example modules from various programs as well as ascertained particularities of their creation.

Keywords: SIMULATION SOFTWARE, FREE SOFTWARE, simulation, program-methodical package.

В 2021 году начата очередная работа серии «Двойник», направленная на развитие отечественных технологий компьютерного моделирования в интересах отрасли боеприпасов и спецхимии, а конкретно — удлиненных зарядов разминирования модульной конструкции (МУЗР).

Главным исполнителем НИОКР «Двойник-МУЗР» является одна из ведущих в об-

ласти моделирования российских организаций ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». Финансирование осуществляется по субсидиальной схеме Минпромторгом РФ. Основным планируемым результатом работы является конкурентоспособный, верифицированный, соответствующий принципам функционирования удлиненного заряда, а также гостированной этапности

разработки и квалификации конструкторского коллектива, программно-методический комплекс (ПМК).

В пределах работ серии «Двойник» основным содержанием аббревиатуры ПМК считается совокупность комплектов программного обеспечения, развернутого в клиент-серверной или терминальной сети с достаточными вычислительными мощностями, методик его применения в процессе моделирования и коллектива операторов-расчетчиков, освоивших перечисленные элементы.

Фактически ПМК является высокотехнологичным инструментом предиктивной аналитики и средой существования виртуальных прототипов образцов для разрабатываемых удлиненных зарядов разминирования, чем подтверждается актуальность статьи.

АО «НИИИ», являясь исполнителем составной части и одним из возможных эксплуатантов конечного продукта, обосновывает и согласовывает реализуемость требований к облику ПМК, формирует и наполняет верификационную базу, участвует в разработке методик, развертывании, освоении и испытаниях.

Имеющийся многократный положительный опыт распределения структурно-составных модулей ПМК по категориям инженерного анализа и имитационного моделирования определил реализацию такого подхода и в «Двойник-МУЗР».

Именно в процессе исследований с целью обоснования обликотных требований к имитационным модулям ПМК формировались материалы данной статьи.

Под имитационной моделью в пределах статьи понимается упрощенный до приемлемой адекватности аналог реального объекта (процесса, системы, ...), создаваемый средствами и функционирующий в среде специального программного обеспечения на компьютерах. То есть имитационная модель считается разновидностью компьютерной модели, относящейся также к математическим.

Гостированное определение имитационной модели устанавливает, что в ней формы и коэффициенты зависимости одних параметров модели от других находят путем многократного испытания с различными входными данными [1]. Место имитационных моделей в классификационной структуре компьютерных наглядно показано на рис. 1.

Одна из традиционных, не претендующая на безупречность классификация имитационных моделей на основании методов, положенных в их основу, имеет следующий вид: статистические (в т.ч. вероятностные), агентные, когнитивные, ситуационные, экспертные, дискретно-событийные, системно-динамические.

При выборе, в качестве основы классификации отношения к учету времени, распределенный



Рис. 1. Классификация компьютерных моделей

список включает статические, квазистатические, динамические и комбинированные имитационные модели.

Вероятностные по методам Монте-Карло, дискретно-событийные, процессно-непрерывные эргодические имитационные модели являются достаточно распространенными примерами.

Для подтверждения различных подходов к классификации имитационных моделей, не имеющих решающего значения в пределах темы статьи, на рис. 2 приводится еще один вариант, имеющий право на существование.

Ориентированный на предмет статьи поиск позволил обнаружить более 100 программных продуктов, реализующих различные подходы к имитационному моделированию. Проецирование на ПМК требований, сформированных на такой широкой выборке, избыточно по трудоемкости и спорно по содержательности.

Поэтому, для обоснования требований к имитационной составляющей ПМК, количество рассматриваемых программ уменьшалось по единственному признаку — применимость к моделированию этапов разработки и функционирования удлинённых зарядов разминирования.

Дальнейшее сокращение перечня до размеров, приемлемых в статье, осуществлялось по следующим принципам:

- отсутствие санкционных ограничений на распространение программы в ОПК РФ;
- предпочтения в порядке приоритетности отечественным, бесплатным, многофункциональным, интерфейсным, распространенным, объектно-программируемым продуктам;
- наличие подробных структурно-методических и обучающих материалов на русском языке.

Краткие описания имитационно-моделирующих возможностей и некоторые характеристики сокращенного перечня программ приведены в таблице.

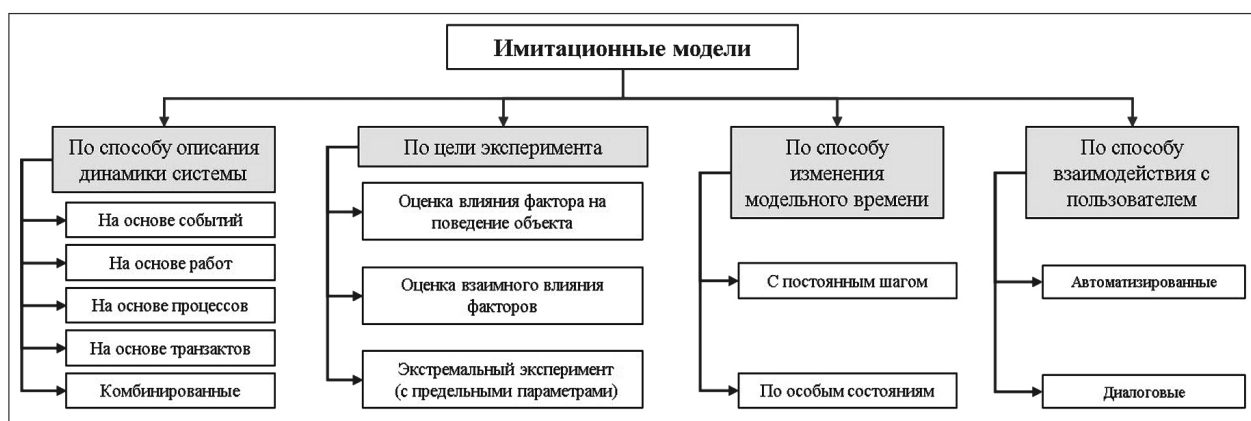


Рис. 2. Классификация имитационных моделей (вариант)

Таблица

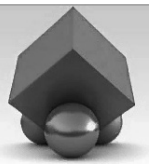
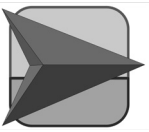
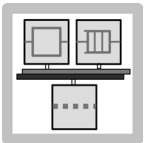
Характеристики программ

№	Название	Логотип	Разработчик	Описание	Лицензия
1	Aivika [2]		Сорокин Д.Э., Россия	Платформа, состоящая из программных библиотек для имитационного, вложенного и параллельного распределенного моделирования	BSD3
2	AnyLogic [3]		Компания AnyLogic, США	Универсальная платформа для процессно-ориентированного системно-динамического, агентного, дискретно-событийного или комбинированного моделирования	Проприетарная

Продолжение таблицы

№	Название	Логотип	Разработчик	Описание	Лицензия
3	Arena [4]		Rockwell Automation Inc., Wexford, США	Программа для моделирования дискретных событий и непрерывных процессов с целью внедрения средств автоматизации	Проприетарная
4	DESMO-J [5]		Гамбургский университет, Германия	Платформа для моделирования дискретных событий на Java, поддерживающая гибридные модели событий и обеспечивающая анимацию в 2D и 3D	Apache 2.0
5	Facsimile [6]		Интернациональный коллектив около 150 чел.	Библиотека для создания дискретно-событийных моделей в инженерии и промышленности на платформах — Windows, Linux, Mac OS X, BSD, Unix	LGPLv3
6	Galatea [7]		Centre for Simulation and Modelling, университет Анд, Венесуэла	Платформа, ориентированная на мультиагентное, распределенное, интерактивное моделирование. Имеется инструментарий для описания непрерывных процессов и дискретных событий	GPL 2.0
7	GPSS World Imp [8]		ООО «Элина-компьютер», Казань, Россия	Расширенный редактор для языка GPSS — универсальная система имитационного моделирования, охватывающая весь цикл, от постановки задачи до документирования результатов. Возможна организация облачного моделирования	Проприетарная, студенческая
8	iWebsim [9]		ООО «НПЦ «Интелком», г. Королев, Россия	Веб-приложение для имитационного моделирования динамических систем	Для физ. лиц — GPL, для юр. лиц — разные
9	MaDKit [10]		Gutknecht Olivier, Ferber Jacques, Michel Fabien; Франция	Мультиагентная платформа разработки имитационных моделей на Java	Apache 2.0
10	MTSS [11]		Рудометов С.В., КТИ ВТ СО РАН, Россия	Среда имитационного моделирования для задач проектирования, разработки, оптимизации технических систем и технологических процессов, информационных и управляющих систем в различных областях	СО РАН

Продолжение таблицы

№	Название	Логотип	Разработчик	Описание	Лицензия
11	Mv Studium [12]		Колесов Ю.Б. (Москва), Ини-хов Д.Б, Сениченков Ю.Б. (г. С.-Петербург), Россия	Среда визуального интерактивного многокомпонентного непрерывного, дискретного и гибридного моделирования сложных динамических систем	Проприетарная
12	NetLogo [13]		Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, США	Среда для мультиагентного моделирования ситуаций и феноменов, происходящих в сложных, развивающихся во времени системах	GPL 2.0
13	Object GPSS [14]		Королев А.Г., Северодонецкий Технологический институт, Украина	Инструментальное средство для написания моделей в стиле GPSS непосредственно на языке Delphi (Object Pascal)	Проприетарная
14	OpenGPSS [15]	нет	Киевский центр моделирования, Украина	Клон GPSS с собственным интерфейсом и набором готовых модулей	GPL 2.1
15	OpenMVLShell [16]	нет	Исаков А.А., Сениченков Ю.Б., г. С.-Петербург, Россия	Открытая среда для моделирования сложных динамических систем (аналогичная OpenModelica)	GPL 2.1
16	Renque [17]		RND Technology Consultants, Renque software development, Голландия	Среда дискретно-событийного моделирования в графической объектно-ориентированной оболочке	Проприетарная
17	SimInTech [18]		ООО «ЗВ Сервис», г. Москва, Россия.	Программный комплекс «МВТУ» (SimInTech) предназначен для исследования динамики и проектирования разнообразных систем и устройств. Является альтернативой Simulink, VisSim	Проприетарная, студенческая
18	Simkit [19]		U.S. Naval Postgraduate School, США	Библиотека для разработки дискретно-событийных моделей на языке Java. Приспособлена для решения задач военного характера	Apache 2.0
19	Simplex3 [20]		Коллектив частных лиц, г. Ахен, Германия	Среда дискретного моделирования, отличающаяся расширенной универсальностью применения при обучении и исследованиях	Apache 2.0
20	SimPy [21]		Klaus G. Müller и др., Массачусетский технологический институт, г. Бостон, США	Пакет для дискретно-событийного, асинхронно-сетевого или мультиагентного моделирования, основанный на стандартном языке Python. Открытый исходный код	MIT

Продолжение таблицы

№	Название	Логотип	Разработчик	Описание	Лицензия
21	SIMSCRIPT III [22]	нет	CACI Advanced Simulation Lab, г. Сан-Диего, Канада	Подобный английскому язык и инструмент для дискретно-событийного и гибридного моделирования. Открытый исходный код	GPL 3.0
22	SimWiz [23]		Cohen M. A., США	Программа для определения, валидации, управления и выполнения дискретно-событийных моделей	LGPL
23	True-World [24]		True-System-Dynamics, г. Страсбург, Франция	Среда моделирования, анализа и оптимизации динамических систем	GPL 3.0
24	UML2 SP [25]		Гурьянов В.И., Филиал С.-Петербургского ГЭУ, г. Чебоксары, Россия	Язык объектно-ориентированного имитационного моделирования. Позиционируется как язык научного имитационного моделирования. Доступен в открытом коде на сервисе GitHub	GPL 2.1
25	СМО [26]	нет	Науменко В.А., г. Москва, Россия	Визуальная среда для моделирования систем массового обслуживания (СМО). Позволяет создавать GPSS-модели	LGPL

Анализ содержания таблицы позволяет сформировать следующие выводы:

- отсутствуют ограничения для реализации в имитационных модулях ПМК агентных, вероятностных, системно-динамических, дискретно-событийных, непрерывных и квазинепрерывных процессных и др. типов моделей;

- значимое количество программ, разработанных единолично или малыми коллективами подтверждает широкое распространение и глубокую освоенность методов и методик моделирования, а также доступность открытого кода для реализации в ПМК;

- подавляющее большинство программ являются частично унифицированными по поддерживаемым методам моделирования.

Для подтверждения обоснованности выводов по таблице приведены следующие примеры имитационно-моделирующих постановок задач.

Математический аппарат, описывающий системы массового обслуживания (СМО), становится корректно применимым в случае представления системы разминирования в качестве обслуживающего процесса с параметрами вре-

мени и пропускной способности, а необходимых в прodelывании проходов в минных полях — клиентами в очереди.

Канальность СМО определяется количеством применяемых установок разминирования, а проходы, прodelывание которых потеряло актуальность из-за изменения элементов обстановки являются «нервными клиентами», покинувшими очередь на обслуживание.

На основании модели СМО могут определяться рациональные параметры боевой производительности установок разминирования во времени (количество УЗР и двигателей, периодичность обмена данными автоматизированных систем управления и др.).

Вероятностная модель процесса разминирования взрывом может корректно использоваться в случае учета всего исчерпывающего перечня исходов эксперимента, приводящих мину в нефункциональное состояние, то есть формирующих проход.

Таковыми исходами могут быть: детонация устройства инициации или непосредственно взрывчатого вещества (ВВ) мины, выброс мины за пределы прохода, срабатывание

взрывательного устройства мины от воздействия давления или импульса при прохождении ударной волны и др.

Каждому из этих исходов может быть сопоставлен закон распределения вероятности, которые в совокупности с предельными теоремами (П.Л. Чебышева, Я. Бернулли, С.Д. Пуассона) или другими обобщающими закономерностями сформируют методический аппарат модели.

В условиях примера вероятностного моделирования полученные результаты по разминированию могут быть проецированы на параметры УЗР, то есть осуществлен обоснованный выбор одного из нескольких вариантов конструкции.

Непрерывно-динамические траекторные имитационные модели уместны на этапах выборки УЗР из контейнера установки разминирования. Элементами динамической системы в этом случае выступают составные части конструкции, а результатами моделирования являются параметры их траекторий.

Кинематическое имитационное моделирование механизмов приведения пусковой установки в боевое положение позволит определять их работоспособность в различных условиях и рациональные параметры конструкции.

Решение о программной реализации в имитационных модулях ПМК «Двойник-МУЗР» доступных методических подходов и инструментов с открытым исходным кодом, приведенных в таблице, относится к компетенции головного исполнителя работы ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ».

Однако интерфейсное исполнение модулей имитационного моделирования ПМК, должно также соответствовать наиболее эффективным и удобным образцам-конкурентам, так как непосредственно влияет на скорость и качество работы оператора.

Обобщение исследованных подходов к интерфейсу программного обеспечения, предназначенного для имитационного моделирования, позволяет сформулировать следующие требования, целесообразные к реализации в модулях ПМК «Двойник-МУЗР»:

- распределение элементов управления в единой естественной последовательности использования сверху-вниз и слева-направо для всех типовых операций (например, ввод исход-

ных данных, выбор вариантов и сценария имитационного моделирования, проведение вычислений, визуализация и аналитическая обработка результатов, сохранение и экспорт данных для отчетной документации);

- обеспечение преемственности и традиционности элементов управления с предыдущими версиями ПМК («Двойник-ПС», «Двойник-КС») или программами-аналогами, включая сохранение систем обозначений и терминологии, используемых в предметной области (например, поведенческая модель, параметры среды, тактическая единица, тактическая ситуация, сценарий моделирования, клавиша «Enter» — выполнить, клавиша «Esc» — прекратить, клавиши «Alt+Tab» — переключить окно, клавиша «F1» — открыть справку, клавиши «Ctrl+C» — копировать выделенное, клавиша «Ctrl» + вращение колеса «мыши» — изменение масштаба, передвижение «мыши» с зажатым «колесом» — свободное вращение представления модели по всем осям и др.);

- полнофункциональная трехканальная доступность (из меню, с ленты инструментов и из контекстного меню) для всех основных элементов управления с обеспечением предпочтения визуально-текстовым объектам (кнопка с подписью);

- реализация по возможности правила «шести» — в одну линейку меню включать не более 6 понятий, каждое из которых содержит не более 6 опций;

- содержание в активном режиме только тех элементов, которые позволяют отдать управляющие команды для текущего состояния (пока что-нибудь не выделено — пункт или кнопка «копировать» не активна и пр.) или допустимость освоения программы пользователем путем реализации метода «проб и ошибок»;

- избыточность, которая означает, что пользователь должен вводить только минимально потребную информацию для управления (например — недопустима потребность ввода незначимых «0» после разделителя целой и дробной части чисел или повторного ввода тех данных, которые уже вводились ранее, традиционным считается использование обновляемых значений по умолчанию);

- как можно более раннее привлечение к тестированию ПМК специалистов, которым предстоит его эксплуатация;

– непосредственность помощи, выражающаяся в обеспечении необходимыми инструкциями (подсказками), возможности повышения детализации пояснений путем перехода в полноформатную справочную (обучающую) систему;

– гибкость (адаптивность) настроек интерфейса;

– реализация лозунга «пользователь управляет программой, а не программа управляет пользователем».

Качество интерфейса, в т.ч. и для имитационных модулей ПМК, определяется [27] как «Объем признаков и характеристик продукции или услуги, который относится к их способности удовлетворять установленным или предполагаемым потребностям».

Качество интерфейса сложно оценить количественными характеристиками, однако более или менее объективную оценку можно получить на основе приведенных частных показателей:

– время, необходимое пользователю для достижения начального уровня освоения модуля по специальности (конструктор — инженерный модуль, научный сотрудник — имитационный модуль);

– период сохранения полученных навыков (например, после недельного перерыва пользователь должен выполнить определенную последовательность операций без снижения скорости);

– скорость решения задачи (оценивается не производительность компьютера, а время, необходимое для формализованной постановки и обработки результатов решения для достижения цели);

– субъективная удовлетворенность пользователя ПМК.

Таким образом, исследование возможностей и особенностей эксплуатации программного обеспечения, предназначенного для моделирования, позволила в достаточной степени обосновать требования к имитационным модулям из состава ПМК «Двойник-МУЗР», в чем и заключается практическая значимость статьи.

Централизованное развитие и расширенное распространение по отраслям промышленности отечественных технологий компьютерного моделирования не будет ограничено работами серии «Двойник». Имеется насущ-

ная потребность интеграции лучших из имеющихся достижений в расширяемую адаптивную национальную программную платформу имитационного моделирования.

Литература

1. ГОСТ Р 57412-2017 Компьютерные модели в процессах разработки, производства и эксплуатации изделий. М.: Стандартинформ, 2018. 15 с.

2. Официальный сайт «Aivika» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.aivikasoftware.com/ru/products/aivika.html> (дата обращения: 30.08.2021).

3. Официальный сайт «Anylogic» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.anylogic.ru> (дата обращения: 30.08.2021).

4. Официальный сайт «Arenasimulation» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.arena-simulation.com> (дата обращения: 30.08.2021).

5. Официальный сайт Гамбургского университета [Электронный ресурс]. URL: <http://desmoj.sourceforge.net> (дата обращения: 30.08.2021).

6. Официальный сайт «Facsimile» [Электронный ресурс]. URL: <http://facsim.org> (дата обращения: 30.08.2021).

7. Официальный сайт «Centre for Simulation and Modelling» [Электронный ресурс]. URL: <http://galatea.sourceforge.net/Home.htm> (дата обращения: 30.08.2021).

8. Официальный сайт ООО «Элина-компьютер» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.elina-computer.ru> (дата обращения: 30.08.2021).

9. Официальный сайт ООО «НПЦ «Интелком» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iwebsim.ru> (дата обращения: 30.08.2021).

10. Официальный сайт «MaDKit» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.madkit.org> (дата обращения: 30.08.2021).

11. Официальный сайт «Конструкторско-технологический институт вычислительной техники СО РАН» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.coal.sbras.ru>. Регистрационный номер в ФАП: PR11050. Дата регистрации в ФАП: 2011-10-28 (дата обращения: 30.08.2021).

12. Официальный сайт «MvStadium» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mvstadium.com> (дата обращения: 30.08.2021).

13. Официальный сайт «Northwestern University's Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling» [Электронный ресурс]. URL: <http://ccl.northwestern.edu/netlogo> (дата обращения: 30.08.2021).

14. Официальный сайт «GPSS» [Электронный ресурс]. URL: <http://objectgpss.narod.ru> (дата обращения: 30.08.2021).

15. Официальный сайт «Open-simulation» [Электронный ресурс]. URL: <http://simulation.kiev.ua> (дата обращения: 30.08.2021).

16. Официальный сайт «OpenMVLShell» [Электронный ресурс]. URL: <https://dcn.ftk.spbstu.ru> (дата обращения: 30.08.2021).

17. Официальный сайт «Renque software development» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.renque.com> (дата обращения: 30.08.2021).

18. Официальный сайт ООО «ЗВ Сервис» [Электронный ресурс]. URL: <http://zv-services.com> (дата обращения: 30.08.2021).

19. Официальный сайт «U.S. Naval Postgraduate School» [Электронный ресурс]. URL: <http://diana.nps.edu/Simkit> (дата обращения: 30.08.2021).

20. Официальный сайт «Simplex3» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.simplex3.net> (дата обращения: 30.08.2021).

21. Официальный сайт «SimPy» [Электронный ресурс]. URL: <http://simpy.readthedocs.org/en/latest> (дата обращения: 30.08.2021).

22. Официальный сайт «CACI Advanced Simulation Lab» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.simscrip.com> (дата обращения: 30.08.2021).

23. Официальный сайт «Simulation Wizard» [Электронный ресурс]. URL: <https://simwiz.soft112.com/thank-you.html> (дата обращения: 30.08.2021).

24. Официальный сайт «True-System-Dynamics» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.true-world.com> (дата обращения: 30.08.2021).

25. Официальный сайт «UML2 SP» [Электронный ресурс]. URL: <https://vgurianov.github.io/uml-sp> (дата обращения: 30.08.2021).

26. Официальный сайт «Моделирование СМО» [Электронный ресурс]. URL: <http://modelsmo.narod.ru> (дата обращения: 30.08.2021).

27. ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93 Оценка программной продукции. Характеристики качества и руководства по их применению. М.: Гостандарт России, 1994. 12 с.

УДК: 355.1

DOI: 10.53816/20753608_2024_2_84

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ВЫСОКОТОЧНЫХ БОЕПРИПАСОВ СТВОЛЬНОЙ АРТИЛЛЕРИИ

MAIN DIRECTION OF DEVELOPMENT HIGH-PRECISION AMMUNITION FOR BARREL ARTILLERY

Чл.-корр. РАРАН А.Е. Гвоздев, С.В. Шибeko, чл.-корр. РАРАН В.Д. Щукин

3 ЦНИИ Минобороны России

A.E. Gvozdev, S.V. Shibeko, V.D. Shchukin

В статье рассмотрены основные направления развития высокоточных боеприпасов ствольной артиллерии. Указаны этапы их развития, деление на три поколения и их характерные различия. Проанализированы национальные и совместные военные программы стран НАТО во главе с США по разработке дальнобойных высокоточных средств ствольной артиллерии, передовые разработки Кореи и Китая. Показаны преимущества новых управляемых артиллерийских снарядов с наведением в полях спутниковых навигационных систем и перспективы их развития.

Ключевые слова: высокоточные боеприпасы, программы развития, управляемые артиллерийские снаряды, стоимость, дальность стрельбы, точность наведения.

The article deals with the main directions of development of high-precision ammunition for barrel artillery. The stages of their development, division into three generation and their characteristic differences are indicated. National and joint military programs of NATO countries led by USA on development of long-range high-precision artillery munitions, advanced developments of Korea and China. Advantages of new guided artillery projectiles with guidance in the fields of satellite navigation systems of their development prospects.

Keywords: high-precision ammunition, development programs, guided artillery shells, cost, firing range, guidance accuracy.

Важнейшей компонентой развития обычных средств вооруженной борьбы в современных условиях является интенсивное внедрение в армиях многих государств высокоточного оружия (ВТО) различного назначения, размещения и дальности применения. Роль ВТО для достижения целей военных действий подтверждена опытом локальных войн и вооруженных конфликтов как 90-х годов XX в., так и начала XXI века [1–3].

В современных условиях вооруженной борьбы артиллерия продолжает оставаться ведущим средством в огневом поражении противника (ОПП), в том числе высокоточными боеприпасами (ВТБ).

Высокоточные боеприпасы являются эффективным средством борьбы с важными малоразмерными целями во всем диапазоне стрельбы за счет обеспечения высокой точности поражения и малого расхода боеприпасов. Применение ВТБ способствует сохранению живучести артиллерийских подразделений, которая повышается за счет сокращения времени выполнения огневых задач, обеспечивает возможность совершения противогневого маневра до ответной реакции огневых средств противника и в целом повышает возможности по огневому поражению противника [1–4].

История развития современных ВТБ позволяет разделить их на три поколения [1, 6].

К первому поколению ВТБ относятся управляемые боеприпасы, использующие полуактивное лазерное наведение с подсветом цели лазерным целеуказателем дальномером (ЛЦД).

Ко второму поколению относятся боеприпасы, разрабатываемые по принципу «выстрелил–забыл–поразил».

Образцы ВТБ второго поколения можно условно разделить на две группы.

Первая группа — высокоточные боеприпасы, в которых вместо пассивной лазерной (ПЛ) головки самонаведения (ГСН) применяются активная радиолокационная ГСН миллиметрового диапазона (81-мм Английская управляемая мина Merlin) или пассивная инфракрасная ГСН, например, 120-мм Шведская управляемая ракета Strix. Траектория полета данных боеприпасов на конечном участке корректируется с помощью рулей или ракетных двигателей.

Вторая группа — кассетные боеприпасы с высокоточными боевыми элементами двух типов:

- с самоприцеливающимися боевыми элементами (СПБЭ), в которых датчиками автоматически определяется направление на цель и производится метание в нее поражающего элемента;

- с самонаводящимися боевыми элементами (СНБЭ), в которых наведение на цель осуществляется автоматически собственными бортовыми устройствами управления движением боевого элемента.

По мнению зарубежных и отечественных специалистов, наиболее перспективным направлением является развитие управляемых боеприпасов третьего поколения. Это поколение боеприпасов, которое использует для наведения и коррекции своей траектории данные спутниковых навигационных систем, а на конечном участке при подлете к цели — самонаведение на цель [1–5].

К созданию таких снарядов некоторые отечественные, а также американские и западноевропейские фирмы приступили с начала 90-х годов XX века. По замыслу разработчиков, дальность их стрельбы, например, из 152–155-мм орудий с длиной ствола 52 калибра и более должна составлять порядка 80 км, а круговое вероятное отклонение (КВО) — не более 10–20 м.

В ходе операции «Свобода Ираку» около 66 % боеприпасов, выпущенных войсками США,

были высокоточными и использовали автоматизированные системы наведения: либо спутниковую систему глобального позиционирования (GPS), либо инерциальные системы наведения боеприпаса, либо системы с лазерной подсветкой цели, либо их комбинации [3–5].

Одним из таких боеприпасов является 155-мм управляемый артиллерийский снаряд M982 Excalibur. Его основной особенностью является то, что он впервые для артиллерийских снарядов реализует принцип «выстрелил — забыл». Для этого снаряд оснащен спутниковой и инерциальными системами наведения, которые обеспечивают ему высокую точность попадания по неподвижным целям. КВО снаряда Excalibur 1в M982E1 составляет около 2 м [2–4]. При этом точность наведения не зависит от дальности стрельбы.

В настоящее время разработка ВТБ ведется странами НАТО как по национальным, так и по совместным военным программам. Министерство армии США в рамках обновленной стратегии развития сухопутных войск реализует программу «Высокоточные огневые средства большой дальности» (в ближайшие пять лет планируется израсходовать около 6,7 млрд долл.). Она включает четыре основных проекта:

- ERCA (Ствольная артиллерия увеличенной дальности);

- SLRC (Стратегическая дальнобойная артиллерийская система);

- PSM (Высокоточная ракета класса «земля–земля»);

- LRHW (Система гиперзвукового оружия наземного базирования).

Основная цель этих проектов — достижение огневого превосходства американских сухопутных войск над противником в ходе преодоления формируемых ими зон ограничения (воспреещения) доступа.

В частности, в США для ствольной артиллерии в рамках программы ERCA был разработан перспективный 155-мм активно-реактивный снаряд (АРС) XM1113 (рис. 1).

Он обладает усовершенствованной аэродинамической формой корпуса, улучшенной конструкцией твердотопливного двигателя и позволяет увеличить максимальную дальность стрельбы самоходной артиллерийской установки M109 Paladin и буксируемой гаубицы M777 с 30 до 40 км.

Высокая точность ведения огня обеспечивается благодаря использованию универсального блока наведения PGK (рис. 1, б), который корректирует траекторию полета снаряда по данным космической радионавигационной системы (КРНС) Navstar. КВО составит не более 15–20 м.

Благодаря усовершенствованному составу, модульные метательные заряды боеприпаса сохраняют свои характеристики в широком диапазоне температур (от -40° до $+50^{\circ}$), что обеспечивает стабильные точностные показатели артиллерийских выстрелов. Разработку боеприпаса XM1113 завершили в 2021 году.

Проект ERCA предусматривает повышение дальности стрельбы 155-мм самоходной гаубицы (СГ) Paladin до 70 км (в перспективе до 120–130 км). Это предполагается достичь за счет увеличения длины ствола орудия (с 39 до 58 калибров), использования новых боеприпасов и метательных зарядов. В НИОКР по созданию 155-мм артиллерийской системы XM907 ERCA, за счет увеличения длины ствола (до 58 калибров) предполагалось значительно повысить начальную скорость снаряда и обеспечить дальность стрельбы до 70 км, также испытания проводились на базе 155-мм гаубицы M777A2. В дальнейшем такими стволами планируется оснащать перспективные самоходные установки M109A8.

С апреля 2019 года проводились испытания усовершенствованной самоходной артиллерийской установки XM1299 на полигоне сухопутных войск США в Юме (штат Аризона). Стрельба велась управляемыми M982 Excalibur и экс-

периментальными активно-реактивными снарядами XM1113. Продемонстрировано поражение целей на дальности 62–65 км. Поставка первой партии модернизированных по проекту ERCA гаубиц Paladin в количестве 18 единиц была осуществлена в 2023 году. Кроме того, для увеличения скорострельности (с 4 до 6–10 выстр./мин) планируется оснастить орудие автоматом заряжания.

Боеприпас XM1113 должен поступил в войска в 2023 году. Его отличительная особенность — снаряжение малочувствительным взрывчатым веществом, более устойчивым к воздействию ударов и высоких температур.

Для обеспечения высокой точности стрельбы (КВО не более 10 м на дальности до 70 км) для снаряда XM1113 разрабатывается универсальный блок управления LR-PGK. Он будет принимать сигналы КРНС Navstar и корректировать траекторию полета боеприпаса при помощи аэродинамических рулей.

В рамках развития управляемых средств поражения для ствольной артиллерии министерство армии США в 2025 году планирует принять на вооружение боеприпас XM1155 с прямоточным воздушно-реактивным двигателем и дальностью полета не менее 100 км (рис. 2).

Кроме того, ведутся работы по созданию унитарного метательного заряда повышенной мощности XM654E2.

Еще одним направлением увеличения дальности стрельбы 155-мм систем является использование управляемого снаряда HVP (рис. 3), который разрабатывается для электромагнитного орудия, создаваемого в интересах ВМС США. Его стоимость, по заявлению представителей министерства армии, составляет около 86 тыс. долларов.

Полученный в ходе реализации проекта ERCA технический задел намечено использовать в ходе разработки «стратегической дальнобойной артиллерийской системы» (проект SLRC), способной поражать цели на дистанции до 1800 км. Ожидается, что стоимость перспективного боеприпаса составит 400–500 тыс. долларов.

В рамках развития ВТБ для минометов разрабатываются 81-мм и 120-мм управляемые мины, оснащенные инерциальной навигационной системой с коррекцией по данным КРНС Navstar (рис. 4).

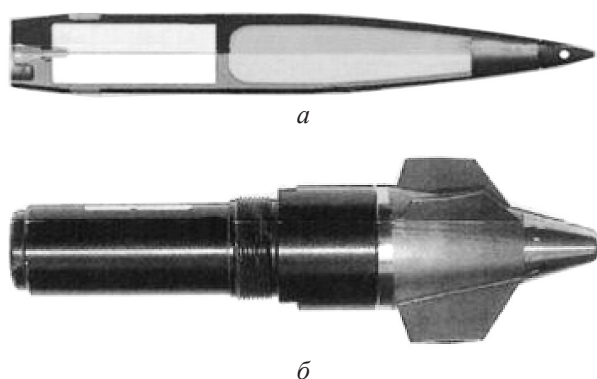


Рис. 1. Перспективный 155-мм активно-реактивный снаряд (АРС) XM1113:

а — предполагаемая конструкция;
б — универсальный блок наведения PGK



Рис. 2. Макет 155-мм боеприпаса XM1155 с прямоточным воздушно-реактивным двигателем

Особенностью их конструкции является наличие раскрывающихся аэродинамических поверхностей. Данное техническое решение обеспечивает возможность продолжения полета в режиме планирования и достижения дальности стрельбы 20 км для 81-мм и 33 км для 120-мм боеприпасов. Непосредственное наведение на цель осуществляется с помощью лазерной полуактивной головки самонаведения (КВО не более 5 м).

Проводимые в США работы по совершенствованию систем полевой артиллерии направлены на повышение максимальной дальности стрельбы (до 150 км) за счет включения в состав боекомплекта перспективных высокоточных управляемых боеприпасов и модернизации состоящих на вооружении орудий. При этом улучшение показателей точности поражения целей (КВО не более 5 м) планируется достичь путем оснащения снарядов и мин инерциальными навигационными системами с коррекцией по данным КРНС Navstar, ГСН или универсальными блоками наведения.

Кроме США, разработкой управляемых высокоточных дальнобойных 155/127-мм артиллерийских снарядов со спутниковой системой наведения занимаются в Италии, Франции, Англии, Швеции, Южной Корее и Китае.

Итальянская компания Oto Melara, входящая в холдинг Leonardo-Finmeccanica, совместно с германской компанией Diehl достигли значительных успехов в разработке семейства управляемых самонаводящихся 127-мм снарядов Vulcano и сейчас работают над созданием управляемого 155-мм снаряда Vulcano GLR (Guided Long Range) [1–4].

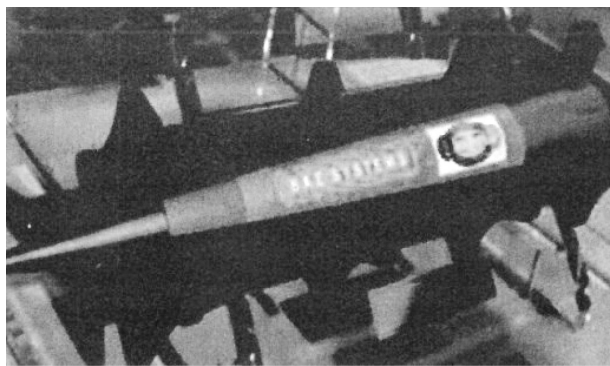
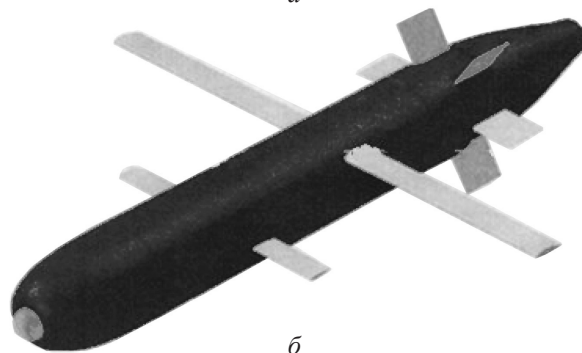


Рис. 3. Макет гиперзвукового снаряда HVP в обтюраторе для 155-мм орудия

Французские компании участвуют сразу в нескольких программах, которые опираются на финансовую поддержку Агентства оборонных закупок Франции DGA (Defense Procurement Agency). Одной из программ DGA является программа по разработке и производству высокоточного артиллерийского снаряда «боеприпаса метровой точности» — Metric-Precision Munition (MPM). Длина снаряда составит 1 м, дальность полета с использованием навигационной системы с середины курса — около 40 км, а без использования навигационной системы — 28 км. По заявлению компании Nexter снаряд будет иметь новую высокомогущую боевую часть и



а



б

Рис. 4. Планирующие управляемые мины:
а — опытный образец калибра 81-мм;
б — возможный облик 120-мм боеприпаса

очень высокую точность (КВО менее 1 м). Снаряд будет совместим со всеми гаубицами, имеющими ствол длиной 39 и 52 калибра стандарта JBMoU НАТО.

Другой программой, в которой участвует французская компания Nexter, является международная программа по разработке высокоточного снаряда повышенной дальности, известная как MPPA (Munition de Precision a Portee Accrue). В рамках этой программы компания Nexter работает совместно со шведской компанией BAE Systems Bofors, с французскими и английскими филиалами международной компании MBDA (Matra BAE Dynamics Alenia — ведущий европейский разработчик и производитель ракетных систем) и английской компанией Qinetiq над 155-мм управляемым снарядом Impaqt Mk1. (рис. 5).

Целью программы Impaqt Mk1 является создание управляемого снаряда с увеличенной до 60 км дальностью. Для французской армии предполагалось разработать снаряд со свободно вращающимся оперением с дальностью полета около 60 км. Снаряд будет наводиться с помощью IMU/GPS системы, обеспечивающей точность наведения до 10 м, а для перенацеливания в полете оснащаться соответствующим передатчиком. Так же как и в 155-мм снаряде Марсег (MPM), рассматривается возможность включения человеческого контура обратной связи — полуактивного лазерного наведения на конечном участке полета.

Для британской армии в соответствии с программой Indirect Fire Precision Attack (точный огонь с закрытой позиции) разрабатывается снаряд Impaqt Mk2. Снаряд будет выполнен с использованием легких композитных материалов и содержать три самоприцеливающихся суббоеприпаса Bonus. В планирующем полете предполагается достичь дальности 100 км, а с приме-

нением ракетного двигателя — 150 км. Однако в последнее время сообщений о продолжении работ над снарядом Impaqt Mk1 и Mk2 не поступало, что позволяет предполагать о закрытии этих программ. Кроме того, с начала 2015 года компания Nexter разрабатывает другой управляемый 155-мм снаряд повышенной дальности под названием Menhir (рис. 6).

Наведение снаряда будет осуществляться с помощью спутниковой и инерциальной систем наведения GPS/INS (Inertial Navigation System).

Среди азиатских стран больших успехов в разработке управляемых артиллерийских снарядов достигли Южная Корея и Китай [3].

В Южной Корее специально для новой 47-тонной гаубицы K-9 со 155-мм стволом длиной 52 калибра разработан управляемый противотанковый артиллерийский снаряд Anti-tank Smart Munition, похожий на снаряд Excalibur. Управление снарядом осуществляется с помощью GPS и инерциального блока IMU. Кроме того, южнокорейская корпорация Poongsan разрабатывает управляемый планирующий артиллерийский снаряд GGAM100K (Guided Glide Artillery Munition) с дальностью полета около 100 км, траектория которого в сравнении с траекторией полета обычного снаряда и снаряда с донным генератором приведена на рис. 7.

Снаряд выполнен по самолетной схеме и имеет большие крылья, которые позволят ему планировать на такую дальность (рис. 8). Управление осуществляется с помощью четырех рулей, расположенных в хвостовой части снаряда.

Известно, что китайская промышленная группа SICONG, специализирующаяся на разработке и производстве оптоэлектронного оборудования, с 2005 года освоила производство ГСН для китайских аналогов «Краснополя». В дальнейшем Китай разработал типоряд 155-мм управляемых снарядов с различными система-



Рис. 5. Модель англо-франко-шведского 155-мм высокоточного снаряда повышенной дальности Impaqt Mk1



Рис. 6. 155-мм управляемый снаряд Menhir на выставке Eurosatory-2016

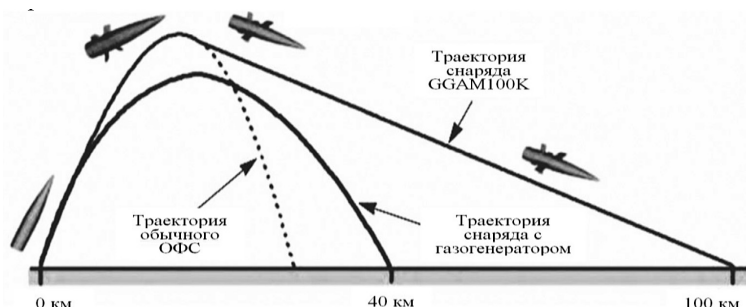


Рис. 7. Условные траектории обычного 155-мм снаряда, снаряда GGAM100K (дальность 100 км) и снаряда с донным газогенератором (дальность 40 км)

ми наведения: с лазерной системой наведения — GP155 и его модификации GP155A, со спутниковой системой наведения — GP155B, способной принимать сигналы как американской GPS, так и китайской спутниковой навигационной системы Beidou Global Navigation Satellite System (GNSS). Разработан также третий неуправляемый вариант GP155G, предназначенный для борьбы с бронированными целями. Он содержит один самоприцеливающийся боевой элемент [4].

В 2014 году на 10-м Международном авиакосмическом салоне Airshow China 2014, проходившем в китайском городе Чжухай, были представлены два варианта 155-мм управляемого снаряда WS-35 (рис. 9).

Оба варианта снаряда WS-35 предназначены для стрельбы из китайской 155-мм гаубицы PLZ-05 и ее модификации PLZ-04 с длиной ствола 52 и 54 калибра соответственно. Наводиться снаряды будут с помощью комбинации инерциальной системы наведения и китайской спутниковой навигационной системы Beidou

GNSS. Первый вариант снаряда WS-53B весьма похож на американско-шведский снаряд Excalibur и, скорее всего, как и Excalibur, содержит донный газогенератор. Второй вариант WS-35R имеет несколько большую длину, другую конструкцию хвостового блока и, по сообщениям некоторых источников, содержит ракетный двигатель. В тех же источниках сообщается, что второй вариант снаряда будет способен улетать на дальность до 100 км [3], хотя по оценкам специалистов эта дальность является явно завышенной.

Рассмотренные образцы снарядов не исчерпывают всего перечня управляемых артиллерийских боеприпасов, разрабатываемых в других странах мира. Кроме США и перечис-

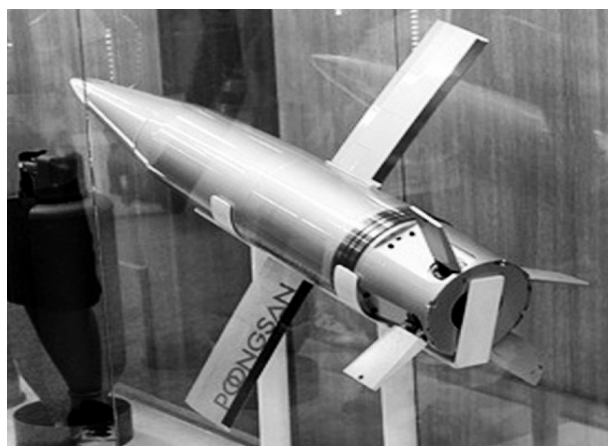


Рис. 8. Макет 155-мм снаряда GGAM100K на выставке IDIF 2010



Рис. 9. Макеты китайских 155-мм управляемых снарядов на выставке Airshow China 2014: WS-35B слева и WS-35R справа

ленных стран разработкой и производством подобных боеприпасов занимаются Израиль, Иран, Малайзия и др. Многие страны, не ведя собственных разработок, закупают управляемые артиллерийские боеприпасы у стран-разработчиков.

Разработка отечественных перспективных управляемых боеприпасов проводится в рамках различных ОКР по созданию боеприпасов второго и третьего поколения и средств, обеспечивающих их применение.

Анализ развития перспективных высокоточных боеприпасов ствольной артиллерии показывает, что огромные средства вкладываются в разработку управляемых артиллерийских снарядов (УАС) с НП СНС. Максимальные по масштабам работы в этой области ведутся в США. Также, кроме США, десятки стран в Европе и Азии занимаются созданием подобных боеприпасов. С каждым годом к этому процессу присоединяется все большее число фирм и предприятий.

Это обусловлено наличием научно-технического задела и возросшими техническими возможностями по созданию и совершенствованию подобного типа боеприпасов, а также их относительной дешевизной по сравнению с боеприпасами с системами активного и пассивного самонаведения, а также тенденциями к ведению локальных военных конфликтов региональных масштабов, в которых глобальные спутниковые системы наведения позволяют осуществлять коррекцию траектории УАС.

Явное превосходство УАС с НП СНС по дальности применения, точности стрельбы, могуществу воздействия, оперативности, эффективности и вероятному объему решения задач ОПП по сравнению с другими боеприпасами будет определяющим фактором перспектив их развития и применения во всех сферах вооруженной борьбы.

Литература

1. Бабичев В.И., Ветров В.В., Баканеев С.А. и др. Управляемое вооружение. Эффективность, эксплуатация, применение: монография; [год общей редакцией академика РАН Бабичева В.И.]. Тула: АО «КБП», 2021. 114 с.
2. Зубов В.Н. Управляемые артиллерийские снаряды с GPS-наведением для армии и ВМС США // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2017. № 2 (97). С. 105–113.
3. Зубов В.Н. Разработка новых управляемых 155-мм артиллерийских снарядов в европейских и азиатских странах // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2017. № 1 (96). С. 111–118.
4. Бабичев В.И., Игнатов А.В., Хохлов Н.И., Шигин А.В. Система артиллерийских высокоточных боеприпасов. // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2013. № 3 (78). С. 17–18.
5. Бабичев В.И., Хохлов Н.И., Шигин А.В. Общие сведения о зарубежных боеприпасах с системой коррекции траектории // Известия ТулГУ. Технические науки. 2019. Вып № 8. С. 263–275.
6. Запорожец В.И., Руссков В.Ф., Ладный С.Д., Иванов В.И. Высокоточные боеприпасы. Основы устройства и проектирования: учеб. пособие. СПб., 2003. 114 с.
7. Алябьев С.А., Гудков Н.В., Русин В.В. и др. Эффективность комплексов управляемого ракетно-артиллерийского вооружения: учебное пособие; [под общей редакцией академика РАН А.Г. Шипунова]. Тула, 2011. 150 с.
8. Отчет о КНИР «Краснополь-Д-3» «Разработка и уточнение методического аппарата для оценки эффективности функционирования высокоточных артиллерийских боеприпасов». М.: 3 ЦНИИ Минобороны России, 2018. 184 с.

УДК: 623.463; 621.458:006.1

DOI: 10.53816/20753608_2024_2_91

**ПОВЫШЕНИЕ СТЕПЕНИ УНИФИКАЦИИ
ОТЕЧЕСТВЕННЫХ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ КОМПЛЕКСОВ
ЗА СЧЕТ НОВОГО ДАЛЬНОБОЙНОГО СНАРЯДА**

**INCREASING THE DEGREE OF COMMONALITY
OF DOMESTIC ARTILLERY COMPLEXES BY MEANS
OF A NEW LONG-RANGE PROJECTILE**

По представлению академика РАН В.М. Кашина

В.Д. Баскаков, В.Т. Калугин, Л.А. Розанов, Н.И. Сидняев

МГТУ им. Н.Э. Баумана

V.D. Baskakov, V.T. Kalugin, L.A. Rozanov, N.I. Sidnyaev

Рассмотрена возможность повышения уровня унификации артиллерийских комплексов (АК) за счет снарядов с моноблочной комбинированной двигательной установкой (МКДУ). Представлен алгоритм расчета геометрических параметров унифицированной МКДУ. Проведено сравнение расчетных характеристик новых дальнобойных снарядов с зарубежным аналогом. Предложены пути дальнейшей унификации боекомплекта отечественных АК.

Ключевые слова: унификация вооружения, артиллерийский комплекс, моноблочная комбинированная двигательная установка, модульная компоновка.

The prospect of increasing the commonality level of artillery complexes (ACs) by means of projectiles fitted with a single-block integral propulsion system (SBIPS) is discussed. Presented is an algorithm for defining geometric parameters of the common SBIPS. Also presented are the evaluated characteristics of the new long-range projectiles. Ways to further the commonality of Russian ACs' ammunition equipment are proposed.

Keywords: weapons commonality, artillery complex, single-block integral propulsion system, modular design.

Введение

Анализ военно-технического развития зарубежных стран показывает тенденцию к увеличению дальности стрельбы полевой артиллерии, в частности ствольных систем калибра 152 и 155 мм. Многие зарубежные страны поставляют дальнобойные артиллерийские системы вооруженным формированиям, склонным к применению такого вооружения в террористических целях, например для обстрелов городов с мирным

населением [1]. Пресечь такие действия возможно путем контрбатарейной борьбы при помощи отечественных артиллерийских комплексов [2–4].

В нашей стране на вооружении артиллерийских частей находятся три 152-мм артиллерийских комплекса (АК) с различающимися баллистическими характеристиками орудия и габаритно-массовыми характеристиками снаряда — 2С5 «Гиацинт-С», 2С19 «Мста-С» и 2С35 «Коалиция-СВ». Стоит отметить, что некоторые из этих систем уступают по максимальной дальности стрельбы

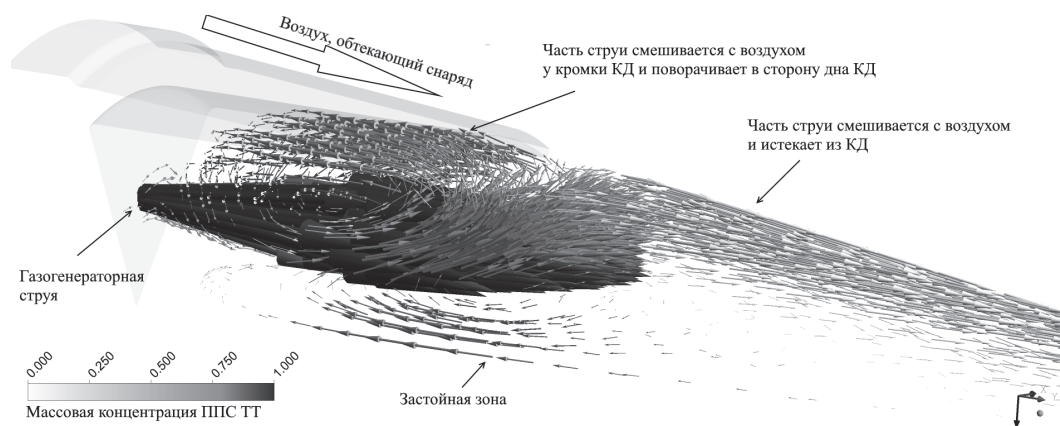


Рис. 1. Траектории газогенераторной струи APC с МКДУ, окрашенные по массовой концентрации ППС ТТ ($M_n = 3,0$)

активно-реактивным снарядом (АРС) зарубежным аналогом, например 155-мм PzH2000 с APC V-LAP. Причем в настоящее время для каждой из этих систем существует отдельный дальнбойный АРС, применение которого возможно только из соответствующего АК. Это затрудняет логистику при ведении контрбатарейной борьбы и усложняет производство боекомплекта. Целесообразным представляется рассмотреть возможность создания унифицированного дальнбойного снаряда для трех указанных АК.

Основная часть

В качестве нового дальнбойного АРС предлагается снаряд с моноблочной комбинированной двигательной установкой (МКДУ) [6]. Проведенные исследования показали его перспективность в качестве образца для АК с высокой баллистикой, что обуславливается одновременным действием на снаряд реакции газогенераторных струй и частичным дожиганием продуктов первичного сгорания твердого топлива (ППС ТТ) в донной области снаряда [7]. В качестве камеры дожигания (КД) используется донная выемка снаряда, воздух в которую поступает за счет вихревого течения в донном следе, перемешиваясь с ППС ТТ (рис. 1).

Численные исследования позволили определить рациональное значение расхода ППС заряда ТТ с постоянной площадью горящей поверхности, соответствующее максимуму дальности при нормальных условиях, а также зависимость коэффициента формы АРС с работающей МКДУ $i_{\text{акт}}$ от удлинения КД $\lambda_{\text{КД}}$ (фактически относительной

глубины донной выемки) и числа Маха полета M_n (рис. 2). Эта зависимость была аппроксимирована полиномами для дальнейшего использования в методике проектирования таких снарядов [8].

Интерес представляет использование такой МКДУ как унифицированной двигательной установки для дальнбойных АРС систем 2С5, 2С19 и 2С35, выполненной в виде отдельного модуля. При создании унифицированной МКДУ необходимо учитывать различия этих АК по основным характеристикам, оказывающим влияние на конструкцию снаряда с точки зрения прочности при выстреле и стабилизации на полете (табл. 1). Все характеристики, представленные в табл. 1, приведены к характеристикам АК 2С19 и снаряда 3ОФ61 для этого АК.

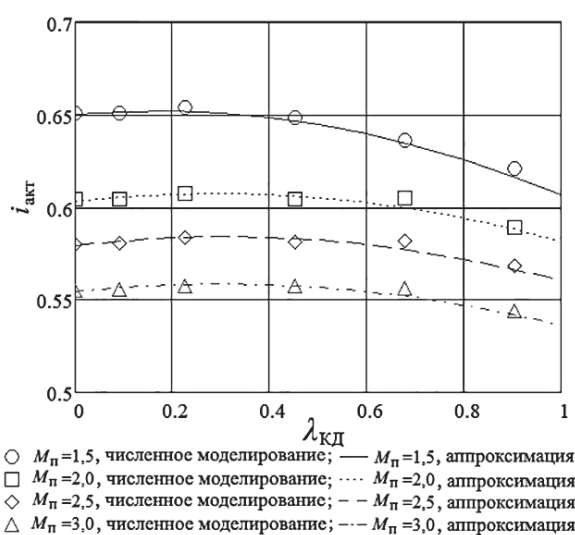


Рис. 2. Графики коэффициента формы АРС с работающей МКДУ $i_{\text{акт}}$ в зависимости от числа Маха полета M_n и удлинения КД $\lambda_{\text{КД}}$

Таблица 1

Характеристики комплексов, использованные для унификации АК по дальнобойному снаряду

Условное обозначение АК	2С19	2С5	2С35 (оценка)
Масса снаряда q_0	1,0	1,056	$\approx 1,1$
Начальная скорость снаряда V_0	1,0	1,153	$\approx 1,2$
Максимальное давление на дно снаряда $p_{\text{сн. max}}$	1,0	1,111	$\approx 1,12$
Длина хода нарезов η	1,0	1,136	$\approx 0,9$
Длина снаряда $l_{\text{сн}}$	1,0	1,0	$\approx 1,1$
Длина запоясковой части снаряда $l_{\text{зап}}$	1,0	1,0	$\approx 0,7$

При оценке гироскопической устойчивости на старте по известной формуле [9, формула (1.30)] длина хода нарезов η для каждого АК принимается постоянной.

Вводится условие минимально допустимой массы разрывного заряда (РЗ) на борту АРС: 1,1 от массы РЗ ближайшего аналога, зарубежного дальнобойного снаряда V-LAP [10]. С учетом длины взрывателя и плотности наполнителя, заданной 1700 кг/м³, этому соответствует минимально допустимая длина боевой части (БЧ) $l_{\text{БЧ. min}} \approx 3,6d$.

Заряд ТТ размещается в камере газогенератора (ГГ), занимающей как цилиндрическую часть АРС (перед и под ведущим пояском), так и коническую часть АРС (запоясковую часть). Длина камеры ГГ и толщина ее стенок определяются из условия прочности стенки АРС в нижнем сечении камеры ГГ, являющемся наиболее опасным. Как показывают расчеты [4], длина КД достаточно слабо влияет на $i_{\text{акт}}$ — его изменение в диапазоне $\lambda_{\text{КД}} = (0 \dots 1)$ составляет не более $\sim 5\%$, и на дальность полета АРС; таким образом, решающее влияние оказывает масса ТТ. Тогда $\lambda_{\text{КД}}$ может определяться исходя не из функционирования МКДУ, а из гироскопической устойчивости АРС, определяемой коэффициентом σ_r . После определения $\lambda_{\text{КД}}$ по этому принципу, ее влияние на полет АРС учитывается ранее выведенной полиномиальной зависимостью (кривые на рис. 2).

Из данных представленных в табл. 1 следует, что унифицированная МКДУ должна быть применима как для «коротких» снарядов с «длинной» запоясковой частью (для АК 2С5 и 2С19), так и для «длинных» снарядов с «короткой» запоясковой частью (для АК типа 2С35). Отсюда определяется длина цилиндрической части корпуса МКДУ $l_{\text{цил}}$:

$$l_{\text{цил}} = l_{\text{сн. min}} - l_{\text{БЧ. min}} - l_{\text{зап. max}},$$

где $l_{\text{сн. min}}$ — минимальная длина снаряда в группе АК, для которых проводится унификация; $l_{\text{зап. max}}$ — максимальная длина запоясковой части снаряда в группе АК, для которых проводится унификация.

Длина запоясковой части АРС с унифицированной МКДУ принимается как наименьшее значение для рассматриваемых АК ($l_{\text{зап. min}}$). Тогда при применении МКДУ на «длинном» снаряде для АК типа 2С35 с той же БЧ, что и для «коротких» снарядов, задел по допустимой длине АРС расходуется нерационально.

Поэтому в настоящей работе принимается, что для АРС к АК типа 2С35 используется отдельная удлиненная БЧ длиной $\approx 4,45d$. Положительными сторонами этого решения являются повышение массы РЗ и возможность удлинить головную часть снаряда, приведя ее к более аэродинамически выгодной форме [5].

Прочностной расчет для определения длины камеры ГГ и толщины ее стенок проводится для нижнего сечения стенки камеры, расположенного в запоясковой части снаряда. На стенку действуют давление наполнителя (заряда ТТ), давление пороховых газов и наседающая нагрузка от БЧ и массы самой стенки. В связи с этим расчет проводится для варианта с наиболее массивной БЧ и наибольшим давлением пороховых газов, т.е. для АК типа 2С35. Принимается, что корпус МКДУ, содержащий камеру ГГ, выполнен из легированной стали со следующими характеристиками: условный предел текучести $\sigma_{0,2} = 1400$ МПа, предел прочности $\sigma_b = 1550$ МПа, модуль Юнга 1-го рода $E = 2,16 \cdot 10^5$ МПа, относительное сужение образца после разрыва $\psi \geq 35\%$, коэффициент динамического упрочнения $K_g = 1,05$. Принято

допущение, что материал корпуса МКДУ может работать в зоне пластических деформаций при условии неперевышения их значения, соответствующего разрушению.

После прочностного расчета стенки ГГ и дна МКДУ, из их геометрических характеристик и длины запясковой части можно найти длину КД. Однако, следуя ранее заданному условию об определении длины КД через σ_r , необходимо выполнить проверку АРС с унифицированной МКДУ на гироскопическую устойчивость при применении из АК, обладающего худшими условиями для гироскопической стабилизации снарядов. В данном случае им является 2С5 ввиду наиболее «пологой» нарезки (табл. 1). При поверочных расчетах σ_r его ми-

нимально допустимое значение принималось $\sigma_{r.min} = 0,7$.

Блок-схема алгоритма создания унифицированной МКДУ представлена на рис. 3. Итоговый вариант АРС с унифицированной МКДУ представлен на рис. 4. Штриховыми линиями на рис. 4 обозначены обводы головной части варианта АРС для АК типа 2С35.

Внешние обводы АРС принимались соответствующими модельному снаряду с МКДУ, для которого были получены зависимости, представленные на рис. 2. Наличие в одном из вариантов АРС удлиненной БЧ потребовало дополнительных исследований, результаты которых также были аппроксимированы полиномиальной зависимостью. При полете на пассивном участке

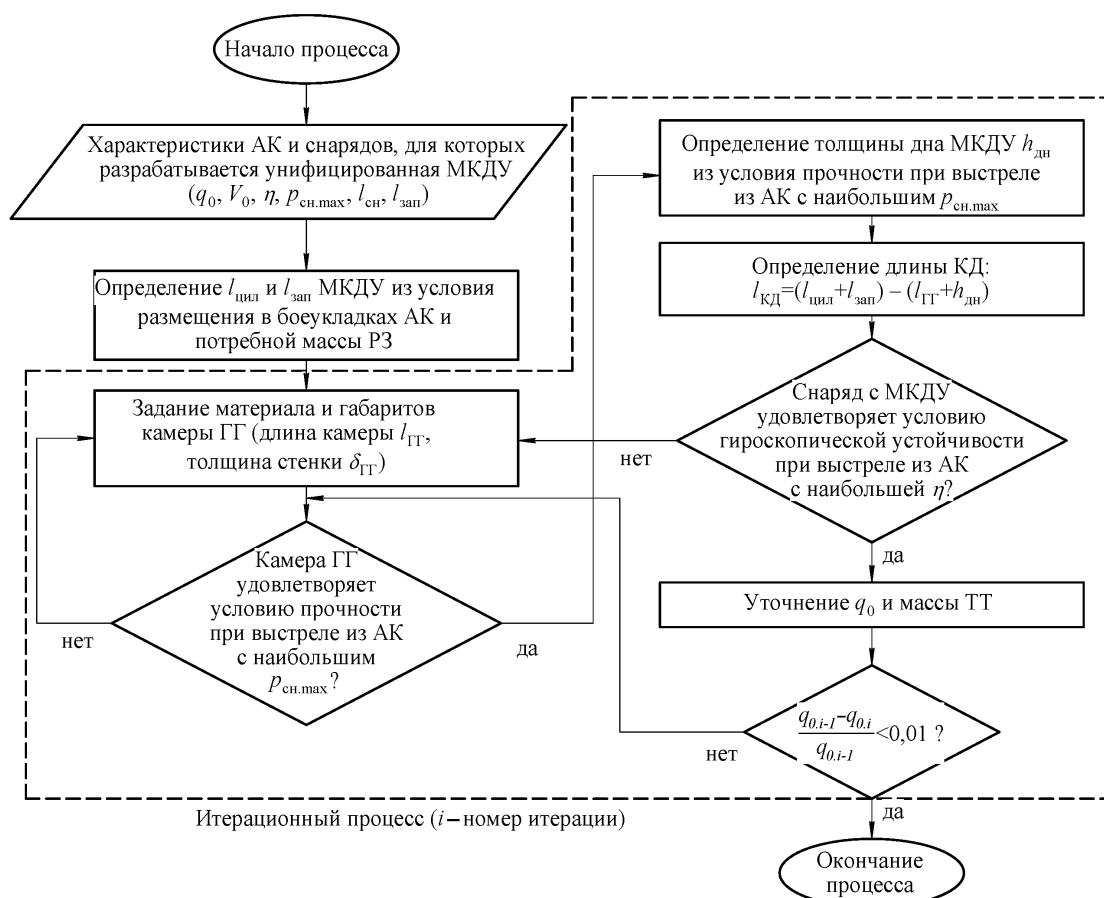


Рис. 3. Блок-схема алгоритма для определения габаритно-массовых характеристик унифицированной МКДУ и ее запаса ТТ

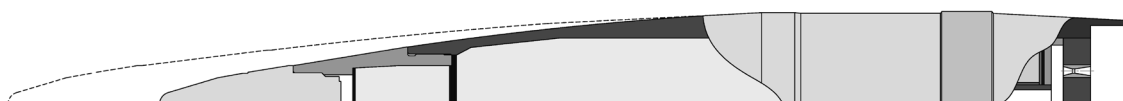


Рис. 4. Дальнобойный АРС с унифицированной МКДУ (модель)

траектории снаряд с удлиненной БЧ обладает на $\approx 7,5\%$ меньшим аэродинамическим сопротивлением, нежели образец с длиной БЧ $3,6d$.

Моменты инерции и координата центра масс снарядов с унифицированной МКДУ определялись по методике, изложенной в [4]. Части АРС со сложной геометрией (т.е. БЧ) аппроксимировались разбиением на конечные элементы dz вдоль оси снаряда, при этом образующие этих частей задавались в виде функции $r(z)$, где r — радиус конечного элемента, z — осевая координата центра масс конечного элемента от носика снаряда.

Для вариантов АРС с унифицированной МКДУ было проведено математическое моделирование полета на максимальную дальность с учетом функционирования МКДУ при помощи математической модели, показавшей удовлетворительную сходимость с результатами стрельбовых испытаний прототипа. При задании V_0 для новых снарядов принималось условие сохранения уровня давления в канале ствола [9]. В качестве ТТ рассматривался известный низкометаллизированный состав, показавший удовлетворительные прочностные и баллистические характеристики на стрельбовых испытаниях. Сравнение результатов для трех снарядов с унифицированной МКДУ с данными по снаряду V-LAP [10] приведено в табл. 2.

Необходимо отметить, что АРС с унифицированной МКДУ обладает на $47\ldots 60\%$ меньшей массой ТТ, чем V-LAP (в зависимости от оценки массы ТТ на борту V-LAP).

Для АРС с унифицированной МКДУ был определен коэффициент межпроектной унификации $K_{\text{му}}$ в соответствии с РД 50-33-80:

$$K_{\text{му}} = \frac{\sum_{i=1}^H n_i - Q}{\sum_{i=1}^H n_i - n_{\text{max}}} \times 100\%, \quad (1)$$

где H — общее количество рассматриваемых изделий; n_i — количество типоразмеров составных частей (СЧ) в i -м изделии, n_{max} — максимальное количество типоразмеров составных частей (СЧ) одного изделия, $Q = \sum_{j=1}^m q_j$ — общее количество СЧ, применяемых в группе из H изделий; q_j — количество СЧ j -го наименования; m — общее количество наименований СЧ. Данные для расчета $K_{\text{му}}$ дальнобойных АРС приведены в табл. 3.

При расчете учитывалось, что БЧ снаряда для АК 2С35 отличается от БЧ снарядов для 2С5 и 2С19 всеми деталями, кроме взрывателя. Ведущий пояс, форма которого различается для всех трех АК, считался отдельной СЧ. В качестве базового изделия взят АРС с МКДУ для 2С19. Прокладки (демпфирующие, теплозащитные) не учитываются. Комплект сопловых вкладышей считается одной СЧ. Таким образом,

$$K_{\text{му}} = \frac{3 \cdot 13 - 19}{3 \cdot 13 - 13} \times 100\% = 76,9\%.$$

На основании изложенных положений об унифицированном дальнобойном снаряде могут проводиться дальнейшие работы по унификации боекомплекта отечественных АК калибра 152 мм. Головная часть от АРС с МКДУ может использоваться на других боеприпасах, например осколочно-фугасном снаряде (ОФС) или управляемом снаряде (УС) — рис. 5. Во втором случае появляется возможность использовать на УС штатные взрыватели от неуправляемых образцов.

Предполагается, что корпусная деталь, служащая для размещения дополнительного РЗ, едина для всех вариантов ОФС и всех вариантов УС по аналогии с корпусной деталью МКДУ, и ее характеристики также обоснованы подобным образом (рис. 3). Принято допущение, что на всех вариантах ОФС будет возможным применить один и тот же заряд ТТ для донного ГГ.

Таблица 2

Сравнение АРС с унифицированной МКДУ и АРС V-LAP

Тип снаряда и АК	Максимальная дальность	Масса РЗ
V-LAP (АК с длиной ствола $39d$)	1,0	1,0
V-LAP (АК с длиной ствола $52d$)	1,317	1,0
АРС с МКДУ (АК 2С19)	0,777	1,116
АРС с МКДУ (АК 2С5)	1,105	1,116
АРС с МКДУ (АК 2С35, оценка)	1,346	1,477

Таблица 3

Данные для расчета коэффициента межпроектной унификации дальнобойных АРС
(+ — одинаковые типоразмеры СЧ одного наименования, Δ — различные типоразмеры СЧ)

Позиция	Наименование СЧ	Индекс АК			q_i
		2С19	2С5	2С35	
		n_1	n_2	n_3	
1	Взрыватель	+	+	+	1
2	Втулка переходная	+	+	Δ	2
3	РЗ втулки переходной	+	+	Δ	2
4	Головка	+	+	Δ	2
5	РЗ головки	+	+	Δ	2
6	Корпус ГГ	+	+	+	1
7	Ведущий пояс	+	Δ	Δ	3
8	Заряд топлива	+	+	+	1
9	Опорная трубка заряда	+	+	+	1
10	Опорное дно заряда	+	+	+	1
11	Дно МКДУ	+	+	+	1
12	Сопловые вкладыши	+	+	+	1
13	Обтекатель кормовой	+	+	+	1
	Итого:	13	13	13	19

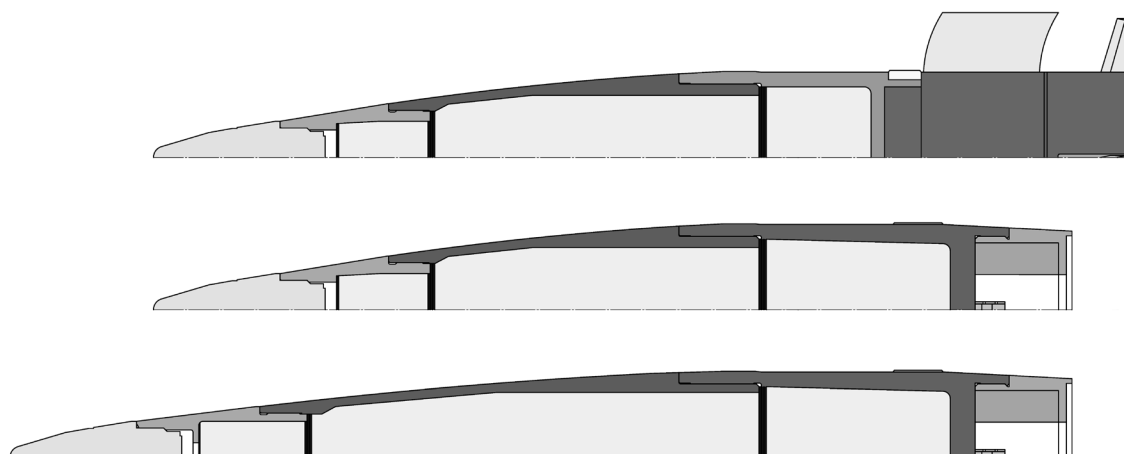


Рис. 5. Варианты ОФС и УС с повышенной степенью унификации. Вверху — УС с головной частью, заимствованной от дальнобойного АРС; посередине — ОФС для АК с «длинной» запоясковой частью и «коротким» снарядом (2С19, 2С5); внизу — ОФС для АК с «короткой» запоясковой частью и «длинным» снарядом (типа 2С35)

Габариты заряда при этом определяются исходя из условия прочности корпусной детали донного ГГ по аналогии с процессом, изложенным в блок-схеме алгоритма, рис. 3.

Предварительная оценка показывает, что такие ОФС в вариантах для АК типа 2С19, 2С5 могут иметь суммарную массу РЗ на уровне снаряда 3ОФ61, а в варианте для АК типа 2С35 этот показатель составляет порядка 1,15 от массы

РЗ 3ОФ61. Данные для расчета $K_{\text{му}}$ таких ОФС приведены в табл. 4. Согласно формуле (1), при таком подходе к формированию технического облика ОФС $K_{\text{му}} = 72,7 \%$.

В табл. 5 приведены данные, позволяющие определить $K_{\text{му}}$ для комплекта снарядов, построенных по предложенной схеме: дальнобойный АРС с унифицированной МКДУ, ОФС с головной частью от дальнобойного АРС

Таблица 4

Данные для расчета коэффициента межпроектной унификации ОФС с боевой частью, построенной на базе унифицированного дальнобойного АРС

Позиция	Наименование СЧ	Индекс АК			q_i
		2С19	2С5	2С35	
		n_1	n_2	n_3	
1	Взрыватель	+	+	+	1
2	Втулка переходная	+	+	Δ	2
3	РЗ втулки переходной	+	+	Δ	2
4	Головка	+	+	Δ	2
5	РЗ головки	+	+	Δ	2
6	Корпусная деталь боевой части	+	+	+	1
7	Ведущий пояс	+	Δ	Δ	3
8	Дополнительный РЗ боевой части	+	+	+	1
9	Заряд ТТ для донного ГГ	+	+	+	1
10	Корпус донного ГГ	+	+	+	1
11	Сопроводитель горения	+	+	+	1
	Итого:	11	11	11	17

Таблица 5

Данные для расчета коэффициента межпроектной унификации ОФС, дальнобойного АРС и УС

Позиция	Наименование СЧ	Индекс АК			q_i
		2С19	2С5	2С35	
		n_1	n_2	n_3	
1	Головная часть	+	+	Δ	2
2	МКДУ	+	+	+	1
3	Цилиндрическая часть ОФС с дополнительным РЗ	+	+	+	1
4	Цилиндрическая часть УС с дополнительным РЗ	+	+	+	1
5	Ведущий пояс	+	Δ	Δ	3
6	Проскальзывающий пояс-обтюратор УС	+	Δ	Δ	3
7	Донный ГГ	+	+	Δ	2
8	Аппаратурный отсек УС	+	Δ	Δ	3
	Итого:	8	8	8	16

и унифицированной корпусной частью, содержащей дополнительный РЗ, и УС с головной частью от дальнобойного АРС и унифицированной корпусной частью, содержащей дополнительный РЗ. Расчет проведен для боекомплекта, состоящего из отдельных модулей. При расчете принято, что УС для трех АК различаются аппаратурными отсеками и поясками-обтюраторами ввиду разных уровней перегрузок, реализуемых при выстреле из этих АК. Согласно формуле (1), для такого варианта боекомплекта $K_{\text{му}} = 50,0 \%$.

Выводы

Результаты проработки АРС с унифицированной МКДУ показывают не только высокий коэффициент унификации новых дальнобойных снарядов ($\approx 77 \%$), но и преимущества по максимальной дальности и массе РЗ перед одним из наиболее дальнобойных зарубежных АРС. Однако остается ряд нюансов, требующих дальнейшей проработки. К ним относятся вопросы прочности заряда ТТ при пластической деформации корпуса ГГ в районе опасного

сечения, вопрос центрирования снаряда с удлиненной БЧ в канале ствола, а также сравнительно низкая дальность стрельбы из АК 2С19. В первом случае это может быть решено оптимизацией внешних обводов запоясковой части АРС. Во втором — выполнением центрирующих выступов на оживальной части снаряда или применением отделяющихся секторных центрирующих колец. В третьем — применением нового дальнобойного метательного заряда, обладающего пониженной зависимостью баллистических характеристик от температуры заряда, или другого топливного состава для МКДУ с повышенной удельной теплотворной способностью.

Намеченные пути дальнейшего повышения унификации АК калибра 152 мм показывают, что существует возможность унифицировать боекомплект, состоящий из дальнобойного АРС, ОФС и УС на 50 %.

Литература

1. Добрунов М.В. В ДНР заметили переход ВСУ на самую дальнобойную артиллерию [Электронный ресурс] // РБК: сайт. URL: <https://www.rbc.ru/politics/29/10/2022/635c84e09a7947b97c8cb d2a> (дата обращения: 13.06.2023).
2. Литвиненко В., Цеханович Д. Особенности организации контрбатарейной борьбы в специальной военной операции [Электронный ресурс] // Армейский сборник. Журнал Министерства обороны Российской Федерации: сайт. URL: <https://army.ric.mil.ru/Stati/item/424559/> (дата обращения: 13.06.2023).
3. Доучаев А. Война по-украински: артиллерийские дуэли решают все [Электронный ресурс] // Еженедельник «Звезда»: сайт. URL: <https://zvezdaweekly.ru/news/20227271310-Ob2nL.html> (дата обращения: 13.06.2023).
4. Parsons D. Ukrainian War Validates Pursuing Very Long-Range Artillery Army Says [Электронный ресурс] // The Drive: сайт. URL: <https://www.thedrive.com/the-war-zone/ukraine-war-validates-pursuing-very-long-range-artillery-army-says> (дата обращения: 13.06.2023).
5. Розанов Л.А., Смирнов В.Е. Концепция унифицированного управляемого артиллерийского боеприпаса и возможности ее реализации // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2019. № 1–2 (127–128). С. 93–99.
6. Способ увеличения дальности полета активно-реактивного снаряда и активно-реактивный снаряд с моноблочной комбинированной двигательной установкой (варианты): пат. 2751311 Рос. Федерация № 2020118026; заявл. 01.06.2020; опубл. 13.07.2021. Бюл. № 20. 15 с.
7. Перспективы улучшения баллистических характеристик современных дальнобойных снарядов / Л.А. Розанов [и др.] // Оборонная техника. 2017. № 10. С. 56–62.
8. Смирнов В.Е., Розанов Л.А. Адаптация нового типа моноблочной комбинированной двигательной установки к практике конструирования активно-реактивных снарядов // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2020. № 4. С. 101–106.
9. Смирнов В.Е., Никитина И.Е., Розанов Л.А. Основы проектирования активно-реактивных снарядов с прямоточным воздушно-реактивным двигателем на твердом топливе: учеб. пособие. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2022. 330 с.
10. Assegai Projectile Family // American Rheinmetall Munitions Inc. – URL: https://www.rheinmetall.com/media/editor_media/rheinmetallag/events/ausa_2022/american_rheinmetall_munitions/B171us0921_ARM_Asegai_Projectile_Suite_LR.pdf (дата обращения: 13.06.2023).

УДК: 623.4.017:005.334

DOI: 10.53816/20753608_2024_2_99

ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ БЕССТРЕЛЬБОВЫХ МЕТОДОВ ПРИВЕДЕНИЯ К НОРМАЛЬНОМУ БОЮ ТАНКОВЫХ ПУШЕК КАК ЗАДАЧА СИСТЕМНОЙ КООРДИНАЦИИ

IMPROVING THE RELIABILITY AND EFFECTIVENESS OF FIRING-FREE METHODS OF BRINGING OF TANK GUNS TO A NORMAL FIGHT, AS A PROBLEM OF SYSTEM COORDINATION

А.С. Афанасьев¹, Ю.Л. Вященко¹, академик РАН К.М. Иванов¹, чл.-корр. РАН А.Г. Тарнаев²

¹ БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, ² АО «Завод № 9»

A.S. Afanasyev, Yu.L. Vyaschenko, K.M. Ivanov, A.G. Tarnaev

Рассмотрены физические и статистические закономерности в информационной среде тактико-технических характеристик (ТТХ) и факторов, их определяющих, при обеспечении требуемой точности стрельбы танковых пушек. Раскрыты связи ТТХ, как системных показателей, с разнообразием и многомерностью погрешностей при стрельбе из танка. Обоснована целесообразность бесстрельбовых методов оценки точности стрельбы образца танкового артиллерийского орудия.

Ключевые слова: танковое орудие, точность стрельбы, ошибки стрельбы, бесстрельбовые методы.

Physical and statistical patterns in the information environment of tactical and technical characteristics (TTC) and their determining factors are considered, while ensuring the required accuracy of firing tank guns. The connections of TTC, as system indicators, with the variety and multidimensionality of errors when firing from a tank are revealed. The expediency of firing-free methods for evaluating the accuracy of firing from a sample of a tank artillery gun is substantiated.

Keywords: tank gun, shooting accuracy, shooting errors, firing-free methods.

Введение

Информационно-системное управление рисками в направлении точности стрельбы предполагает анализ факторов конструктивного, технологического и эксплуатационного характера, вызывающих погрешности, влияющие на точность стрельбы, и, соответственно, выработку способов уменьшения их влияния, тем самым минимизируя риски. Одновременно точность стрельбы может рассматриваться как параметрическая надежность в формате выполнения требований к системным параметрам $СП_j \in [СП_j] \gamma_j$. При этом представления физических и статистических

закономерностей в информационной среде тактико-технических характеристик и факторов, их определяющих, обуславливают физические основания управления рисками, связанными с точностью стрельбы, в процессах разработки образцов танкового вооружения (ОТВ).

Особенности организации информационного процесса разработки ОТВ в параллельных потоках проектирования

Цикличность процесса создания ОТВ и изменения, связанные с переходом с одного проектного этапа на другой, обуславливают введение

информационной системы координат ИСК_j, привязанной к каждому проектному циклу и характеризующейся оператором L_j , моделью проектного решения МПР_j и метрикой в виде информационного критерия адекватности η_j . При этом информационный коэффициент адекватности характеризует степень приближения j -го этапа разработки ОТВ к объекту анализа, разработка которого полностью завершена [1]: $0 \leq \eta_j \leq 1$, $j = \overline{1, S}$ ($\eta_s = 1$ — значение информационного коэффициента адекватности на завершающем этапе разработки ОТВ).

Создание ОТВ происходит по параллельным «потокам» проектирования. К этим потокам относятся: проектирование ОТВ и его компонентов, проектирование технологии производства и монтажа, проектирование процесса эксплуатации. Информационные коэффициенты адекватности η_j отслеживают системную координацию исходных данных, алгоритмов, процедур принятия решений, результатов смежных j -го и $(j+1)$ -го этапов жизненного цикла ОТВ в каждом из параллельных «потоков» проектирования и, следовательно, позволяют оценивать эффективность проектных, технологических, организационных и логистических решений.

В свою очередь, информационные связи между параллельными «потоками» проектирования, их этапами и стадиями характеризуются информационным показателем воспроизводимости V_j ($0 \leq V_j \leq 1$) и информационным показателем логистичности W_j ($0 \leq W_j \leq 1$) [1, 2].

В информационных системах координат ИСК_j операторы L_j и информационные критерии адекватности η_j учитывают особенности состояния и организации информационного процесса разработки ОТВ в характерных точках перехода (контрольных точках) в каждом из параллельных потоков проектирования. Здесь контролируется выполнение условий перехода с этапа на этап, связанное с проверкой выполнения требований СП_{ij} $\in$ [СП_{ij}] γ_{ij} , $i = \overline{1, n}$, и перестраиваются процессы в том отношении, что осуществ-

ляется переход к очередному уровню генерирования и использования описания (представления), создаваемого, изготавливаемого и эксплуатируемого ОТВ с соответствующим перестроением информационной базы, алгоритмики, системы принятия решений и т.п.

Формализуя информационно-системные свойства процесса создания ОТВ как циклического информационного процесса, его можно, согласно [1], представить в виде последовательной цепи (рис. 1).

На рис. 1 изображены:

L_j — системный оператор (инструментарий) j -го этапа разработки (стадии разработки) ОТВ;

МПР_j — результат j -го этапа разработки: модель проектного решения j -го этапа, понимаемая в широком смысле;

$I_{\text{вх}j}$ и $I_{\text{вх}(j+1)}$ — синтаксическая входная информация на входе j -го и $(j+1)$ -го проектного элемента, обеспечивающая принятие технических решений, отвечающих требованиям ТТЗ по всей номенклатуре заданных системных показателей ОТВ, в том числе подтверждения соответствующих точности и достоверности оценок;

$I_{\text{вх}}^{(j-1)}$ — информация о системных показателях, полученная на $(j-1)$ -м этапе разработки, ценная (полезная) с точки зрения использования ее в качестве априорной информации при оценке точности и достоверности достигнутого уровня СП на j -м этапе (j -й стадии) разработки;

$I_{\text{вых}j}$, $I_{\text{вых}(j+1)}$ — выходная информация о системных показателях, полученная на j -м и $(j+1)$ -м проектных этапах, взвешенная по полезности, если ее рассматривать в «координатах» ИСК j -го и $(j+1)$ -го проектных циклов;

$I_{\text{вх}}^{(j+1)}$ — информация о системных показателях, полученная на j -м этапе разработки, ценная (полезная) с точки зрения ее использования в качестве априорной информации при оценке точности и достоверности достигнутого уровня СП на $(j+1)$ -м этапе разработки;

η_j — информационный критерий адекватности, выполняющий роль метрики соответствующей

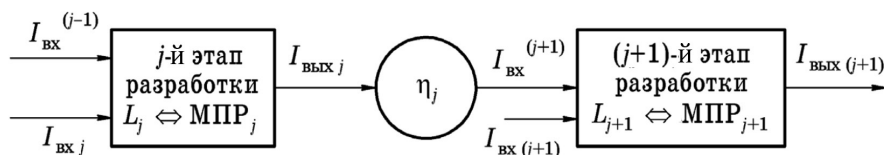


Рис. 1. Схема сопряжения последовательных циклов информационного процесса разработки ОТВ

щей ИСК_{*j*} и одновременно показатель, корректирующий выходную информацию *j*-го этапа $I_{\text{вых}j}$ в априорную информацию $I_{\text{вх}}^{(j+1)}$, входную по отношению к (*j* + 1)-му проектному этапу.

Схема сопряжения последовательных циклов информационного процесса разработки ОТВ и все объекты этой схемы (L_j , МПР_{*j*}, $I_{\text{вх}j}$, $I_{\text{вх}(j+1)}$, $I_{\text{вх}}^{(j-1)}$, $I_{\text{вых}j}$, $I_{\text{вых}(j+1)}$, $I_{\text{вх}}^{(j+1)}$, η_j) характеризуют информационную структуру процессов каждого из параллельных потоков проектирования.

При этом характеристиками информационного процесса разработки изделия, определяющими рациональную организацию управления процессом, являются его стоимостные C_j и временные T_j показатели, минимизации которых необходимо добиваться. Для сокращения затрат, достигаемого не в ущерб точности подтверждения полученного уровня системных показателей, целесообразно привлекать дополнительную априорную информацию. В качестве таковой могут быть использованы результаты анализа достигнутого уровня и соответствующей степени достоверности оценки системных показателей изделия, как полученные на предшествующих этапах проектирования, так и имеющие отношение к танковым пушкам, являющимся образцами и прототипами разрабатываемого ОТВ.

Следует отметить, что операторная модель L_j и модель принятия решения МПР_{*j*} *j*-го этапа разработки ОТВ в отношении выполнения требований ТТЗ по точности стрельбы танковой пушки (ТП), как и в отношении любой другой системной характеристики $\text{СП}_{ij} \in [\text{СП}_{ij}] \gamma_{ij}$, представляют собой практикуемые ряды моделей, методов, алгоритмов, проектных технологий и практик. Согласно с этому, исходная информация $I_{\text{вх}}^{(j-1)}$ и $I_{\text{вх}j}$ представляет собой вектора, отражающие параметрическую многомерность и разноплановость со своей иерархией и взаимообусловленностью.

Так, суммарная ошибка стрельбы формируется в результате совместного влияния множества факторов. Погрешности выстрела определяются составом и структурой комплекса вооружения, техническими характеристиками пушек, боеприпасов и систем управления огнем (СУО), условиями и способами стрельбы, подготовленностью экипажа и напряженностью его работы в танке.

Сказанное подтверждается анализом погрешностей стрельбы комплекса артиллерийского вооружения танка в плане уточнения их уровня и выбора возможных направлений работ по уменьшению погрешностей для обеспечения выполнения требований ТТЗ по точности стрельбы [3–6].

Представления физических и статистических закономерностей в информационной среде тактико-технических характеристик и факторов, их определяющих, обуславливают полноту раскрытия связей ТТХ и системных показателей образцов ОТВ и обеспечивают подготовку исходных данных для задачи динамического анализа системы «выстрел–пушка» в статистической постановке как задачи параметрической надежности и управления рисками.

Полный состав факторов, определяющих суммарную ошибку стрельбы, значимых с точки зрения организации стрельбы и расчета исходных установок, а также факторов, контролируемых при организации стрельбы, с необходимыми уточнениями рассмотрен в [3–6].

Анализ учитываемых групп погрешностей показывает, что повышение точности стрельбы за счет совершенствования комплекса «пушка–выстрел» возможно при уменьшении погрешностей в группах прицеливания и рассеивания снарядов. В группе погрешностей прицеливания наиболее значимой является погрешность определения индивидуального угла вылета (ИУВ).

В соответствии с ГОСТ В 20133–84, угол вылета артиллерийского снаряда — это угол между вектором начальной скорости артиллерийского снаряда и касательной к действительной оси канала ствола в дульной его части после наводки орудия в цель. Индивидуальный угол вылета — это среднее значение вектора начальной скорости снаряда, присущее конкретному стволу и определяемое влиянием постоянных параметров пушки (прямолинейность канала ствола, плечо динамической пары, силы и моменты противоткатных устройств).

Знание параметров и процесса формирования углов вылета позволяет наметить пути улучшения кучности и повышения точности определения ИУВ. При этом значимой является процедура приведения к нормальному бою (ПНБ) танковых пушек.

Так, на Заводе № 9 практикуют оправдавшую себя, апробированную технологию бесстрельбового анализа точности стрельбы с определением ИУВ и реализацией процедуры ПНБ разрабатываемых ОТВ в системной координации как с актуальной, так и с априорной информацией.

Повышение эффективности бесстрельбовых методов ПНБ танковых пушек

Приведение к нормальному бою танковых пушек Д-81 осуществлялось по единой методике, предусматривавшей проведение ПНБ стрельбой на каждой изготовленной пушке, что характеризовалось повышенной затратностью средств.

Вместе с тем анализ результатов стрельб из танковых пушек 2А46М (2А46М-1) позволил установить наличие тесной корреляционной зависимости между индивидуальными углами вылета бронебойных подкалиберных снарядов (БПС) и геометрическими параметрами (дульным углом) ствола, который является одной из характеристик кривизны канала ствола и применяется в качестве основного контролируемого и сдаточного параметра при производстве стволов.

Указанная зависимость аппроксимирована линейной функцией вида $\gamma = \alpha\Theta + \beta$, где Θ — величина дульного угла; α и β — коэффициенты зависимости для расчета углов вылета.

Данная зависимость была заложена в бесстрельбовый метод ПНБ танковых пушек 2А46М, разработанный и внедренный на заводах промышленности в рамках НИР «Точность-85».

В поиске возможности повысить эффективность этапов испытаний и сдачи изготовленных ТП значимым оказалось использование для определения ИУВ в бесстрельбовых методах ПНБ танковых пушек расчетных зависимостей, которые устанавливают связь ИУВ с геометрией канала ствола, проявляющуюся при движении БПС в канале ствола. Соответствующая зависимость имеет вид

$$\text{ИУВ} = a + \sum_i^n K_i \cdot Y_i,$$

где a и K_i — статистические коэффициенты зависимостей для расчета ИУВ; Y_i — величина отклонения от прямолинейности оси направляющей части канала в i -м сечении; n — количество сечений по направляющей части канала ствола.

Для определения статистических коэффициентов зависимостей конкретной ТП необходимы следующие данные:

1) предоставляемые разработчиком боеприпасов:

- баллистические характеристики;
- геометрические параметры снаряда;
- инерционно-массовые характеристики;

2) по трубам (стволом):

- геометрические параметры канала ствола;
- результаты стрельб группы ТП (стволов);
- фактические данные ИУВ.

На этапе испытаний опытной ТП по результатам стрельб определяют расчетным путем значения a и K_i коэффициентов зависимостей для расчета ИУВ, которые в дальнейшем используются для расчетного определения ИУВ для каждой ТП с последующей выборочной (1 из 10 ТП) стрельбовой проверкой ИУВ. При невыполнении критерия точности пристрелки габарита меткости $K = 0,4$ мрад. Проводят дополнительные стрельбовые испытания ТП (вторая группа) и определяют усредненный ИУВ для конкретной ТП.

Бесстрельбовые методы ПНБ позволили устранить следующие недостатки стрельбового метода пристрелки:

- необходимость наличия специально оборудованного полигона (стрельбового тира);
- высокая стоимость;
- ограничение по точности, так как методическая погрешность стрельбы обусловлена действием целого ряда трудно контролируемых факторов, исключить влияние которых часто невозможно.

Результаты внедрения бесстрельбовых методов на заводах промышленности подтвердили их эффективность в части уменьшения погрешности пристрелки до уровня $E_{\text{пр}} = 0,07$ мрад (срединное отклонение) по сравнению с $E_{\text{пр}} = 0,13$ мрад для стрельбового метода в соответствии с проведенной в НИР «Точность-85» оценкой.

Вместе с тем на жизнеспособность бесстрельбовых методов оказывают влияние объективные процессы развития танкового вооружения.

Так, процесс развития и создания новых выстрелов с БПС повышенного могущества к ТП типа 2А46М сопровождался изменением конструкции снаряда и схемы его ведения

в канале ствола, увеличением массы и относительного удлинения корпуса снаряда (рис. 2) [7]. Эти изменения привели к изменению баллистических характеристик и ИУВ и, соответственно, к отличию углов прицеливания от их значений, заложенных в прицельном комплексе танка.

Для БПС с передней опорно-центрирующей базой на ведущее устройство (ВУ) и задней на калиберном оперении характерны высокие ударные нагрузки на снаряд в начале его движения, связанные с вхождением стабилизатора в заходной конус каморы с «перекосом» и с его высокой скоростью.

Ударные нагрузки вызывают интенсивные поперечные колебания снаряда и могут приводить к деформации оперения стабилизатора и даже к его разрушению.

Конструкция ВУ с бугелями и катушечного типа позволяет исключить ударное взаимодействие стабилизатора с заходным конусом (подкалиберное оперение), но, поскольку бугеля находятся в каморе, также возможны ударные нагрузки, инициирующие поперечные колебания корпуса снаряда, но с меньшей интенсивностью.

В рамках НИР был проведен большой объем теоретических и экспериментальных работ с БПС нового поколения с «прижимными» ВУ ЗБМ26.

Проведенный анализ показал, что решение проблемы уменьшения разброса углов вылета от пушки к пушке только за счет одного элемента комплекса (ствола или снаряда) практически невозможно.

В результате проведенного анализа установлено, что наиболее целесообразным являются одновременное проведение комплекса организационно-технических мероприятий при разработке ТП, направленных на совершенствование технологии изготовления ствольных труб, и создание конструкции малочувствительного к кривизне канала ствола БПС.

Совершенствование технологии изготовления ствольных труб должно обеспечивать снижение возмущающего воздействия кривизны ствола на снаряд.

Совершенствование конструкции БПС должно быть направлено на снижение его чувствительности к технологической непрямолинейности оси канала и, тем самым, к уменьшению зависимости угла вылета снаряда от кривизны ствола.

Применительно к танковым пушкам типа 2А46М была разработана методика бесстрельбового определения ИУВ для БПС, по которой ИУВ определяется на основании измерений отклонений от прямолинейности оси направляющей части канала изготавливаемых ствольных труб специальными приборами с последующим расчетом и учетом углов вылета всех входящих в боекомплект выстрелов в системе управления огнем (СУО) танка.

Методика поддержана разработанными Законом № 9 моделями и алгоритмами программ по определению частотных характеристик системы «пушка–выстрел», по выяснению влияния конструктивных и технологических параметров пушки на погрешности стрельбы и по определению

БПС с ВУ «разжимного» типа (ЗБМ15, ЗБМ22) с передней опорно-центрирующей базой на ВУ, задней на калиберном оперении. «Разжимные» ВУ (сектора) – БПС у которых ВУ при движении по каналу ствола под действием спутной струи пороховых газов прижимаются к стенкам канала ствола.

БПС с ВУ «прижимного» типа (рюмка) (ЗБМ26, ЗБМ32, ЗБМ42) с передней опорно-центрирующей базой на ВУ, задней на калиберном оперении. «Прижимные» ВУ (сектора) – БПС у которых ВУ (сектора) при движении по каналу ствола под действием спутной струи пороховых газов прижимаются к корпусу БПС.

БПС с ВУ «прижимного» типа (рюмка) с бугелями (пилонами) (ЗБМ48, ЗБМ40) с обеими базами на ВУ с подкалиберным оперением.

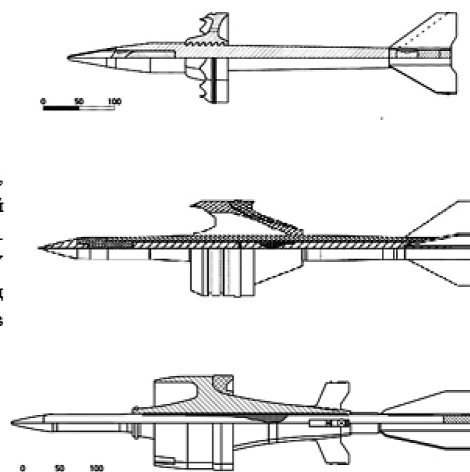


Рис. 2. БПС повышенного могущества к ТП типа 2А46М

влияния параметров системы «пушка–выстрел», в том числе прямолинейности оси канала ствола, на формирование углов вылета.

В предлагаемой методике поправки на угол прицеливания дают более точные результаты при учете влияния непрямолинейности по сравнению с определенными по существующей инструкции на пристрелку. Не требуются испытания большого количества стволов для определения коэффициентов a и K_i эмпирических зависимостей, как это требуется для расчета ИУВ по существующей инструкции.

В то же время при серийном изготовлении, для подтверждения достоверности определения ИУВ предлагаемым бесстрельбовым методом, также проводится выборочная проверка стрельбой применительно к перспективным образцам танковых пушек.

Заключение

Успешное решение задач управления рисками в потоках проектирования, требующее раскрытия связей ТТХ и системных показателей образца танково-артиллерийского вооружения с разнообразием и многомерностью погрешностей при стрельбе из танка, определяется тем, с какой полнотой и с какой требуемой мерой адекватности η_j могут быть представлены физические и статистические закономерности в информационной среде тактико-технических характеристик и факторов, их определяющих, в отношении параметров моделей проектных решений $МПР_j$ на всех j -х этапах жизненного цикла образца танково-артиллерийского вооружения.

Литература

1. Вященко Ю.Л., Афанасьев А.С., Иванов К.М. и др. Системная инженерия, риски, надежность в разработке и производстве изделий военного назначения. СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2018. 572 с.
2. Афанасьев А.С., Вященко Ю.Л., Иванов К.М., Игнатенко В.В. Информационно-системные принципы проектирования, эффективность, надежность, риски изделий стрелково-пушечного, артиллерийского и ракетного оружия. Старый Оскол: ТНТ, 2020. 376 с.
3. Лукьянов В.Н., Егоров В.В. Разработка и испытания танкового вооружения. СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2022. 144 с.
4. Иванов К.М., Тарнаев А.Г. и др. Системная координация управления рисками образца артиллерийского вооружения в потоках проектирования // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2023. № 1 (126). С. 73–77.
5. Труханов В.М., Тарнаев А.Г., Кухтик М.П. Надежность артиллерийских систем; [под ред. В.М. Труханова]. М.: Издательский дом «Спектр», 2020. 309 с.
6. Гинзбург Б.И., Агошков О.Г., Ледовский А.Д. Методы оценки точности стрельбы артиллерийских комплексов вооружения. СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2012. 200 с.
7. Куприянов В.М., Платонов А.А., Бебин А.А. и др. Анализ конструктивных особенностей ведущего устройства бронебойных подкалиберных снарядов // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2017. № 2 (97). С. 67–70.

УДК: 623.463.3; 623.416.6; 623.4.01

DOI: 10.53816/20753608_2024_2_105

К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ ДАЛЬНОСТИ СТРЕЛЬБЫ ОРУДИЙ ТИПА «ГИАЦИНТ» ЗА СЧЕТ НОВОГО АКТИВНО-РЕАКТИВНОГО СНАРЯДА **CONCERNING THE RANGE EXTENSION FOR ‘GIATSINT’-TYPE GUNS BY MEANS OF A NEW ROCKET-ASSISTED PROJECTILE**

По представлению академика РАРАН В.М. Кашина

В.Д. Баскаков, В.Т. Калугин, Л.А. Розанов, Н.И. Сидняев

МГТУ им. Н.Э. Баумана

V.D. Baskakov, V.T. Kalugin, L.A. Rozanov, N.I. Sidnyaev

Представлены результаты расчетно-теоретической оценки увеличения максимальной дальности стрельбы орудий типа 2А36, 2А37 за счет нового активно-реактивного снаряда. Новый снаряд оснащен так называемой моноблочной комбинированной двигательной установкой, обеспечивающей за счет использования в рабочем процессе атмосферного воздуха повышенные тягово-экономические характеристики по сравнению с традиционными решениями в области снарядных двигательных установок.

Ключевые слова: увеличение дальности стрельбы, модернизация артиллерии, активно-реактивный снаряд, моноблочная комбинированная двигательная установка.

Presented are the results of theoretical and computational estimate of firing range extension for 2A36, 2A37-type guns by means of a new rocket-assisted projectile. The new projectile is fitted with a so-called single-block integral propulsion system, which has improved thrust and specific impulse compared to traditional projectile propulsion systems due to the use of atmospheric air in its workflow.

Keywords: firing range extension, artillery upgrade, rocket-assisted projectile, single-block integral propulsion system.

Введение

В современном мире имеет место переход недружественных вооруженных формирований на использование оружия со все возрастающим уровнем тактико-технических характеристик. Существуют многочисленные прецеденты, когда артиллерия используется в целях, которые можно охарактеризовать как террористические — для нанесения ударов по невоенным объектам ради устрашения мирного населения и дестабилизации обстановки. Одним из проверенных методов пресечения таких действий является контрбатареинная борьба, которая требует прие-

мущества в максимальной дальности стрельбы над противником [1–4].

В области ствольных артиллерийских систем в нашей стране наблюдается отставание по максимальной дальности стрельбы от стран блока НАТО и их союзников. В частности, для 155-мм систем PzH2000, FH77, K9 и ANS Krab заявлена максимальная дальность стрельбы в 40 км и выше. По этой характеристике они превосходят отечественные арткомплексы калибра 152 мм, за исключением 2С35 «Коалиция-СВ» с максимальной дальностью стрельбы неуправляемым снарядом в 40...50 км. Однако 2С35 является новой системой, и ее освоение в серийном

производстве в количестве, достаточном для нивелирования отставания отечественной артиллерии, может занять определенное время, тогда как это отставание должно быть ликвидировано как можно скорее.

В связи с этим требуется обратить внимание на существующие в нашей стране дальнобойные арткомплексы, созданные еще в XX веке и имеющиеся в составе Вооруженных сил в сравнительно большом количестве. Это комплексы 2С5 «Гиацинт-С» с орудием 2А37 и 2С7 «Пион» с орудием 2А44. При оценке их возможностей предполагается, что для эффективного противостояния зарубежной артиллерии они должны обладать максимальной дальностью стрельбы не менее 45 км. В такой постановке задачи 2С5 с дальностью стрельбы 33,5 км существенно уступает современным иностранным системам. С другой стороны, 2С7 с дальностью стрельбы 47,5 км превосходит большинство существующих систем калибра 152/155 мм. Однако 2С7 — система более крупного калибра (203 мм), что влечет за собой отставание от 155-мм арткомплексов по мобильности, темпу стрельбы и логистическому обеспечению. К тому же орудий 2А44 было выпущено существенно меньше чем орудий 2А37, которые также существуют в буксируемом исполнении с индексом 2А36 «Гиацинт-Б».

Внесение изменений в артиллерийскую часть комплекса 2С5 в обеспечение максимальной дальности стрельбы свыше 45 км является сложной научно-технической задачей, сравнимой по материально-временным затратам с созданием нового арткомплекса. Вследствие этого актуальной задачей является оценка возможности повышения дальности стрельбы орудия с баллистикой, приближенной к 2С5, за счет нового активно-реактивного снаряда (АРС).

Основная часть

Предлагается использовать снаряд с так называемой моноблочной комбинированной двигательной установкой (МКДУ) на твердом топливе (ТТ). Такие двигательные установки используют в рабочем процессе атмосферный воздух в качестве источника дополнительного окислителя и рабочего тела, что обеспечивает использование энергоемких составов ТТ, обогащенных горючим. Эта принципиальная особенность позволя-

ет МКДУ в ряде случаев реализовать удельный импульс выше, чем у традиционно применяемых на АРС ракетных двигателей, и использовать единственный бортовой источник рабочего тела — отсюда термин «моноблочная». По сравнению с комбинированными двигательными установками АРС типа «ракетный двигатель + донный газогенератор» МКДУ позволяет достичь заданной дальности стрельбы при меньшей массе ТТ, что, в свою очередь, дает возможность повысить массу разрывного заряда (РЗ).

Ранее проведенные исследования показали, что для орудий с высокой баллистикой калибра 152 мм с точки зрения максимальной дальности стрельбы рациональной является конструктивная схема АРС с МКДУ, описанная в патенте Российской Федерации № 2751311 [5]. В этой схеме камера для дожигания продуктов первичного сгорания (ППС) ТТ, поступающих из газогенератора, имеет вид донной выемки («юбки») снаряда. За счет частичного дожигания ППС ТТ в ней повышается давление на дно снаряда. В сочетании с реакцией газогенераторных струй этот эффект позволит частично компенсировать аэродинамическое сопротивление снаряда на активном участке траектории. При этом сопротивление на пассивном участке сравнительно невысоко за счет отсутствия каких-либо выступающих частей, например, воздухозаборника — что немаловажно именно для снаряда с МКДУ.

На основании имеющегося опыта по методическому обеспечению проектирования снарядов с такой МКДУ [6] была сформирована более подробная методика проектирования, блок-схема которой представлена на рис. 1.

Методика опирается на математическую модель АРС, осуществляющего полет с учетом действия МКДУ, представляющую собой доработанный вариант модели, представленной в [7]. Ранее проведенное сравнение результатов моделирования с данными стрельбовых испытаний прототипа показало удовлетворительную сходимость результатов. Информация об аэродинамических характеристиках снаряда с работающей МКДУ и о ее тягово-экономических характеристиках получается путем численного моделирования в программном комплексе ANSYS CFX. Для снижения затрат машинного времени при рассмотрении различных вариантов АРС новой схемы автором ранее предложено аппроксимировать

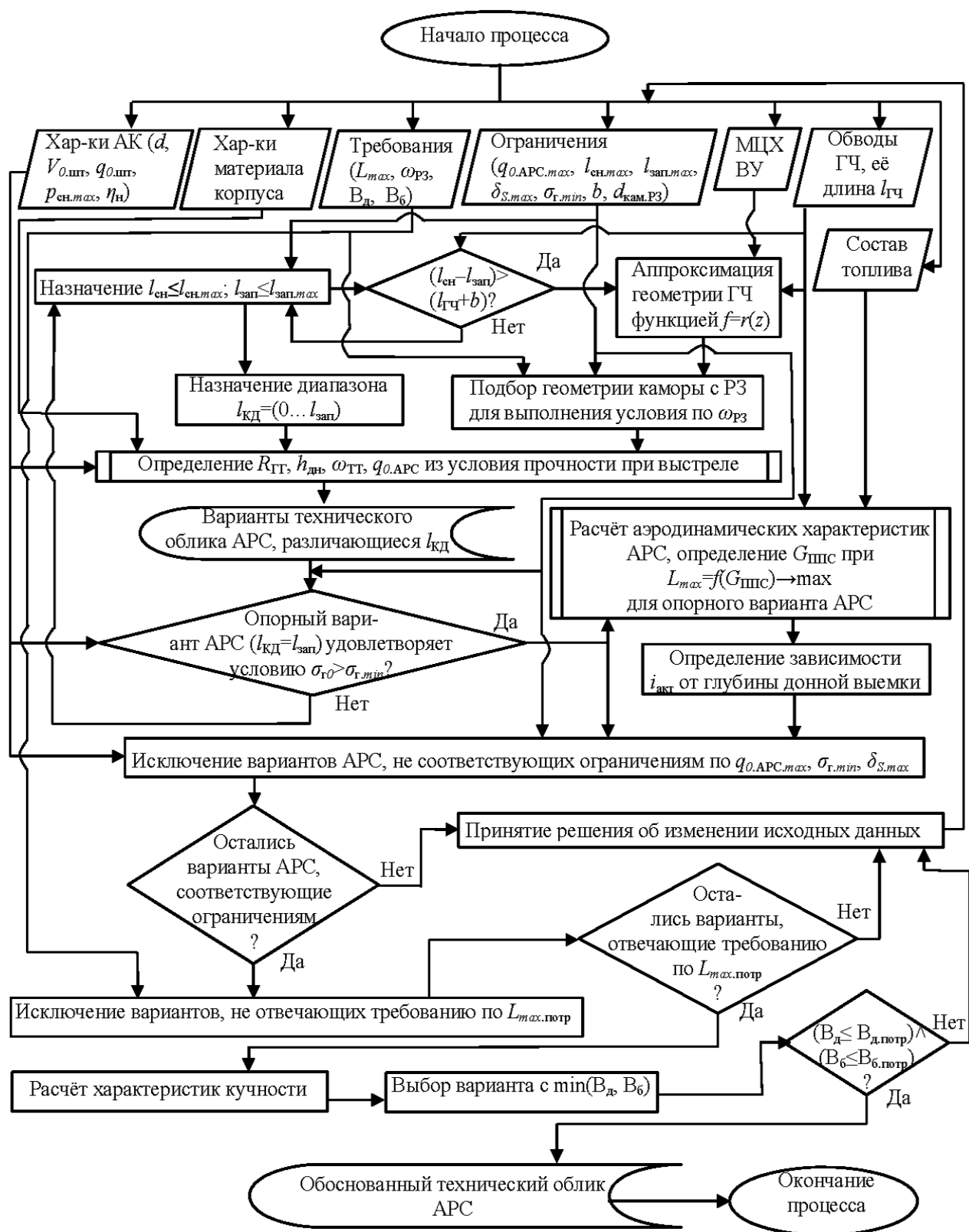


Рис. 1. Блок-схема методики проектирования АРС с МКДУ, реализующего частичное дожигание в донной выемке

коэффициент формы APC с работающей МКДУ $i_{\text{акт}}$ полиномиальной зависимостью от числа Маха полета $M_{\text{п}}$ и удлинения камеры дожигания (КД) $\lambda_{\text{КД}}$, в роли которой на данной схеме APC выступает донная выемка. Аппроксимация проводится по результатам серии численных экспериментов в ANSYS CFX для заранее заданных значений $M_{\text{п}}$ и $\lambda_{\text{КД}}$. Необходимо отметить, что $\lambda_{\text{КД}}$ является основным параметром, характеризующим МКДУ нового снаряда.

При проектировании дальнобойного APC ставится задача найти такие параметры снаряда, при которых он достигнет заданной максимальной дальности стрельбы при н.у. L_{max} , обладая РЗ заданной массы $\omega_{\text{РЗ}}$. Кроме того, необходимо выполнение требований по характеристикам рассеивания $B_{\text{д}}$ и $B_{\text{б}}$ (круговое вероятное отклонение точек попадания по дальности и по боку соответственно).

Задаются следующие исходные данные:

- характеристики арткомплекса — калибр d , начальная скорость штатного снаряда $V_{0,\text{шт}}$, масса штатного снаряда $q_{0,\text{шт}}$, максимальное давление на дно штатного снаряда при выстреле $p_{\text{сн,max}}$, крутизна нарезки $\eta_{\text{н}}$;
- ограничения на технический облик APC — максимальная стартовая масса APC $q_{0,\text{APC,max}}$, максимальная длина снаряда $l_{\text{сн,max}}$, максимальная длина запоясковой части $l_{\text{зап,max}}$, диаметр каморы под РЗ $d_{\text{кам,РЗ}}$, длина ведущего пояска b , минимальное допустимое значение коэффициента гироскопической устойчивости $\sigma_{\text{г,min}}$, максимальное допустимое значение угла нутации в вершине траектории $\delta_{\text{с,max}}$;
- масса, моменты инерции и длина взрывателя;
- обводы головной части и ее длина $l_{\text{ГЧ}}$;
- механические характеристики материала корпусных деталей;
- состав топлива.

Прочностные расчеты, расчет гироскопической устойчивости и определение начальной скорости APC из условия сохранения давления в канале ствола на уровне, соответствующем стрельбе штатным снарядом, проводились согласно положениям, изложенным в [8]. Угол нутации в вершине траектории определялся по результатам математического моделирования. Расчет характеристик рассеивания проводился по «методу 3», описанному в [9].

В рамках настоящей работы характеристики арткомплекса, подобного 2С5, заданы следующими: $d = 0,1524$ м; $V_{0,\text{шт}} = 945$ м/с; $q_{0,\text{шт}} = 46,0$ кг; $p_{\text{сн,max}} = 4 \cdot 10^8$ Па; $\eta_{\text{н}} = 25$.

Ограничения на технический облик APC заданы следующими: $q_{0,\text{APC,max}} = q_{0,\text{шт}}$; $l_{\text{сн,max}} = 5,7d$; $l_{\text{зап,max}} = 1,1d$; $d_{\text{кам,РЗ}} = 0,72d$; $b = 0,3d$; $\sigma_{\text{г,min}} = 0,7$; $\delta_{\text{с,max}} = 10^\circ$.

Обводы головной части и характеристики взрывателя заданы ориентировочно приближенными к современным дальнобойным снарядам, оснащенным многофункциональными взрывательными устройствами. Длина головной части составляет $l_{\text{ГЧ}} = 3,53d$. В ней размещается РЗ массой $\omega_{\text{РЗ}} = 0,105q_{0,\text{шт}}$. Заряд такой массы с плотностью наполнителя 1700 кг/м³ занимает только головную часть заданной длины, оставляя цилиндрическую часть снаряда под размещение МКДУ.

В целях оценки «предела возможностей» APC новой схемы на артсистемах типа 2С5, для корпусных деталей МКДУ задан материал с высокими механическими характеристиками, соответствующими стали типа 30ХН2МФА после закалки и отпуска. Учитывалось динамическое упрочнение материала при импульсных нагрузках (выстрел из ствола орудия) с коэффициентом $K_{\text{г}} = 1,05$. Допускалось, что материал может работать за пределами зоны упругих деформаций при удовлетворении условиям прочности по напряжениям и деформациям для корпуса газогенератора и заряда ТТ.

В качестве топлива задан состав, использовавшийся в предшествующих работах по обоснованию рациональной конструктивной схемы APC с МКДУ. Для него ранее было определено значение секундного расхода ППС ТТ $G_{\text{ППС}}$, соответствующее максимуму зависимости $L_{\text{max}} = f(G_{\text{ППС}})$ — рис. 2. Это же значение использовалось как номинальное в настоящей работе. На рисунке $L_{\text{расч}}$ — отношение расчетной максимальной дальности стрельбы по матмодели к потребной при обосновании конструктивной схемы APC, $G_{\text{ППС}}$ — отношение расхода ППС ТТ к максимально возможному для данного топливного состава значению.

В предложенной методике, предполагается, что заранее известно потребное значение L_{max} , при недостижении которого вариант технического облика APC исключается из рассмотрения.

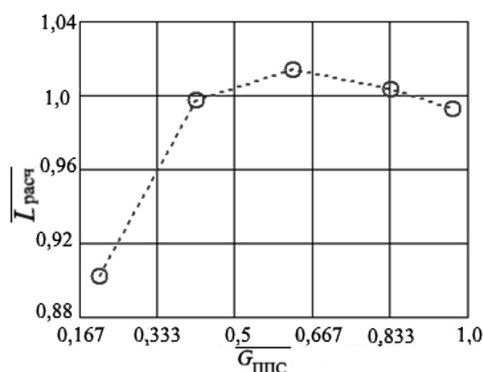


Рис. 2. Характерный вид зависимости относительной расчетной дальности стрельбы АРС $L_{\text{расч}}$ рассматриваемой конструктивной схемы от относительного расхода ППС $G_{\text{ппс}}$

В настоящей работе это условие дополнительно для оценки возможностей по повышению дальности 2С5: принято, что рациональным является вариант с наибольшей L_{max} , при этом должно выполняться условие $L_{\text{max}} \geq 45,0$ км. Характеристики рассеивания должны быть не хуже, чем у зарубежного дальнобойного снаряда V-LAP: $B_d / L_{\text{max}} \leq 1/167$, $B_0 \leq 66,3$ м [10]. В таблице представлены характеристики вариантов АРС с МКДУ для систем типа 2С5, полученных в результате применения методики. При составлении перечня вариантов время включения МКДУ на траектории принималось равным $t_{\text{вкл}} = 0$ с, то есть запуск непосредственно после покидания снарядом канала ствола.

Опорным вариантом технического облика нового АРС, согласно методике, является вариант № 1 с наиболее длинной КД. Он по определению обладает наибольшей гироскопической устойчивостью ввиду наиболее глубокой донной выемки и, следовательно, наиболее благоприятного для гироскопической стабилизации соотношения моментов инерции. После формирования опорного

варианта проводится поэтапное уменьшение $\lambda_{\text{КД}}$ за счет увеличения $\omega_{\text{ТТ}}$ и, следовательно, увеличения массы топливного заряда. Процесс формирования вариантов прекращается, когда будет нарушено условие гироскопической устойчивости на старте, условие правильности полета или ограничение на $q_{0,\text{АРС}}$. В настоящей работе вариант № 6 с длиной КД, равной 0,5 длины запясковой части снаряда, уже не удовлетворяет требованию по гироскопической устойчивости.

Наибольшей L_{max} из полученного набора технических обликов АРС обладает вариант № 3. Необходимо отметить, что по результатам прочностных расчетов у вариантов № 1...3 заряд ТТ размещается полностью в цилиндрической части корпуса снаряда, а у вариантов № 4...6 он частично занимает объем внутри запясковой части. Воздействие на стенку газогенератора пороховых газов при этом требует утолщения стенки, с чем связан рост $q_{0,\text{АРС}}$ и снижение $V_{0,\text{АРС}}$ вариантов № 4...6 по сравнению с вариантом № 3. Этим обусловлено снижение их максимальной дальности полета даже при росте массы топливного заряда относительно варианта № 3.

Применяемая на новом снаряде МКДУ использует в рабочем процессе атмосферный воздух, таким образом, ее тягово-экономические характеристики связаны с величиной скоростного напора. Как было отмечено ранее [6], коэффициент формы АРС с работающей МКДУ тем ниже, чем выше число Маха полета. Это связано с тем, что воздух в КД, имеющую вид донной выемки, попадает за счет вихревого течения позади снаряда. Поэтому, в отличие от образцов с ракетным двигателем на ТТ, зависимость $L_{\text{max}} = f(t_{\text{вкл}})$ у снаряда с МКДУ рассматриваемой схемы не имеет максимума, а является убывающей.

На основании этого сделан вывод о том, что для нового АРС величина $t_{\text{вкл}}$ должна назначаться

Таблица

Характеристики вариантов технического облика АРС с МКДУ для артсистем типа 2С5

№ п/п	Длина КД в долях $l_{\text{зап}}$	L_{max} , км	$\omega_{\text{ТТ}}$, кг	$\sigma_{\text{г.0}}$	δ_s , °	$q_{0,\text{АРС}}$, кг	$V_{0,\text{АРС}}$, м/с	$\lambda_{\text{КД}}$
1	1	46,93	1,37	0,75	9,587	37,16	1046	1,230
2	0,9	47,55	1,59	0,739	8,897	37,90	1036	1,104
3	0,8	48,03	1,81	0,726	8,175	38,70	1025	0,975
4	0,7	47,20	1,88	0,717	7,588	40,23	1005	0,850
5	0,6	47,58	2,08	0,702	6,984	41,05	995	0,730
6	0,5	47,28	2,19	0,689	6,482	42,30	980	0,607

исходя из условия затухания стартовых колебаний снаряда к моменту включения МКДУ. Поскольку, ввиду многофакторности колебательного процесса, это время сложно поддается расчетной оценке, предложено назначить твкл максимально допустимым при выполнении условий по $L_{\max}$, B_d и B_6 .

Расчет характеристик рассеивания для вариантов № 2...4 показал, что при $t_{\text{вкл}} = 1,0$ с различия в их характеристиках кучности и потерях по дальности полета пренебрежимо малы, и вариант № 3 остается наиболее дальнобойным с $L_{\max} = 47,07$ км, $B_d/L_{\max} = 1/170$ и $B_6 \approx 47$ м. При $t_{\text{вкл}} = 2,0$ с новый снаряд проигрывает V-LAP по $B_d/L_{\max}$: 1/160 против 1/167. Таким образом, время задержки запуска МКДУ для нового снаряда должно составлять не более 1 с. Вопрос о затухании колебаний снаряда к этому моменту должен углубленно рассматриваться отдельно.

Выводы

В результате выполнения настоящей работы получен положительный вывод о возможности ликвидации отставания отечественной 152-мм артсистемы 2С5 от современных 155-мм зарубежных артсистем по дальности стрельбы. За счет применения нового снаряда с МКДУ, согласно расчетам, максимальная дальность стрельбы орудий типа 2А36, 2А37 возросла на 42,2...45,1 % в зависимости от времени задержки включения МКДУ, максимально допустимое значение которого также было определено в настоящей работе. Оно обеспечивает расчетные значения кругового вероятного отклонения по дальности и по боку на уровне зарубежного дальнобойного снаряда V-LAP, при этом новый снаряд с МКДУ обладает на ~12 % большей массой РЗ.

Литература

1. Добрунов М. В ДНР заметили переход ВСУ на самую дальнобойную артиллерию [Электронный ресурс] // РБК: сайт. URL: <https://www.rbc.ru/politics/29/10/2022/635c84e09a7947b97c8cbd2a> (дата обращения: 13.06.2023).

2. Докучаев А. Война по-украински: артиллерийские дуэли решают все [Электрон-

ный ресурс] // Еженедельник «Звезда»: сайт. URL: <https://zvezdaweekly.ru/news/20227271310-Ob2nL.html> (дата обращения: 13.06.2023).

3. Пospelов М. Контрбатареяная борьба в условиях СВО [Электронный ресурс] // Информационное агентство NewsFront: сайт. URL: <https://news-front.info/2022/11/09/kontrbatarejnaja-borba-v-uslovijah-svo/> (дата обращения: 13.06.2023).

4. Литвиненко В., Цеханович Д. Особенности организации контрбатареяной борьбы в специальной военной операции [Электронный ресурс] // Армейский сборник. URL: <https://army.ric.mil.ru/Statii/item/424559/> (дата обращения: 13.06.2023).

5. Способ увеличения дальности полета активно-реактивного снаряда и активно-реактивный снаряд с моноблочной комбинированной двигательной установкой (варианты): пат. 2751311 Рос. Федерация № 2020118026; заявл. 01.06.2020; опубл. 13.07.2021. Бюл. № 20. 15 с.

6. Розанов Л.А., Смирнов В.Е. Адаптация нового типа моноблочной комбинированной двигательной установки к практике конструирования активно-реактивных снарядов // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2020. № 4. С. 101–106.

7. Королев С.А., Липанов А.М., Русяк И.Г. К вопросу о точности решения прямой задачи внешней баллистики // Вестник Томского государственного университета. 2017. № 47. С. 63–74.

8. Смирнов В.Е., Никитина И.Е., Розанов Л.А. Основы проектирования активно-реактивных снарядов с прямоточным воздушно-реактивным двигателем на твердом топливе: учебное пособие. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2022. 330 с.

9. Розанов Л.А., Смирнов В.Е., Розанов Л.А., Фомичев А.В. Сравнительный анализ методик расчета характеристик рассеивания активно-реактивного снаряда // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2018. № 3 (103). С. 103–09.

10. Assegai Projectile Family // American Rheinmetall Munitions Inc. URL: https://www.rheinmetall.com/media/editor_media/rheinmetallag/events/ausa_2022/american_rheinmetall_munitions/B171us0921_ARM_Asegai_Projectile_Suite_LR.pdf (Доступ с VPN; дата обращения 05.01.2023).

УДК: 623.4/355.58

DOI: 10.53816/20753608_2024_2_111

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ НОВЕЙШИХ ОБРАЗЦОВ ВООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ

PROBLEMATIC ISSUES OF THE USE OF THE LATEST WEAPONS FOR CIVIL DEFENSE

По представлению академика РАН Р.А. Дурнева

В.Н. Григорьев, Д.Р. Просветова

ВНИИ ГОЧС (ФЦ)

V.N. Grigoriev, D.R. Prosvetova

В статье представлены результаты исследования проблемных вопросов применения новейших образцов вооружения для гражданской обороны, а также поражающие факторы и классификация новых и перспективных видов вооружения.

Ключевые слова: новые виды вооружения, высокоточное оружие, гражданская оборона, беспилотная система, поражающие факторы.

The article presents the results of a study of problematic issues of the use of the latest weapons for civil defense, as well as striking factors and classifications of new and promising types of weapons.

Keywords: new types of weapons, high-precision weapons, civil defense, unmanned system, damaging factors.

Проблема защиты от любого оружия противника возникает, как правило, в момент его первого применения. Поэтому, чтобы быть готовым к его поражающему воздействию и выработать способы противодействия и защиты от него, все без исключения страны мира предпринимают различные шаги в этом направлении.

Вопросы защиты населения и территорий от новейших образцов вооружения в той или иной степени рассматривались в исследованиях Г.С. Черных и А.С. Старостина [1]. Анализу современного состояния и направлений развития оружия, основанного на новых физических принципах, посвящена работа П.Л. Люпикаса [2]. Анализ современных образцов вооружения, поставляемого на Украину странами Евросоюза и НАТО, представлен в статье В.И. Литвиненко [3].

Исторический анализ свидетельствует, что между средствами поражения и защиты идет по-

стоянная «борьба». Наглядным примером может служить утолщение брони своих кораблей в ответ на увеличение орудий главного калибра кораблей противника. Однако появление ракетного вооружения сделало бессмысленным сплошное бронирование кораблей вообще и послужило толчком к развитию других средств и способов защиты (повышение маневренности, создание радиопомех, противоракеты и т.д.). Подобные примеры противоборства вооружения и средств защиты можно наблюдать во всех сферах на земле, в воздухе, в подводном пространстве, а с начала 60-х годов прошлого века и в космосе [4, 5].

Знание поражающих факторов новых и перспективных видов вооружения противника необходимо для создания надежных средств и способов защиты. В свою очередь разработка новых и совершенствование существующих способов противодействия являются одними из основных

способов защиты от него. Поэтому действия сил гражданской обороны планируются в том числе и с учетом поражающих факторов как ранее существовавших, так и новых видов вооружения стран вероятного противника.

В настоящее время существует достаточное количество классификаций новых и перспективных видов вооружения. Однако с учетом действий противоборствующих сторон и анализа применения ими различных видов оружия в различных конфликтах классифицируем новые виды вооружения следующим образом: беспилотные системы, высокоточное оружие, гиперзвуковое оружие, оружие на новых физических принципах и ядерное оружие [6].

Беспилотные системы вооружения принято разделять на авиационные, наземные, надводные и подводные. К перспективным видам принято относить комбинированные, разработка которых осуществляется параллельно с односферными видами [7].

В связи с тем что большинство вооруженных конфликтов происходит на суше, может создаться впечатление, что применение беспилотных авиационных систем имеет преимущественное направление. Однако опыт боевых действий свидетельствует об активном применении надводных и подводных беспилотников. Также развиваются и наземные беспилотные системы, которые предназначены как для непосредственного поражения противника, так и для выполнения разведывательных, тыловых, технических и других задач по обеспечению действий войск.

Среди беспилотных систем наибольшую угрозу для тыловых районов представляют авиационные, которые в настоящее время способны преодолевать более 1000 км и нести большую полезную нагрузку.

Наряду с разработкой БПЛА, способных совершать дальние перелеты, при действиях диверсионно-разведывательных групп противника могут применяться беспилотники малого радиуса действия, но при этом способные нанести не меньший урон тыловой инфраструктуре противоборствующей стороны. Основной проблемой является отсутствие средств обнаружения подобных систем, в том числе и ПВО, а также отсутствие на большинстве объектов тыла достаточного количества средств противодействия и поражения.

Так, среди БПЛА типа коптер получила распространение модель R-18, которая предназначена для решения разведывательных и ударных задач (рис. 1). Основные тактико-технические характеристики данной модели: максимальная дальность полета — 4 км, масса полезной нагрузки — 5 кг, максимальная скорость — 55 км/ч, максимальный взлетный вес — 17 кг, время полета — 40 мин., максимальная высота полета — 3 000 м [8].

В настоящее время наземных и надводных беспилотных систем, представляющих опасность для объектов тыла, у стран вероятного противника нет. Возможно появление в среднесрочной перспективе отдельных образцов надводных беспилотных систем для поражения объектов, расположенных на берегах морей, озер и рек. Однако наибольшую опасность представляют подводные беспилотные системы.

Основными задачами, решаемыми подводными беспилотными системами, являются: разведка, противоминная борьба, постановка акустических помех, исследование подводных объектов (корпуса корабля, дна, опор мостов и т.д.), поражение вооружения и объектов противника.

В открытые источники информация о подводных беспилотниках разведывательного и исследовательского типа поступает постоянно, в то время как ударные подводные беспилотные системы являются закрытой темой для общества. Тем не менее на вооружение российского флота принят глубоководный атомный ударный комплекс «Посейдон», снабженный атомным зарядом достаточно большой мощности (до 2 Мт). Силы взрыва будет достаточно для уничтожения береговой базы флота или небольшого города на берегу любого водоема. По некоторым данным, «Посейдон» может преодолеть



Рис. 1. БПЛА R-18 в момент сброса кумулятивной гранаты (производство Украина)

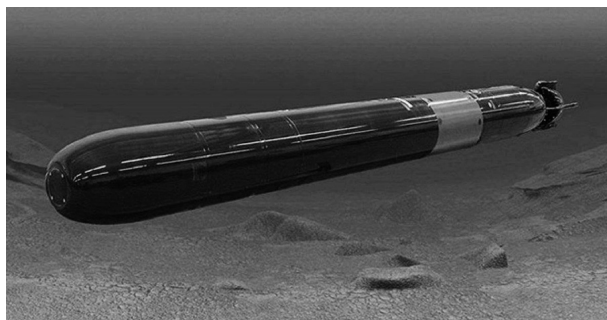


Рис. 2. Глубоководный атомный ударный комплекс «Посейдон»

расстояние в 10 тыс. км на глубинах, превосходящих действие современных подводных средств поражения, со скоростью от 130 до 250 км/ч [9]. Следует предположить, что если у стран вероятного противника подобных систем пока на вооружении нет, то их появление возможно если не в ближайшей, то в среднесрочной перспективе.

Высокоточное оружие (ВТО) по месту базирования классифицируется на воздушного (космического) базирования, наземного базирования и морского базирования [6].

Воздушное ВТО включает ракеты класса «воздух-воздух»; ракеты класса «воздух-поверхность» (крылатые ракеты и управляемые ракеты общего назначения); управляемые авиационные бомбы (кассеты); противокорабельные, противоракетные, противотанковые и многоцелевые ракеты.

Носителями ВТО наземного базирования являются вертолеты сухопутных войск; ударные (ударно-разведывательные) БПЛА; реактивные системы залпового огня; полевая артиллерия, в том числе минометы, противотанковые ракетные комплексы (самоходные и переносные).

ВТО морского базирования — ракеты класса «поверхность-поверхность»; крылатые ракеты; управляемые ракеты общего назначения; управляемые авиационные бомбы.

При этом носителями ВТО морского базирования являются самолеты морской авиации; вертолеты морского базирования; БПЛА ВМС; надводные корабли; подводные лодки.

Анализ применения обычных и высокоточных боеприпасов за последние пятьдесят лет свидетельствует о динамике роста применения высокоточных боеприпасов. Так, в период войны во Вьетнаме (1965–1974) США обычных боеприпасов было израсходовано 98 %, при проведении

операции «Несгибаемая свобода» в Афганистане (2003) — 50 %, а в ходе операции «Одиссея. Рассвет» в Ливии (2011) — 21 % [10].

К оружию, использующему новые физические принципы, относится: геофизическое оружие, которое основано на управлении физическими процессами на планете; генетическое оружие; оружие нелетального действия; оружие, использующее энергию различных волн [11].

Наибольшую опасность как для техносферы, так и для природы представляет геофизическое оружие, которое включает:

- тектоническое оружие, нацеленное на управление литосферой;
- экологическое оружие, основанное на причинении ущерба ключевым объектам среды обитания противника;
- климатическое оружие, нацеленное на изменение метеорологической обстановки в атмосфере и кратковременного локального климата;
- озонное оружие, вид геофизического оружия, основанный на создании «озоновых дыр» над территориями противника [11].

Тектоническое оружие основывается на использовании потенциальной энергии Земли и является одним из самых разрушительных. Толчком для разрушительного действия является подземный взрыв ядерного заряда в определенном месте земной поверхности, в том числе и на дне водоемов. В настоящее время нет точных данных о способности подводного ядерного взрыва вызвать приливную волну (цунами) с целью уничтожения объектов противника в его прибрежной зоне.

С момента появления атомного оружия ядерными державами (США, СССР, Великобритания, Франция, Китай, Индия, Пакистан) было проведено порядка 1600 подземных ядерных взрывов [12].

Датой рождения тектонического оружия принято считать декабрь 1968 года. Так, при испытаниях в штате Невада (США) ядерный взрыв стал причиной 5-балльного землетрясения. В Советском Союзе к наиболее разрушительным последствиям ядерных испытаний принято относить два землетрясения в городе Газли (Узбекистан) в 1976 и 1984 годах. В городе Тангшане (Китай), 28 июля 1976 года, через день после ядерного взрыва на полигоне Лобнор в результате подземных толчков погибло более 500 тыс. человек.

Крупное землетрясение произошло в октябре 1998 года в Мексике, сила его достигала 7,6 балла через неделю после ядерного испытания на атолле Муруроа (Франция) [12].

По мнению экспертов, с созданием тектонического оружия связан ряд проблем. Первая — необходимость инициирования землетрясений в заданном районе, находящемся на определенном расстоянии от места применения ядерного заряда. Сейсмические волны распространяются (особенно с увеличением расстояния) примерно симметрично относительно места взрыва. Кроме того, в ряде случаев отмечается снижение сейсмической активности при подземных взрывах.

Другая проблема — расчет оптимального времени достижения результата после использования геофизического оружия. Это могут быть минуты, часы, недели и даже годы. Исследования, проведенные на ядерных полигонах различных стран, позволяют утверждать, что воздействие подземных ядерных взрывов проявляется в виде кратковременного увеличения сейсмичности на расстоянии до 2000 км от места испытаний, увеличения частоты землетрясений в первые 5–10 дней после воздействия, а затем их уменьшения до фоновых значений [13].

По принятым в Минобороны России взглядам, экологическое (биосферное) оружие — это вид геофизического оружия для нанесения ущерба противнику посредством массового химико-биологического, термического или механического воздействия на среду его обитания [6].

В результате применения экологического оружия поражаются леса, посевы сельскохозяйственных культур и пастбища; загрязняются воздух, вода и почва. Средствами применения являются:

- авиационные и наземные распылительные приборы, снаряженные фитотоксикантами и другими химическими боеприпасами;
- термические средства воздействия — зажигательное оружие;
- механические средства воздействия — фугасные боеприпасы.

Применение экологического оружия приводит к тяжелым, а зачастую и необратимым последствиям. Впервые массовое применение дефолиантов и гербицидов (более 100 тыс. т) было осуществлено американцами в 60-х гг. прошлого века во время войны во Вьетнаме. После воз-

действия рецептур с растительности опадала листва, обнажая тропы, дороги и места дислокации вьетнамских войск. В результате было поражено более 40 % всей посевной площади Южного Вьетнама и около 45 % площади лесов. Все применявшиеся фитотоксиканты оказались крайне токсичными для человека и теплокровных животных. Порядка 1,6 млн чел. получило тяжкие поражения, а более 7 млн чел. были вынуждены покинуть районы применения экологического оружия [14].

Несмотря на запрещение геофизического воздействия на окружающую среду в военных целях, руководство НАТО в ходе конфликта в Югославии (1999) активно проводило испытания экологического оружия. В частности, были апробированы варианты рассеивания кучевых облаков для повышения точности поражения замаскированных целей.

По данным Минобороны России, озонное оружие — вид геофизического оружия для активного изменения биологических процессов и ограничения жизни в определенных районах за счет создания благоприятных условий прохождения через атмосферу Земли ультрафиолетовой радиации определенных длин волн.

Формирование подобных условий осуществляется путем преднамеренного замедления (ускорения) естественных процессов образования (разрушения) озонного слоя в атмосфере. Озоновое оружие включает: химические реагенты (соединения химических элементов водорода, оксида азота и др.); средства их доставки (ракеты, самолеты, аэростаты, беспилотные авиационные системы и др.); средства распыления (посредством взрыва или специальными генераторами).

Основным проблемным вопросом использования озонового оружия является появление возможных последствий как для стороны, его применившей, так и для Земли в целом.

В последние годы в научных кругах активно обсуждается вопрос о возможности создания генетического оружия, которое считается видом бактериологического оружия. Так, эксперты Минобороны России считают генетическое оружие возможным видом оружия, которое способно повреждать генетический (наследственный) аппарат людей.

Высказывается предположение, что основу такого оружия могут составлять некоторые

вирусы, обладающие мутагенной активностью (способностью вызывать наследственные изменения) или внедряющиеся в хромосому клетки, а также специальные химические вещества, выделяемые из природных источников химическим синтезом или биотехнологическим способом. Воздействие генетического оружия, как и бактериологического, может приводить к тяжелым заболеваниям и наследственной их передаче.

К оружию нелетального действия (несмертельное оружие) относят оружие, способное кратковременно или на длительный срок лишать противника возможности вести боевые действия без нанесения ему безвозвратных потерь. Предназначается для тех случаев, когда применение обычного оружия, а тем более оружия массового поражения неприемлемо по политическим, этическим или другим причинам. Термин появился в начале 90-х гг. прошлого столетия в США в связи с участвовавшими случаями возложения ими на себя полицейских и миротворческих функций в локальных конфликтах. Подразделяется на оружие, действующее только по живой силе (полицейские газы, патроны с неубойными пулями, психотропные препараты, инфразвуковое оружие и др.), и системы жизнеобеспечения и вооружения (электромагнитное оружие, средства радиоэлектронного подавления и воздействия на ЭВМ, биологические и химические средства, разлагающие нефтепродукты и др.) [6].

При всем многообразии возможных боевых свойств видов оружия нелетального действия его воздействие на объекты обусловлено преимущественно тремя основными формами энергии, которая является общей количественной мерой различных форм движения материи — физической, химической и биологической. На физических принципах излучения энергии волн различной величины основаны механические (кинетические), акустические и электромагнитные виды этого оружия.

Считается, что оружие нелетального действия может являться основным средством достижения целей операции (боя), занимать равнозначное место с обычными средствами поражения или быть вспомогательным инструментом при выполнении различных задач. Оно может применяться непрерывно в ходе военных действий (стратегический уровень), на отдельных этапах (оперативный уровень), либо использо-

ваться для решения частных (тактический уровень) задач.

Оружие, использующее энергию различных волн (оружие направленной энергии — ОНЭ), — термин, возникший в среде военных экспертов НАТО (Directed-energy weapon, DEW) [15].

В общем виде подобное оружие целесообразно определить как системы, способные производить пучок концентрированной электромагнитной энергии, либо атомных или субатомных частиц, который используется как прямое средство для поражения противника или вывода из строя, деградации, повреждения или уничтожения объектов.

К оружию направленной энергии относят:

- лучевое оружие, использующее в качестве основного поражающего фактора термомеханическое воздействие для поражения живой силы, техники, разрушения объектов и инженерных сооружений;

- сверхвысокочастотное оружие — радиочастотное электромагнитное излучение для вывода из строя электронных средств;

- инфразвуковое оружие — инфразвуковые колебания для поражения живой силы [6].

Все виды ОНЭ практически безынерционные и, за исключением инфразвукового оружия, мгновенного действия. Перенос энергии в них происходит со скоростью света или приближается к ней. Положительным свойством ОНЭ является его скрытность, внезапность, способность мгновенно выводить из строя электронные системы, что приводит к дезорганизации и потере управления. Однако для эффективного действия оружия направленной энергии необходимы высокоэнергетические источники излучения и быстродействующие системы обнаружения, опознавания, захвата цели и наведения на нее средства поражения.

Несмотря на создание новейших средств поражения, ядерное оружие продолжает оставаться самым разрушительным и мощным средством, гарантирующим поражение заданных объектов и живой силы противника.

По местам базирования (доставки) различают наземное, морское и воздушное ядерное оружие (ЯО). К наземным средствам базирования ЯО относят мобильные и стационарные (шахты) пусковые установки для межконтинентальных баллистических ракет (МБР). К морским

средствам — подводные лодки с баллистическими ракетами. К воздушным — стратегические самолеты-бомбардировщики, которые могут нести ядерные бомбы или крылатые ракеты с ядерной боеголовкой.

По данным федерации американских ученых, Пентагон к началу 2022 года имел на вооружении 3 708 ядерных боеголовок мощностью от 5 до 455 кт, при этом 1 744 боеголовки были развернуты, а 1 964 хранились на складах [16].

В частности, на боевом дежурстве стояло 400 МБР шахтного базирования «Минитмэн-3». На них установлено по одному заряду мощностью 300 или 600 кт. Однако в случае необходимости на эти ракеты может быть установлено до трех боеголовок с блоком самонаведения.

На вооружении ВВС имеется порядка 200 тактических ядерных зарядов мощностью от 0,3 до 50 кт (для бомб В61-3 и В61-4), 100 из них складированы на шести базах в пяти странах НАТО (Бельгия, Германия, Италия, Нидерланды и Турция). Остальные размещены на территории США для использования американскими истребителями-бомбардировщиками в целях поддержки союзников.

Около 300 боеголовок мощностью от 5 до 150 кт предназначены для доставки стратегическими бомбардировщиками В-2А (20 самолетов) и В-52Н (87 самолетов). Каждый В-2А способен нести до 16 ядерных бомб, В-52Н — до 20 крылатых ракет с ядерными зарядами. Еще примерно 488 резервных боеголовок для бомб и крылатых ракет хранятся на складах.

В ВМС США в строю находятся 14 стратегических субмарин класса «Огайо», несущих до 20 баллистических ракет (БР) «Трайидент-2»: восемь предназначены для действий в Тихом

океане, шесть — в Атлантике. Каждая из ракет способна доставить до цели восемь боеголовок мощностью от 100 до 475 кт. По состоянию на сентябрь 2021 года ВМС США имели 944 боеголовки на 221 носителе «Трайидент-2». Основные характеристики баллистических ракет «Минитмэн-3» и «Трайидент-2» представлены в таблице [17, 18].

Несмотря на довольно длительное время нахождения указанных баллистических ракет на вооружении армии США, они регулярно модернизируются, проходят соответствующие регламенты и находятся в постоянной боевой готовности. Подобная ситуация наблюдается и с авиабомбами и крылатыми ракетами — носителями ядерного оружия.

В настоящее время, по данным зарубежной печати, американское ядерное оружие сосредоточено на 24 базах в 11 штатах США и пяти европейских странах [16].

Развитие человеческого сообщества, так или иначе, влечет за собой и развитие современных видов вооружения. Наряду с модернизацией ранее созданных средств поражения, в том числе и оружия массового поражения, конструкторы на основе открываемых законов природы разрабатывают и новые образцы вооружения. Многие образцы этого оружия способны причинить вред не только противнику, но и планете в целом.

Поэтому следует выделить две основные проблемы при применении новых видов оружия:

- первая — применение новых видов оружия непредсказуемо по размерам и способно поразить не только противника, но и применившую его сторону;
- вторая — последствия применения могут быть отсрочены на неопределенный срок, при

Таблица

**Основные тактико-технические характеристики баллистических ракет
«Минитмэн-3М» и «Трайидент-2»**

№ п/п	Параметр	«Минитмэн-3М»	«Трайидент-2»
1	Год принятия на вооружение	1970	1990
2	Максимальная дальность стрельбы, км	15 000	7 800
3	Количество ступеней	3	3
4	Стартовая масса, т	34,5	60
5	Забрасываемый вес боеголовки, т	1,15	2,8
6	Точность стрельбы (КВО), м	210	120
7	Количество и мощность боеголовки, кт	3×300–600	4×475 или 14×100

этом сами последствия непредсказуемы по месту и могут нанести гораздо больший урон, чем сам факт применения оружия.

Таким образом, формирование сил гражданской обороны, определение их задач, а также разработка тактики их применения должны учитывать новые виды вооружения и способы его применения. С учетом указанных обстоятельств должны разрабатываться и формы защиты от него.

Литература

1. Черных Г.С., Старостина А.С. Оружие на новых физических принципах, проблемы защиты населения и территорий от его поражающих факторов // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. 2015. Том 5. № 2. С. 22–37.
2. Люпикас П.Л. Анализ современного состояния и основные пути развития разработок оружия, основанного на новых физических принципах // Инновационная наука. 2021. № 4. С. 59–63.
3. Литвиненко В.И. Чем воюет Украина // Армейский сборник. 2023. № 3. С. 39–45.
4. Защита от боевых средств поражения — Большая Медицинская Энциклопедия. URL: https://бмэ.орг/index.php/ЗАЩИТА_ОТ_БОЕВЫХ_СРЕДСТВ_ПОРАЖЕНИЯ (дата обращения: 25.01.2024).
5. Фалилеев В.Ю., Рышманов А.И., Шатовкин Р.Р. Моделирование противодействия комплексной системы защиты объектов средствам воздушного нападения противника // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2019. № 10. С. 81–91.
6. Военный энциклопедический словарь. — М.: Военное изд-во, 2007. 831 с.
7. Евдотьева М.Г., Ознобищев С.К. Боевые беспилотные системы: современный этап развития, перспективы ограничения и контроля // Вестник Московского университета. Сер. 25. Международные отношения и мировая политика. 2019. № 3. С. 160–197.
8. БПЛА: Октокоптеры R18 и R34. URL: <https://zvowar.ru/bpla-oktokoptery-r18-i-r34/?ysclid=lt2yxzr28c945801091>. (дата обращения: 25.01.2024).
9. Торпеда «Посейдон»: Российское ядерное оружие нового поколения. <https://ren.tv/longread/1093394-iadernye-torpedy-poseidon-pochemu-ssha-schitaiut-ikh-oruzhiem-apokalipsis-a?ysclid=lt2zcyf84u430846517> (дата обращения: 26.01.2024).
10. Шнырков Д. Концепция всеобъемлющая операция // Армейский сборник. 2021. № 8. С. 192–198.
11. Оружие на новых физических принципах: Министерство обороны Российской Федерации. URL: <https://encyclopedia.mil.ru/encyclopedia/dictionary/details.htm?id=13770@morfDictionary> (дата обращения: 26.01.2024).
12. Кобринович Ю.О. Тектоническое оружие. URL: http://samlib.ru/k/kobrinowich_j_o/statja2.shtml (дата обращения: 25.01.2024).
13. Байда С.Е. Оценка возможности мега-катастроф с применением существующих технических средств и технологий и экспертиза случаев их применения // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. 2012. № 2. С. 23–44.
14. 10 августа 1961 года американцы впервые применили химикат Agent Orange во Вьетнаме — Российское историческое общество. URL: <https://historyrussia.org/sobytiya/10-avgusta-1961-goda-amerikantsy-vpervye-primenili-khimikat-agent-orange-vo-vetname.html?ysclid=lt322q9be6175485516> (дата обращения: 24.01.2024).
15. Science & Tech Spotlight: Directed Energy Weapons | U.S. GAO. URL: [https://www.gao.gov/products/gao-23-106717#:~:text=Directed%20energy%20weapons%20\(DEW\)%20use,drone%20or%20physically%20destroy%20it](https://www.gao.gov/products/gao-23-106717#:~:text=Directed%20energy%20weapons%20(DEW)%20use,drone%20or%20physically%20destroy%20it) (дата обращения: 26.01.2024).
16. Ядерный арсенал США // Зарубежное военное обозрение. 2022. № 7. С. 80.
17. Что представляет собой американская баллистическая ракета Minuteman-III? URL: https://aif.ru/dontknows/file/chto_iz_sebya_predstavlyaet_amerikanskaya_ballisticheskaya_raketa_minuteman-iii/. (дата обращения: 24.01.2024).
18. Линник С. Устаревшие американские «Трайденты». Военное обозрение. URL: <https://topwar.ru/191765-ustarevshie-amerikanskie-trajdenty.html?ysclid=lt32ld66uw287130830> (дата обращения: 24.01.2024).

УДК: 623.1/7

DOI: 10.53816/20753608_2024_2_118

**АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕРМЕТАЛЛИДОВ В КАЧЕСТВЕ
ВЫСОКОНАГРУЖЕННОГО КОРПУСА ПРИБОРНОГО ОТСЕКА
ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА**

**ANALYSIS OF INTERMETALLIDES AS A HIGHLY LOADED AIRFRAME
OF THE AIRCRAFT HARDWARE COMPARTMENT**

По представлению чл.-корр. РАРАН В.А. Нестерова

Н.О. Матковский^{1,2}, В.В. Тишков², А.Ю. Ермолаев^{1,2}

¹АО «Гос МКБ «Вымпел» им. И.И. Торопова», ²Московский авиационный институт

N.O. Matkovskiy, V.V. Tishkov, A.Yu. Ermolaev

Рассмотрена проблема прочности корпуса летательного аппарата (ЛА) при воздействии высоких температур. Предложены варианты замены титанового сплава ВТ20 на интерметаллид на основе титана TiAl. Проведен обзор современных научно-технических источников о свойствах сплавов. Проведены расчет температурного состояния корпуса ЛА и численное моделирование расчетного случая нагружения корпуса. Отмечены преимущества прочностных характеристик интерметаллидов и перспективы их применения при высоких температурных уровнях нагрева ЛА.

Ключевые слова: аэродинамический нагрев летательного аппарата, численное моделирование нагружения, корпус летательного аппарата из интерметаллида на основе титана, жаропрочные интерметаллидные сплавы, титановые сплавы.

The problem of airframe high temperatures under aerodynamic heating is observed. Options replacing the titanium alloy VT20 with intermetallides based on titanium are proposed. A review of modern scientific and technical sources on the properties of alloys is carried out. The calculation of the temperature state of the aircraft body and numerical modeling of airframe loading are done. The advantages of the strength characteristics of the type of alloys and the prospects for their using as the airframe at high temperature levels of aircraft heating are noted.

Keywords: aircraft aerodynamic heating, numerical modeling of loading, intermetallic airframe based on titanium alloy, high-temperature resistant intermetallic alloys.

Введение

Проектирование современного летательного аппарата (ЛА) требует новых конструктивных решений, внедрения принципиально новых материалов и технологических процессов. Воздействие интенсивного аэродинамического нагрева, инерционных и аэродинамических нагрузок на силовую конструкцию ЛА приводит к снижению

физико-механических свойств конструкционного материала, появлению деформации, вызванной ползучестью, потере устойчивости формы, изменению жесткости конструкции. При повышении температуры корпуса ЛА возникают напряжения, приводящие к изгибу за счет неравномерности прогрева наветренной и подветренной сторон ЛА. Перечисленные факторы приводят к росту лобового сопротивления и турбулизации

набегающего потока, способствуя еще больше аэродинамическому нагреву и колебаниям в системе.

Постановка задачи

В качестве объекта исследования выбран аппаратный отсек ЛА, температурные показатели которого напрямую связаны со скоростью, поэтому среди задач проектирования выбрана задача исследования температурного уровня силовой части отсека с бортовой аппаратурой. В [1] отмечается, что факторы, возникающие в связи с обеспечением превосходства современных ЛА, напрямую связаны с увеличением их дальности. Это оказывает существенное влияние на тепловое состояние конструкции ЛА, приводя к росту температуры, увеличению времени воздействия температурного нагружения конструкции планера. В [2] приведена зависимость температур нагрева элементов от скорости полета, согласно которым температура обшивки на исследуемых скоростях полета может достигать 700–900 °С.

Моделирование аэродинамического нагрева ЛА показало, что температура корпуса отсека толщиной 2 мм, изготовленного из титанового сплава ВТ20, достигает значений выше 700 °С на существенном для выбранного типа ЛА временном участке. Воздействие такого температурного уровня на корпус приведет к потере его несущей способности [3].

Одним из способов снижения температурного воздействия на корпус ЛА является ламинаризация пограничного слоя. При ламинарном пограничном слое коэффициент теплоотдачи в несколько раз меньше, чем при турбулентном, поэтому аэродинамический нагрев происходит с меньшей интенсивностью. Ламинаризовать пограничный слой возможно несколькими способами.

1. За счет высокого качества поверхности обшивки, что позволит уменьшить вероятность турбулизации потока. Однако производство таких корпусов — трудновыполнимая задача ввиду наличия выступов, лючков, волнистости поверхности корпуса, соединительных элементов, разъемов, антенн и т.д.

2. За счет охлаждения внешней поверхности ЛА. В [4] приведено исследование «активной» тепловой защиты ЛА, основанной на процес-

се термоэлектрической эмиссии. Утверждается, что при температуре нагреваемой части корпуса ЛА от 1500 К до 2000 К обеспечивается снижение температуры материала нагреваемой части корпуса ЛА на 400–700 К. Перспективным методом снижения температуры корпуса является испарительное охлаждение за счет впрыска охлаждающей жидкости в пограничный слой. В [5] приведены подробные математические модели функционирования различных систем охлаждения элементов конструкции ЛА. Исследованы летно-технические характеристики высокоскоростного ЛА X-51A Waverider (США), приведены оценки тепловых полей планера и параметров теплообмена в расчетных точках корпуса. Согласно приведенным данным, значение температуры поверхности на участке пикирования ($t = 561$ с) составило 1000–1600 К. Подробно описываются системы активного охлаждения планера, необходимые для данного уровня температурного нагрева: системы охлаждения с жидким теплоносителем и системы пленочного охлаждения. С использованием критерия «потребная масса систем охлаждения для обеспечения требуемой температуры» показано, что для принятых условий функционирования анализируемых систем охлаждения целесообразно использовать систему пленочного охлаждения, масса которой на 30 % ниже.

Таким образом, эффективность активной тепловой защиты неоспорима, однако использование оборудования подобных систем имеет ряд существенных недостатков:

1. Дополнительная массовая нагрузка на систему ЛА;
2. Необходимость в проработке размещения данного оборудования в отсеках ЛА, содержащих микроэлектронные элементы аппаратуры;
3. Трудоемкое проектирование и испытание системы в целом;
4. Дорогостоящее производство.

Исходя из изложенных факторов и типа исследуемого малогабаритного ЛА, авторы не рассматривают дальнейшее исследование и внедрение подобных систем тепловой защиты для охлаждения пограничного слоя и корпуса приборного отсека в целом, поэтому в первую очередь необходимо проанализировать конструкционные материалы, способные обеспечивать теплонагруженный уровень отсека ЛА, описанный ранее. Материал

силовой конструкции должен отвечать требованиям прочности, долговечности и быть технологичным, материал не должен утяжелять конструкцию ЛА, и не быть дорогостоящим, компоненты материала должны отвечать требованиям по импортозамещению, быть отечественного производства.

Анализ научно-технических источников

Одним из способов решения проблемы воздействия высоких температур на корпус ЛА является замена титанового сплава, уже зарекомендовавшего себя в промышленности, но имеющего существенные ограничения по уровням рабочих температур, на новый тип «суперсплавов» — интерметаллид титана (алюминид титана).

В [6] приведен сравнительный анализ развития жаропрочных титановых сплавов и приведена классификация интерметаллидов: $\alpha 2$ -сплавы, ортосплавы и γ -сплавы. Согласно исследованию, интерметаллиды Ti3Al, Ti2NbAl, TiAl обладают преимуществом в рабочей температуре перед такими титановыми сплавами, как BT25, BT18У, BT25У, BT36. Исследование показывает, что рабочая температура интерметаллидов варьируется от 650 °С до 850 °С. Авторами проведено сравнение сплавов на основе γ -фазы (TiAl): Ti-(45-48)Al-(0-5,0)Ta, W, Nb-(0-2,0)Mn, Cr, V, % ат. Показано, что представленные сплавы обладают преимуществом по пределу длительной прочности и предельной рабочей температуре в сравнении с BT20. Вызывают интерес результаты испытаний сплавов Ti-45Al-8Nb-0.2C и Ti-45Al-5Nb-1Mo-0.2B на длительную прочность, проведенные согласно [7]. Материалы отличаются своими низкими показателями остаточных удлинений после испытаний и воздействия высоких температур свыше 700 °С. В [8] отмечено, что сплавы на основе соединения Al2Ti обладают низкой плотностью, высокой удельной прочностью при температурах до 950 °С. Отмечена высокая прочность при сжатии и стойкость к окислению при высоких температурах. В [0] приведены сравнительные характеристики листов из сплавов марок 7115, ВТИ-1 и ВТИ-4. Материалы обладают высоким пределом прочности при температуре 700 °С, $\sigma^{100} = 350$ МПа при температуре 800 °С. В [10] проведено подробное ис-

следование процентного содержания алюминия в интерметаллидах TiAl различных фаз по отношению к общей массе. При высоких температурах, порядка 750–900 °С, по своим механическим характеристикам сплавы на основе γ -фазы обладают существенным преимуществом, поэтому, на основании приведенных в исследованиях классификаций, выбран данный тип интерметаллида TiAl для дальнейшего анализа корпуса приборного отсека ЛА. Физико-механические свойства TiAl-сплавов: Ti834, IN718 и Ti6Al4V могут обладать пределом прочности 720–600 МПа на интервале температур от 400 °С до 800 °С при $\rho = 4000$. При нагрузке более 750 МПа в сочетании с температурой 800 °С деформация «растяжение-нагрузка» сплава Ti-45Al-8Nb достигла 4 %. Испытания в циклических окислительных тестах в диапазоне температур от 800 °С до 1000 °С показали, что содержание в сплаве тантала существенно улучшает антикоррозионную устойчивость интерметаллидов TiAl, повышая возможную эксплуатационную температуру до 1000 °С [11]. В [12] приведены сравнительные характеристики интерметаллидных сплавов. Сплавы TiAl обладают длительной прочностью $\sigma^{100} = 250/190$ МПа (100 ч) при температуре 800 °С и пределом прочности $\sigma_b = 500$ –450 МПа. Сплав TiAl-Nb-Cr(V) рекомендован для изготовления деталей, длительно работающих при температуре от 20 °С до 750 °С и кратковременно при 800 °С. В [13] приведено описание титаново-алюминиевого сплава TiAl6V4, обладающего преимуществом при использовании в ракетно-прямоточных двигателях на твердом топливе за счет высоких удельных прочностных характеристик и низкой окислительной способности на воздухе до температуры 650 °С.

Анализ температурного состояния корпуса летательного аппарата

В табл. 1 приведены обобщенные, согласно [14], теплофизические характеристики интерметаллида TiAlNb, необходимые для анализа влияния аэродинамического нагрева на ЛА.

Решение задачи определения температурного состояния корпуса ЛА проводилось методом конечных элементов в нестационарной постановке. Решение внешней задачи по определению

граничных условий на поверхности проводилось согласно [15].

Внутренняя задача по распределению тепла внутри конструкции решалась при задании граничных условий на наружной поверхности с использованием программного модуля SolidWorks FlowSimulation 2015.

Таким образом, согласно данным рис. 1, проведено моделирование аэродинамического нагрева ЛА и расчет температурного состояния отсека, корпус которого изготовлен из титанового сплава BT20 и интерметаллида TiAlNb. Согласно проведенному моделированию, результаты которого изображены на рис. 2, большие значения коэффициента теплопроводности интерметаллида TiAlNb, чем у титанового сплава BT20, не влияют на скорость прогрева конструкции ЛА. Меньший параметр удельной теплоемкости BT20, на температурном промежутке 100–500 °С, несущественно повысил уровень температуры титанового сплава на начальном участке. Однако при определении корпуса отсека, изготовленного из интерметаллида TiAl, следует избегать больших контактных участков нетеплоизолированных элементов аппаратуры с данным материалом.

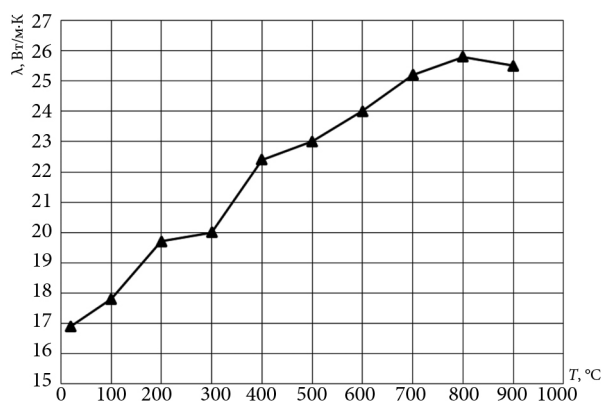


Рис. 1. Теплофизические свойства интерметаллида TiAlNb. $C = 750$ Дж/(кг·К), $\rho = 4100$ кг/м³

Анализ теплонагруженного состояния корпуса летательного аппарата

В табл. 1 приведены физико-механические характеристики титанового сплава BT20 [18]. Также, по результатам обзора доступных источников, обобщенные сведения по физико-механическим свойствам интерметаллида TiAl приведены в табл. 2.

Проанализировав данные в табл. 1, 2 можно сделать вывод, что интерметаллид TiAl обладает существенным преимуществом по своим характеристикам при высоких температурах, однако важным фактором, определяющим прочность корпуса ЛА, является параметр секундной прочности. На рис. 3 представлена зависимость секундной прочности титанового сплава BT20 σ^{300} [МПа] (300 с). Аналогичная зависимость для интерметаллида TiAl отсутствует, однако в приведенных литературных источниках указывается, что материал обладает существенным преимуществом по параметру длительной прочности с учетом высокой температуры. К примеру, длительная прочность TiAl γ -фазы при действии температуры 800 °С в течение 100 ч составляет 250 МПа.

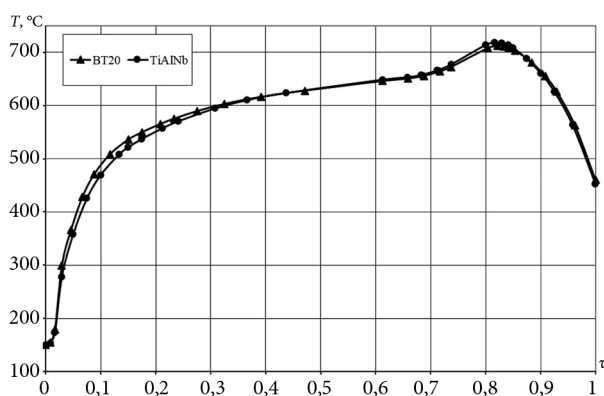


Рис. 2. Расчетные значения температур на интервале воздействия аэродинамического нагрева

Таблица 1

Физико-механические свойства титанового сплава BT20

T, °C	σ_b , МПа	E, ГПа	ρ , кг/м ³	δ , %
20	1000	117	4450	10–12
350	690	93		—
500	640	80		—
550	590	74		—
600	440	—		—

Таблица 2

Физико-механические свойства интерметаллида TiAl

$T, ^\circ\text{C}$	$\sigma_b, \text{МПа}$	$E, \text{ГПа}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$\delta, \%$
20	560	170	4100	0,5
600	646	165		1,5
650	608	160		1,7
700	570	155		3,2
750	532	150		4,2
800	460	145		6,0

Для несущей поверхности ЛА методика оценки теплонапряженного состояния включает определение коэффициентов нагруженности конструкции для каждого момента времени по рассматриваемым траекториям в зависимости от действующих температур и изменения характеристик используемого материала в зависимости от температуры.

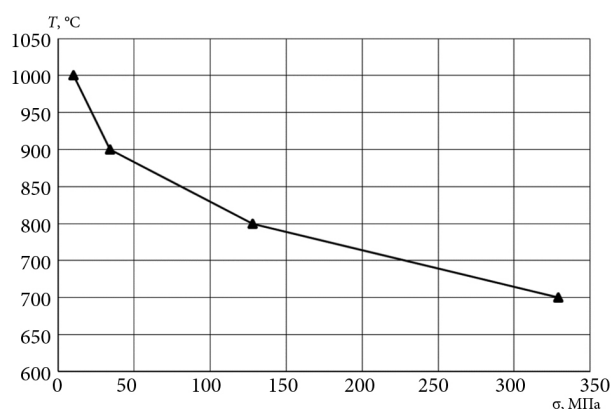


Рис. 3. Секундная прочность σ^{300° титанового сплава BT20

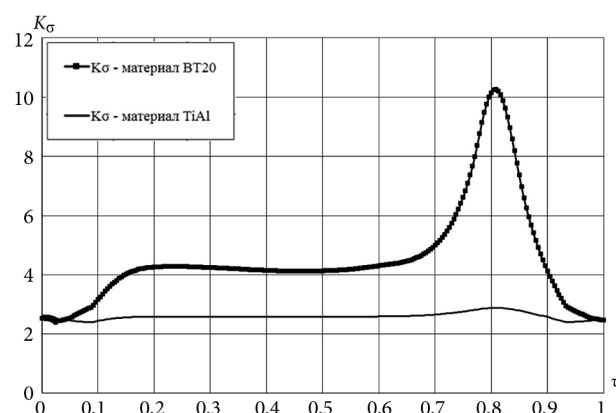


Рис. 4. Критерий по секундной прочности K_σ на интервале работы ЛА

Коэффициенты нагруженности определяются через критерии K_σ или K_e .

$$K_\sigma(\tau) = P(\tau) \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma(T)}; \quad K_e(\tau) = P(\tau) \cdot \frac{E_{20}}{E(T)},$$

где $P(\tau)$ — нагрузка по времени; σ_{20} — предел прочности при нормальных условиях; E_{20} — модуль упругости при нормальных условиях; $\sigma(T)$ — предел прочности в зависимости от температуры материала; $E(T)$ — модуль упругости в зависимости от температуры материала.

Критерий K_σ по секундной прочности применяется, когда материал работает на растяжение, а критерий по модулю упругости K_e применяется для элементов, способных потерять устойчивость при сжатии.

На рис. 4, 5 представлены зависимости критериев по секундной прочности K_σ и по модулю упругости K_e на интервале работы ЛА для корпуса, выполненного из материала BT20 и интерметаллида TiAl. Согласно полученным данным можно увидеть существенное преиму-

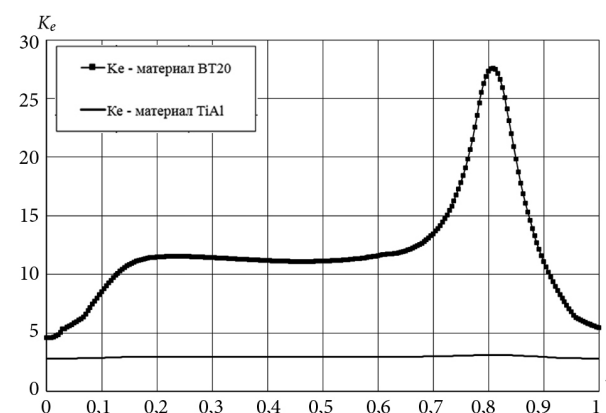


Рис. 5. Критерий по модулю упругости K_e на интервале работы ЛА

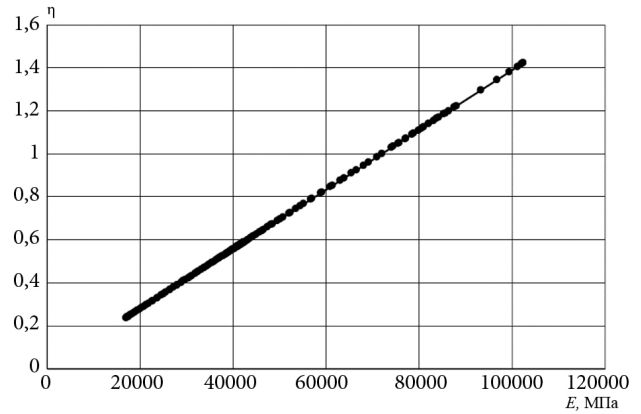
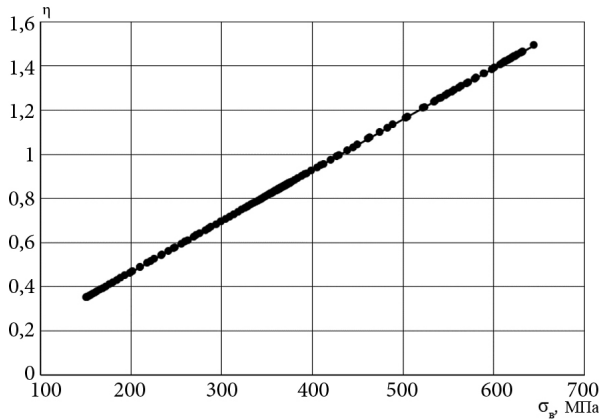


Рис. 6. Зависимость коэффициентов запаса прочности и устойчивости от характеристик титанового сплава VT20 на реализуемом интервале температур

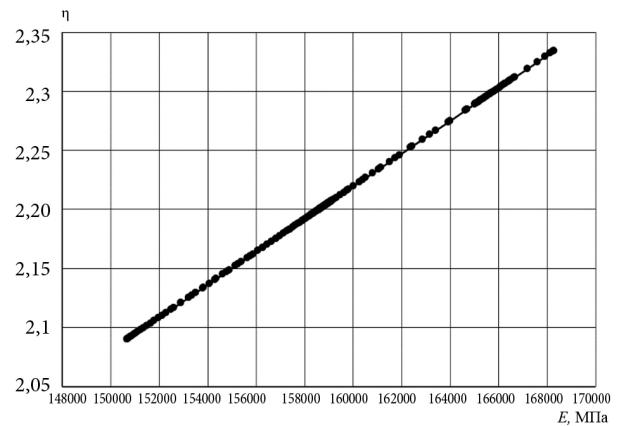
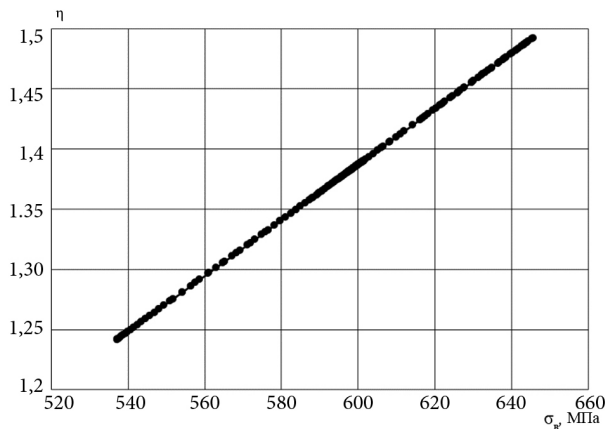


Рис. 7. Зависимость коэффициентов запаса прочности и устойчивости от характеристик интерметаллида TiAl на реализуемом интервале температур

щество материала TiAl в сравнении с титановым сплавом VT20.

С учетом влияния аэродинамического нагрева и постоянной нагрузки, полученной в результате численного моделирования расчетного случая нагружения, соответствующего наиболее теплонагруженному типу, определение величин запасов по прочности и устойчивости осуществлялось согласно:

$$\eta_{\sigma} = \frac{\sigma_{\text{сек}}}{\sigma_{\text{действ}}},$$

где $\sigma_{\text{сек}}$ — секундная прочность материала;
 $\sigma_{\text{действ}}$ — действующее напряжение.

$$\eta_e = \frac{\sigma_{\text{кр}}}{\sigma_{\text{действ}}},$$

где $\sigma_{\text{кр}}$ — критическое напряжение;
 $\sigma_{\text{действ}}$ — действующее напряжение.

На рис. 6, 7 показана визуализация запасов по прочности и устойчивости корпуса с учетом длительности работы ЛА, где видно, что титановый сплав VT20 не удовлетворяет требованиям по прочности и упругости $\eta < 1$. Интерметаллид TiAl, напротив, показал удовлетворяющие значения по прочности и упругости $\eta > 1$.

Вывод

Результаты численного моделирования расчетного случая нагружения при постоянной нагрузке и заданном изменении температуры корпуса показывают, что физико-механические характеристики материала VT20 не обеспечивают оптимальный теплонагруженный уровень корпуса приборного отсека ЛА. Применение интерметаллида TiAl, напротив, показало обес-

печение необходимых запасов по прочности и устойчивости конструкции отсека. Более достоверный анализ теплонагруженного состояния возможен при учете параметров секундной прочности данного материала. Учитывая зависимость температуры корпуса отсека от времени воздействия совокупных нагрузок, для обеспечения теплонагруженного состояния корпуса приборного отсека ЛА секундная прочность σ'' материала должна соответствовать значению $\sigma'' > 500$ МПа при температурах 600–800 °С на всем интервале их действия.

Литература

1. Волков В.Н., Гусев А.Н., Иваха В.В. Выбор теплонагруженных траекторий для оценки прочности планера авиационных управляемых ракет // Вестник Московского авиационного института. 2009. Т. 16. № 6. С. 43–48.
2. Гусейнов А.Б. Особенности разработки крылатых ракет: учеб. пособие. М.: Изд-во МАИ, 2015. 106 с.
3. Матковский Н.О., Ермолаев А.Ю., Тишков В.В. Тепловая защита летательного аппарата на основе материалов нового класса // Вестник Московского авиационного института. 2023. Т. 30. № 1. С. 107–116.
4. Колычев А.В. Активная тепловая защита элементов конструкции гиперзвукового летательного аппарата на новых физических принципах при аэродинамическом нагреве // Труды МАИ: электрон. журнал. 2012. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=29053> (дата обращения 21.02.24).
6. Гусейнов А.Б. Модели функционирования и сравнительный анализ систем охлаждения планера высокоскоростного беспилотного летательного аппарата // Тепловые процессы в технике. 2023. Т. 15. № 1. С. 13–21.
7. Полькин И.С., Гребенюк О.Н., Саленков В.С. Интерметаллиды на основе титана // Технология легких сплавов. 2010. № 2. С. 5–15.
8. Имаев В.М., Имаев Р.М., Гайсин Р.А. и др. Жаропрочные интерметаллидные сплавы и композиты на основе титана: микроструктура, механические свойства и возможное применение // Физика и механика материалов. 2017. Т. 33. № 1. С. 80–96.
9. Трапезников А.В., Иванов В.И., Прохорчук Е.А. и др. Перспективные интерметаллидные Al2Ti сплавы для изготовления деталей литейными методами (обзор) // Труды ВИАМ. 2021. № 5 (99). С. 23–38.
10. Дзунович Д.А., Алексеев Е.Б., Панин П.В. и др. Структура и свойства листовых полуфабрикатов из деформированных интерметаллидных титановых сплавов разных классов // Авиационные материалы и технологии. 2018. № 2 (51). С. 17–25.
11. Kosova N., Sachkov V., Kuzina I. et al. The preparation of the Ti-Al alloys based on intermetallic phases // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: 2, Belokuriha, Altay, 2016. P. 012039.
12. Картавых А.В., Калошкин С.Д., Чердынцев В.В. и др. Применение микроструктурированных интерметаллидов в трубостроении. Часть 2: Проблемы разработки жаропрочных сплавов на основе TiAl (обзор) // Материаловедение. 2012. № 6. С. 3–13.
13. Иванов В.И., Ясинский К.К. Эффективность применения жаропрочных сплавов на основе интерметаллидов Ti3Al и TiAl для работы при температурах 600–800 °С в авиакосмической технике // Технология легких сплавов. 1996. № 3. С. 7–12.
14. Сорокин В.А., Ягодников Д.А., Яновский Л.С. и др. Технология производства ракетно-прямоточных двигателей на твердом топливе: учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. 323 с.
16. Egry I., Brooks R., Holland-Moritz D., Novakovic R. et al. Thermophysical Properties of γ -Titanium Aluminide: The European IMPRESS Project // International Journal of thermophysics. 28(3). June 2007. P. 1026–1036.
17. Матковский Н.О., Тишков В.В., Гусев А.Н. и др. Особенности расчета параметров теплообмена на поверхности объектов авиационной техники с использованием инструментария Data Science // Тепловые процессы в технике. 2022. Т. 14. № 10. С. 475–480.
19. Авиационные материалы. Справочник в девяти томах. 6-е изд., переработанное и дополненное. Том 5. Магниевые и титановые сплавы [Под общей редакцией А.Т. Туманова]. М.: ОНТИ. 1975. 431 с.

УДК: 623.4

DOI: 10.53816/20753608_2024_2_125

**ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ СРЕДСТВ
ИНДИВИДУАЛЬНОЙ БРОНЕЗАЩИТЫ И ОЦЕНКИ ИХ СТОЙКОСТИ
К ВОЗДЕЙСТВИЮ СТРЕЛОВИДНЫХ ПОРАЖАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ
ШРАПНЕЛЬНЫХ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ БОЕПРИПАСОВ**

**PROBLEM ISSUES IN THE DEVELOPMENT OF INDIVIDUAL ARMOR
PROTECTION AND ASSESSMENT OF THEIR RESISTANCE
TO THE INFLUENCE OF BOOT-SHAPED STRIKING ELEMENTS
OF SHRAPNEL ARTILLERY AMMUNITION**

По представлению чл.-корр. РАН А.И. Михайлина

А.С. Пучков, А.И. Спивак, Р.А. Печеник, Ю.Е. Ланцов

АО «НПО Спецматериалов»

A.S. Puchkov, A.I. Spivak, R.A. Pechenik, Yu.E. Lantsov

Проведен анализ номенклатур шрапнельных артиллерийских снарядов, характеристик стреловидных поражающих элементов (СПЭ). Представлены результаты экспериментальных исследований взаимодействия СПЭ с защитными структурами. Обоснован перечень задач по разработке научно-методического аппарата задания и оценки требований к средствам индивидуальной бронезащиты, обеспечивающим защиту от СПЭ.

Ключевые слова: шрапнельный артиллерийский снаряд, стреловидный поражающий элемент, средство индивидуальной бронезащиты, стойкость к воздействию стреловидных поражающих элементов.

An analysis of the nomenclatures of shrapnel artillery shells and the characteristics of arrow-shaped striking elements (SPE) was carried out. The results of experimental studies of the interaction of XPE with protective structures are presented. The list of tasks for the development of a scientific and methodological apparatus for specifying and assessing the requirements for personal armor protection that provides protection against PPE is substantiated.

Keywords: shrapnel artillery shell, arrow-shaped striking element, personal armor protection, resistance to arrow-shaped striking elements.

Опыт проведения специальной военной операции показал, что несмотря на запрет международной конвенцией 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 [1]. Вид 155-мм французской артиллерийской установки самоходной

CAESAR и разрыва ее шрапнельного снаряда представлен на рис. 1.

Кроме этого, в арсенале ВСУ имеются шрапнельные снаряды советского производства, которые ей достались после раздела вооружения СССР. При совершении провокации в городах Ирпень и Буча Киевской области мирное население было обстреляно шрапнельными снарядами, содержащими (СПЭ). Британские издания



а



б

Рис. 1. Вид 155-мм французской самоходной артиллерийской установки CAESAR (а) и разрыва шрапнельного артиллерийского снаряда (б)

опубликовали результаты судебно-медицинской экспертизы тел, в которых были обнаружены СПЭ [1]. Вид этих СПЭ представлен на рис. 2.

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. Причем стреляла именно украинская артиллерия [1].

Кроме этого, одной из наиболее перспективных сфер применения шрапнельных снарядов являются танковые орудия [2]. В условиях насыщения поля боя противотанковыми системами проблема обороны танка от них является чрезвычайно острой. В тенденциях развития танкового вооружения в последнее время наблюдается стремление к реализации принципа «бей равного», согласно которому основной задачей танка является борьба с танками противника как представляющими главную опасность, а защита его от противотанковых средств должна осуществляться сопровождающими боевыми

машинами пехоты, снабженными автоматическими пушками.

Следует отметить, что концепция, исходящая из представления о том, что главную угрозу для танка создает танк противника, не подтверждается опытом военных действий. Так, в ходе четвертой арабо-израильской войны 1973 года потери танков распределялись следующим образом: от действия ПТРК — 50%, от действий авиации, ручных противотанковых гранатометов, противотанковых мин — 28%, от огня танков — только 22 % [2].

Другая концепция, напротив, исходит из взглядов на танк как на автономную систему оружия, способную самостоятельно решать все боевые задачи, в том числе и задачу самообороны. Эта задача не может быть решена штатными осколочно-фугасными снарядами с ударными взрывателями по той причине, что при настільной стрельбе этими снарядами на осколочное поражение одиночных целей крайне неудовлетворительно согласуются плотность рассеивания точек падения снарядов и координатный закон поражения. Эллипс рассеивания, имеющий на дальности 2 км отношение больших осей примерно 50:1, вытянут в направлении стрельбы, тогда как зона поражения осколками располагается перпендикулярно этому направлению. В результате реализуется лишь очень небольшая площадь, где эллипс рассеивания и область поражения накладываются друг на друга. Следствием этого является низкая вероятность поражения одиночной цели одним выстрелом, по различным оценкам не превышающая 0,15...0,25 [2].

Выходом из положения явилось включение в боекомплект зарубежных танков шрапнельных



Рис. 2. Вид СПЭ, обнаруженных в телах жителей г. Буча

снарядов, которые обеспечили достаточную вероятность поражения живой силы противника.

Если закономерности взаимодействия осколочных и осколочно-фугасных снарядов с живой силой, в том числе использующей средства индивидуальной бронезащиты (СИБ), и легкобронированной техникой изучены [3, 4] и на этом основании выработаны основные принципы конструирования элементов СИБ и методология их испытаний на противоосколочную стойкость [5–7], то закономерности взаимодействия стреловидных поражающих элементов (СПЭ) с защитными структурами и биологическими объектами (их имитаторами) изучены недостаточно. В связи с этим отсутствуют результаты комплексных исследований по обоснованию облика и состава противоосколочных защитных структур, обеспечивающих защиту от СПЭ шрапнельных артиллерийских снарядов. Кроме этого, отсутствуют стандартизованные методики испытаний защитных структур на стойкость к воздействию как одиночных СПЭ, так и при групповом воздействии СПЭ.

Для обоснования методических подходов к заданию общих требований к СИБ по стойкости к воздействию СПЭ шрапнельных артиллерийских снарядов, конструированию полных защитных структур и экспериментальной оценке защитных свойств таких СИБ проведем анализ номенклатур шрапнельных артиллерийских снарядов, их устройства и принципа функционирования, а также массогабаритных и кинетических характеристик СПЭ.

Характеристики зарубежных шрапнельных артиллерийских снарядов, содержащих СПЭ, представлены в табл. 1.

Схема 105-мм снаряда APERS XM580E1 BEEHIVE представлена на рис. 3, вид снаряда к танковой пушке L7 — на рис. 4 [8].

Как следует из данных, представленных в табл. 1, в зарубежных шрапнельных снарядах применяются СПЭ массой 0,52 г и 0,85 г, вид которых представлен на рис. 5 [8].

За рубежом приняты схемы, в которых СПЭ в корпусе шрапнельных снарядов могут

Таблица 1

Характеристики зарубежных шрапнельных артиллерийских снарядов, содержащих СПЭ

№ п/п	Калибр, индекс снаряда, система	Государство	Масса снаряда, кг	Скорость снаряда, м/с	Масса вышибного заряда, кг	Количество СПЭ, шт.	Масса СПЭ, г
1	105-мм APER-S XM580E1 BEEHIVE	США	—	914–945	—	9000	0,52
2	152-мм снаряд M625 к танку M551 Sheridan	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	9,06	914	0,025	4100	0,52
5	90-мм Canister M377 к пушке M-41 танков M47/M48 Patton III	США	9,26	851–914	—	5600	0,52
6	105-мм APERS-T к танковой пушке L7 к танкам Centurion, Leopard 1, M60, Abrams, K1	Великобритания	—	1174	—	5000	—

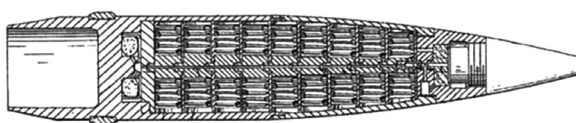


Рис. 3. Схема 105-мм снаряда APER-S XM580E1 «BEEHIVE» (США)

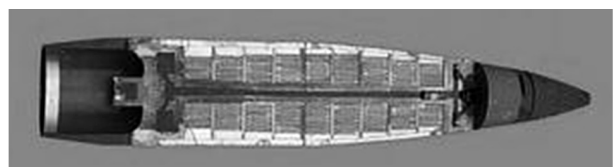


Рис. 4. Вид снаряда к танковой пушке



Рис. 5. Вид СПЭ к шрапнельным снарядам

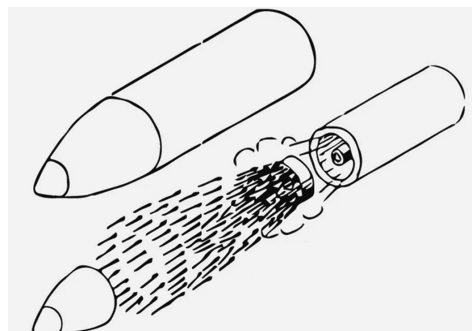


Рис. 6. Схема срабатывания снаряда, содержащего СПЭ

размещаться в виде моноблока или в виде компактных кассет. Моноблок представляет собой набор СПЭ, уложенных параллельно оси снаряда заостренной частью вперед. Для более плотной укладки может применяться также попеременная укладка заостренной частью вперед-назад. СПЭ в блоке залиты связующим веществом с пониженной адгезионной способностью, например воском [9].

У классического шрапнельного снаряда на заданной дистанции срабатывает механический дистанционный взрыватель и воспламеняется вышибной заряд. Газы, образующиеся при сгорании пороха вышибного заряда, создают давление, которое срезает резьбу привинтной головки, и под действием которого СПЭ выталкиваются с добавочной скоростью 150–200 м/с [9]. При увеличении скорости выброса СПЭ выше этих пределов за счет увеличения массы вышибного заряда и повышения энергетических характеристик пороха приводит к увеличению вероятности разрушения корпуса и к резкому увеличению деформирования СПЭ вследствие потери их продольной устойчивости, особенно в нижней части моноблока, где

наседающая нагрузка при выстреле достигает максимума. С целью предохранения СПЭ от деформации при выстреле в некоторых шрапнельных снарядах США (например, 105-мм снаряд M546 APERS-T) применяется многоярусная укладка СПЭ, при которой нагрузка от каждого яруса воспринимается диафрагмой, в свою очередь, опирающейся на уступы центральной трубки [9].

Под действием центробежных сил СПЭ разлетаются, образуя конус, и поражают открыто расположенную живую силу. Зона поражения шрапнельного снаряда к 105-мм танковой пушке L7 составляет 300×94 м [8].

Схема срабатывания классического шрапнельного снаряда, содержащего СПЭ, представлена на рис. 6.

Принцип действия 105-мм снаряда M546 APERS-T несколько отличается от принципа действия классического шрапнельного снаряда. Этот снаряд состоит из 8000 шт. СПЭ, расположенных упорядоченно в кассетах в пять ярусов. Вид кассеты с СПЭ представлен на рис. 7.

В состав шрапнельного снаряда входят также дистанционный взрыватель, детонаторы для

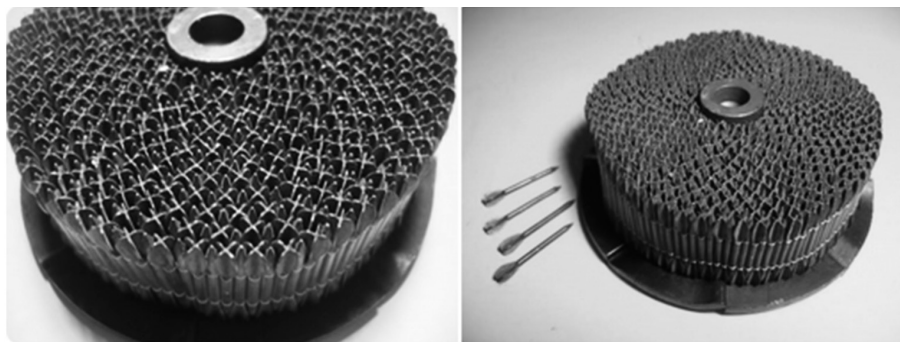


Рис. 7. Виды кассеты с СПЭ

разрушения корпуса, центральная импульсная трубка, вышибной заряд и трассирующий элемент. Снаряд функционирует следующим образом. При срабатывании взрывателя импульс передается по центральной трубке к детонаторам и передняя часть корпуса снаряда разделяется на четыре части. Корпус снаряда и первые четыре яруса СПЭ рассеиваются вращением снаряда, а пятый ярус рассеивается за счет вышибного заряда в конусе вдоль первоначальной траектории снаряда [10].

Анализ результатов, представленных в табл. 1, показывает, что скорости шрапнельных снарядов при стрельбе из артиллерийских орудий составляют до 500 м/с, а из танковых орудий — до 1200 м/с. С учетом дополнительной скорости, обусловленной срабатыванием вышибного заряда шрапнельного снаряда, скорости СПЭ увеличиваются и могут составлять до 1400 м/с. Как показали исследования, падение скорости СПЭ на траектории незначительное и на расстоянии 100 м составляет 114 м/с [10].

С целью определения проникающей способности СПЭ была проведена серия экспериментов по обстрелу щита из сухих досок СПЭ массой 0,85 г в диапазоне скоростей от 150 м/с до 500 м/с. В ходе эксперимента определялась глубина проникания СПЭ в доски. В результате обработки экспериментальных данных получены статистические модели зависимостей глубины проникания СПЭ в блок из сухих досок СПЭ от их скорости с использованием метода наименьших квадратов. При этом было рассмотрено несколько видов функций $y = f(x, a, b, \dots)$ и выбрана функция, для которой суммарная погрешность $\sum_{i=1}^n [f(x_i, a, b, \dots) - y_i]^2$ оказалась минимальной.

Вид статистических моделей зависимостей глубины проникания СПЭ в блок из сухих досок от скорости СПЭ представлен в табл. 2.

Полученная зависимость глубины проникания СПЭ в блок из сосновых досок от их скорости может найти практическое применение, например, для определения кинетических параметров СПЭ после пробития защитных структур с целью оценки энергетических затрат СПЭ на пробитие защитных структур конкретного состава, а также установления уровня воздействия на подстилающие биологические ткани (их имитаторы). Следует отметить, что баллистические характеристики СПЭ превосходят баллистические характеристики сферических поражающих элементов, поскольку последние быстро теряют скорость и убийные свойства. СПЭ характеризуются меньшим градиентом скорости вследствие большой поперечной нагрузки и сохраняют пробивную способность на значительном расстоянии от места срабатывания вышибного заряда шрапнельного снаряда.

Для оценки пробивной способности СПЭ при взаимодействии с защитными структурами была проведена серия экспериментов [11, 12]. Испытаниям подвергались следующие защитные структуры:

- типовая противоосколочная защитная структура бронеодежды, размещенная для обстрела на специальном цилиндрическом манекене, обитом в один слой 20 мм техническим войлоком по ГОСТ 6418-81;
- 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 глубина 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

Таблица 2

Вид статистических моделей зависимости глубины проникания СПЭ в блок из сухих досок от скорости СПЭ

№ п/п	Масса СПЭ, г	Вид статистической модели	Коэффициенты модели		Среднее отклонение, %	Средне-квадратическое отклонение	Коэффициент корреляции
			a	b			
1	0,85	$Y = a \cdot x^b$	0,103	1,13	1	0,01	0,9998

Примечание: область определения аргумента от 150 до 500 м

полных защитных структур (выход «носика» СПЭ за пределы защитных структур).

В результате обработки экспериментальных данных получены статистические модели зависимостей глубины выхода СПЭ из полной защитной структуры от скорости СПЭ при взаимодействии с защитной структурой с использованием метода наименьших квадратов. При этом было рассмотрено несколько видов функций $y = f(x, a, b, \dots)$ и выбрана функция, для которой суммарная погрешность $\sum_{i=1}^n [f(x_i, a, b, \dots) - y_i]^2$ оказалась минимальной.

Вид статистических моделей зависимостей глубины выхода СПЭ из полной защитной структуры от скорости СПЭ при взаимодействии с защитной структурой представлен в табл. 3.

С целью исследования закономерностей взаимодействия СПЭ массой 0,85 г с защитными структурами при скоростях 112...330 м/с была проведена серия экспериментов [12] с использованием типовой защитной бронеодежды, закрепленной на листе фанеры толщиной 30 мм.

Результаты испытаний представлены в табл. 4.

Анализ номенклатур шрапнельных артиллерийских снарядов, их устройства и принципа функционирования, а также кинетических характеристик СПЭ показал, что такие снаряды обладают значительным могуществом действия у цели.

Принимая во внимание значительное поражающее действие шрапнельных снарядов у цели, возникает необходимость разработки уточненного научно-методического аппарата для задания требований к СИБ, обеспечивающим защите от СПЭ, и оценки их защитных свойств.

При разработке общих технических требований к СИБ по стойкости к воздействию СПЭ шрапнельных артиллерийских снарядов, конструированию полных защитных структур в условиях информационной неопределенности [13] необходимо решить следующие частные задачи:

- разработать терминологический аппарат, описывающий процесс и результат взаимодействия СПЭ с СИБ;
- разработать классификатор СИБ по стойкости к воздействию СПЭ в зависимости от массы и скорости СПЭ;

Таблица 3

Вид статистических моделей зависимости глубины выхода СПЭ из полной защитной структуры от скорости СПЭ при взаимодействии с защитной структурой

№ п/п	Масса СПЭ, г	Вид статисти- ческой модели	Коэффициенты модели		Среднее отклонение, %	Средне- квадратическое отклонение	Коэффициент корреляции
			<i>a</i>	<i>b</i>			
Типовая противоосколочная защитная структура бронеодежды							
1	0,85	$Y = a \cdot x^b$	0,697	1,179	0	0,006	0,9998
Типовая защитная структура шлема							
2	0,85	$Y = a + bx^2$	−0,652	0,00033	4	0,600	0,9990

Примечание: область определения аргумента от 175 до 550 м/с

Таблица 4

Результаты взаимодействия СПЭ с типовой защитной структурой

№ п/п	Скорость СПЭ, м/с	Результат взаимодействия СПЭ с типовой защитной структурой
1	112	Частичное пробитие защитной структуры
2	153	Полное пробитие защитной структуры
3	220	Полное пробитие защитной структуры
4	265	Полное пробитие защитной структуры, СПЭ находится в фанере
5	330	Полное пробитие защитной структуры, «носик» СПЭ вышел из фанеры

- разработать классификатор СИБ по функциональному назначению;
- разработать классификатор СИБ по конструкционному исполнению;
- обосновать оценочный критерий стойкости СИБ к воздействию СПЭ;
- установить оценочные критерии уровней заброневого повреждения объекта защиты при различных величинах глубин внедрения СПЭ в него;
- разработать общие технические требования к СИБ, в том числе: требования назначения; требования по заброневого повреждения; требования по стойкости к внешним воздействиям; конструкционные требования; требования к материалам;
- разработать методические принципы обоснования состава защитных структур образцов СИБ исходя из необходимости минимизации поражающего воздействия на объект защиты (в том числе и заброневого воздействия) для каждого класса защитной структуры СИБ.

При разработке методологии проведения испытаний СИБ на стойкость к воздействию СПЭ необходимо решить следующие частные задачи:

- разработать уточненную принципиальную схему проведения испытаний;
- обосновать критерий поражения (пробития) СПЭ полной защитной структуры СИБ;
- разработать систему критериев для оценки результатов испытаний;
- обосновать перечень средств измерения, испытательного и вспомогательного оборудования;
- обосновать необходимый и достаточный перечень СПЭ для объективной оценки стойкости СИБ;
- обосновать объем испытаний для достоверной оценки стойкости СИБ к воздействию СПЭ;
- обосновать принципиальную схему метания СПЭ;
- обосновать принципиальную конструкцию средства метания СПЭ;
- обосновать конструкцию спецборки для проведения испытаний, состоящую из метаемого СПЭ, средства обтюрации и источника кинетической энергии;
- отработать способы метания СПЭ, обеспечивающие прямолинейное движение СПЭ на траектории;

- разработать поворотный стенд для размещения объекта испытаний (СИБ), обеспечивающий подход СПЭ к СИБ по нормали в случае переменной кривизны поверхности объекта испытаний (например, при испытаниях бронешлема);
- разработать ложемент (манекен) для размещения СИБ при проведении испытаний;
- обосновать состав и структуру запреградного материала в составе ложемента (манекена);
- разработать макет головы для размещения бронешлема при проведении испытаний;
- обосновать состав и структуру запреградного материала в составе макета головы;
- обосновать условия проведения испытаний (в том числе после воздействия климатических и других дестабилизирующих факторов);
- обосновать критерии зачетности взаимодействия СПЭ с образцом СИБ;
- обосновать алгоритм принятия решения относительно результатов испытаний.

Отдельным направлением исследований является разработка методических положений об оценке стойкости образца СИБ к групповому воздействию СПЭ в условиях, имитирующих срабатывание штатного шрапнельного артиллерийского снаряда на траектории.

В настоящее время принимаются успешные попытки решения отдельных частных задач из приведенного перечня. Известны результаты работ по взаимодействию СПЭ с образцами СИБ [12, 14]. В результате проведенных исследований был отработан один из возможных способов обеспечения стабилизированного прямолинейного движения СПЭ на траектории до взаимодействия с образцом СИБ, который показал свою достаточную эффективность. На рисунке 8 представлено движение СПЭ на траектории с отклонением от первоначального прямолинейного направления, на рисунке 9 представлено стабилизированное прямолинейное движение СПЭ на траектории [14].

Примером успешного решения другой частной задачи является внедрение аппаратно-программного комплекса анализа высокоскоростных процессов испытаний [14], включающего: высокоскоростную камеру; ноутбук с программным обеспечением; блок частотно-временного обеспечения и синхронизации; блок питания; световое обеспечение. Комплекс позволяет контролировать прямолинейность полета СПЭ;

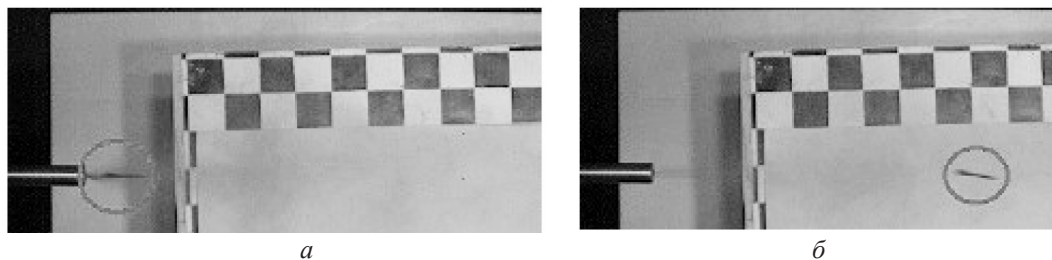


Рис. 8. Вид отклонения СПЭ (выделен окружностью) от прямолинейного направления (а) на траектории при проведении испытаний (б); а — момент вылета СПЭ из канала испытательной установки

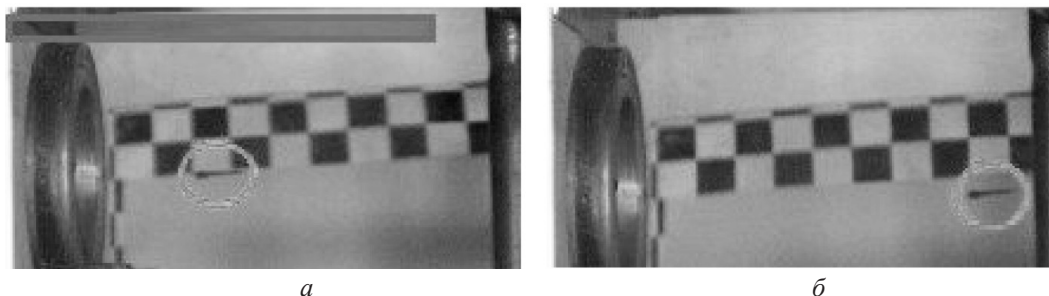


Рис. 9. Вид прямолинейного (стабилизированного) движения СПЭ (выделен окружностью) на траектории при проведении испытаний

начальную скорость СПЭ; скорость СПЭ в момент взаимодействия с образцом СИБ; угол от нормали взаимодействия СПЭ с образцом СИБ.

Однако, объем, перечень и сложность подлежащих решению задач предопределяют необходимость постановки и проведения комплексного исследования силами компетентных заинтересованных организаций, включающего

как разработку общих технических требований к СИБ по стойкости к воздействию СПЭ шрапнельных артиллерийских снарядов, конструированию полных защитных структур, так и разработку методологии проведения испытаний СИБ на стойкость к воздействию СПЭ.

Литература

1. Шрапнель и CAESAR: варварское оружие в руках Киева. <https://ren.tv/longread/1026260-shrapnel-i-caesar-varvaskoe-oruzhie-v-rukakh-kieva> (дата обращения: 12.02.24).

2. Шрапнель последствия. Шрапнель — что это такое? Влияние на развитие. URL: <https://welena.ru/accessories/shrapnel-posledstviya-shrapnel---chto-eto-takoe-kak-vyglyadit-shrapnel.html> (дата обращения: 12.02.24).

3. Байдак В.И., Блинов О.Ф., Знахурко В.А. и др. Концептуальные основы создания

средств индивидуальной защиты. Ч. 1. Бронезилеты. М.: Вооружение. Политика. Конверсия, 2003. 338 с.

4. 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.

5. Васильев Н.Н., Спивак А.И., Дмитриев В.Я. и др. К вопросу оценки противоосколочной стойкости защитных структур // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2014. № 1–2. С. 68–72.

6. Васильев Н.Н., Спивак А.И., Дмитриев В.Я. и др. Экспериментальная оценка баллистических параметров высокоскоростных поражающих элементов в осколочном потоке большой плотности // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2016. № 7–8. С. 76–81.

7. Пучков А.С., Спивак А.И., Ланцов Ю.Е. Проблемные вопросы оценки противоосколочной стойкости защитных структур: сб. науч. тр. / Актуальные проблемы защиты и безопасности. Труды XVI Всероссийской научно-практической конференции. 2023. Т. 2. С. 49–50

8. Статья о шарпнели и картечи: URL: <https://guns.allzip.org/topic/42/72117.html?ysclid=lsbv7gbgba352450079> (дата обращения: 12.02.24).

9. Техника и вооружение. URL: http://www.razlib.ru/transport_i_aviacija/tehnika_i_vooruzhenie_1999_04/p8.php (дата обращения: 12.02.24).

10. FAS. M546 APERS-T 105-мм. URS: <https://man.fas.org/dod-101/sys/land/m546.htm> (дата обращения: 12.02.24).

11. Ведищев А.М. Испытания и анализ стойкости средств индивидуальной бронезащиты к воздействию поражающих элементов шрапнельных боеприпасов // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2010. № 7–8. С. 99–101.

12. Отчет об исследовании пробивной способности стреловидных поражающих элементов. СПб.: АО «НПО Спецматериалов», 2022. 18 с.

13. 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.

14. Гоян А.А., Цуриков С.Г., Денисов А.В. и др. Совершенствование оценки противоосколочной стойкости боевой экипировки военнослужащих // Артиллерийский журнал. 2023. № 2. С. 10–18.

УДК: 623.46.017

DOI: 10.53816/20753608_2024_2_134

**СПОСОБЫ СТАБИЛИЗАЦИИ РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ РСЗО
(РЕТРОСПЕКТИВА; ОБЪЕКТИВНЫЕ И СУБЪЕКТИВНЫЕ ФАКТОРЫ,
ПОВЛИЯВШИЕ НА СПОСОБ СТАБИЛИЗАЦИИ
РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ РСЗО). ЧАСТЬ 2
(К 60-летию принятия на вооружение РСЗО «Град»)**

**MRLS ROCKET PROJECTILES STABILIZING METHODS
(RETROSPECTIVE; OBJECTIVE AND SUBJECTIVE FACTORS THAT
INFLUENCED THE METHOD OF MRLS ROCKET PROJECTILES STABILIZING).
PART 2 (To the 60th anniversary of the adoption of the Grad MRLS)**

По представлению чл.-корр. РАРАН Б.Э. Кэрта

В.В. Ерохин, М.Е. Долганов, Б.А. Авотын

АО «НПО «СПЛАВ» им. А.Н. Ганичева

V.V. Erokhin, M.E. Dolganov, B.A. Avotyn

Статья посвящена трем периодам развития отечественных реактивных систем залпового огня (РСЗО), в которых последовательно применялись аэродинамический (снаряды М-13), турбореактивный (снаряды М-14-ОФ) и снова аэродинамический (снаряды 9М22) способы стабилизации реактивных снарядов (РС) РСЗО на траектории. Важной подсистемой РСЗО является подсистема пуска РС — боевая машина (БМ), требования к которой (в истории с рождением РСЗО «Град») непосредственно влияют на конструктивное исполнение узлов стабилизации подсистемы поражения РСЗО — РС. Способ стабилизации также диктуется требуемой дальностью стрельбы и характеристиками рассеивания. Иногда может директивно задаваться для использования уже отработанных конструктивных схем. И, безусловно, отпечаток на конструкцию снаряда накладывают компетенции головного предприятия-разработчика, смена которого может коренным образом изменить облик образца.

Ключевые слова: реактивные системы залпового огня, методы стабилизации реактивных снарядов на траектории, рассеивание реактивных снарядов.

Abstract: The article is devoted to three periods of development of indigenous multiple rocket launcher systems (MRLS), in which aerodynamic (M-13 projectiles), turbojet (M-14-OF projectiles) and again aerodynamic (9M22 projectiles) MRLS rocket projectiles (RPs) stabilizing methods were successively used on the trajectory. An important subsystem of the MRLS is the RPs launch subsystem — launch vehicle (LV), the requirements for which (in the history of the creation of the MRLS «Grad») directly affect the design of the stabilization units of the MRLS destruction subsystem — RPs. The stabilizing method is also determined by the required firing range and measures of dispersion. Sometimes it can be prescriptively specified for the use of already proven design schemes. And, of course, the competence of the parent company-developer leaves an imprint on the design of the projectile, the change of which can radically change the appearance of the sample.

Keywords: multiple rocket launcher systems, stabilizing methods for rocket projectiles on their trajectory, dispersion of rocket projectiles.

Третье поколение РСЗО связывают с появлением РСЗО «Град», использующей РС с аэродинамическим стабилизатором [1], хотя в то время существовал принятый на вооружение в 1953 году тактический комплекс «Коршун» с оперенными снарядами. Также иногда [2] РС 9М22У «Града» сравнивают с зенитными РС «Тайфун» (Германия) и РС «Стриж» (СССР). Это методически неверно, поскольку предназначение этих РС — совершенно разное и требования к РС — тоже разные. Рассмотрим эти вопросы подробнее.

В 1944 году под руководством оберштурмбанфюрера СС Вернера фон Брауна начались испытания системы зенитного огня «Тайфун», предназначенной для уничтожения «летающих крепостей» союзников, которые совершали массированные налеты на территорию Германии.

Одна батарея состояла из 12 пусковых установок по 30 винтовых направляющих в каждой, придающих выстреливаемым снарядам вращательное движение. Стабилизация снаряда осуществлялась четырехкрылым стабилизатором, жестко закрепленным на корпусе снаряда, с косонаправленными (около 1°) аэродинамическими плоскостями (рис. 1).

За счет этого снаряд имел вращение (до 150 об/мин), частично компенсирующее эксцентриситет тяги. Рассеивание составляло 1/140 от наклонной дальности стрельбы. Боевая часть (БЧ) ракеты содержала 0,7 кг взрывчатого вещества. РС «Тайфун» разрабатывался в двух вариантах: «Тайфун-Р» (с твердотопливным пороховым двигателем) и «Тайфун-Ф» (с жидкостным двигателем).

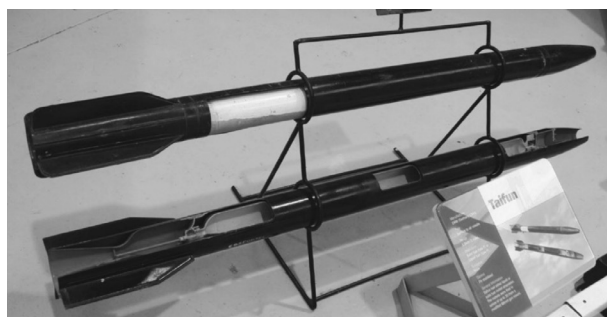


Рис. 1. РС «Тайфун» в музее RAF (Косфорт, Шропшир, Англия)

Твердотопливный вариант имел одношапечный двигатель весом 11,6 кг. Двигатель развивал тягу 2100 кг в течение 1,5...1,7 с, за это время снаряд набирал скорость порядка 1150 м/с, что позволяло достигать высоты около 16 км (с фугасной ГЧ). Снаряд «Тайфун-Р» с фугасной и осколочной боевыми частями имел следующие основные расчетные характеристики (таблица). Жидкостной вариант «Тайфун-Ф» был оснащен жидкостно-реактивным двигателем фирмы «Электромеханишверке». В качестве топлива использовалась самовоспламеняющаяся комбинация окислителя (98...100 %-я азотная кислота) и горючего (смеси бутилового эфира с анилином). Общий вес компонентов топлива — 8,32 кг. Подача компонентов была вытеснительной, необходимое давление создавал пороховой газогенератор.

Корпус боевой части выполнен из стали толщиной 0,7 мм. Он штамповался из двух половинок, которые затем сваривались между собой. В переднюю часть вваривалась резьбовая втулка, в которую вворачивался ударный взрыватель.

Таблица

Основные характеристики вариантов снаряда «Тайфун-Р»

Характеристики	РС с фугасной БЧ	РС с осколочной БЧ
Калибр, мм	100	
Длина, мм	1900	
Размах лопастей стабилизатора, мм	220	
Вес РС, кг	25	35
Вес БЧ РС, кг	2,4	10
Вес ВВ, кг	0,7	
Вес порохового заряда, кг	11,6	
Максимальная скорость, м/с	1100	750
Максимальная высота полета, м	16000	13000
Боевая высота, м	10000	
Время полета на высоту 10000 м, с	16	24

Зажигание двигателя происходило индукционным способом. В каждой направляющей имелась катушка, которая питалась от высокочастотного генератора (мощностью 3 кВт; напряжением 40 В; частотой 1 кГц). Вторичная катушка располагалась в ракете между боевой частью и воспламенителем. Она имела 30 витков изолированного провода диаметром 0,4 мм. В ней индуцировался ток 0,5 А, напряжением 1 В, который разогревал спираль и поджигал воспламенитель. Мощности одного генератора хватало для запуска ракет с 30 пусковых установок.

По своим весогабаритным характеристикам ракета «Тайфун» была близка к советскому РС М-13 (мало известная модификация «Катюши» под РС М-13 на тракторном шасси представлена на рис. 2). РС М-13 имеет длину 1,41 м (Тайфун — 1,97 м), диаметр — 132 мм (Тайфун — 100 мм), масса — 42,3 кг (Тайфун — 25 или 35 кг). По массе полезной нагрузки «Тайфун» значительно уступал М-13: масса боевой части снаряда М-13 равна 22 кг (Тайфун — 2,4...10 кг), масса взрывчатого вещества — 4,9 кг (Тайфун — 0,7 кг).

Несколько образцов ракет «Тайфун» Р и F стали трофеями Красной армии, и по постановлению Совета Министров (СМ) СССР № 4811-2092 от 01 декабря 1950 года КБ-2 (в 1951 году КБ-2 было переименовано в НИИ-642) под руководством А. Надирадзе был разработан их отечественный аналог РЗС-115 «Стриж», превосходящий немецкий аналог по всем показателям:

- длина — 2940 мм (Тайфун — 1970 мм);
- калибр — 115,2 мм (Тайфун — 100 мм);



Рис. 2. Пусковая установка М-13 на шасси трактора СТЗ-5

- масса — 53,65 кг (Тайфун — 25 или 35 кг);
- масса ВВ — 1,6 кг (Тайфун — 0,7 кг).

Корпус двигателя тонкостенный с теплоизоляционным покрытием. Боевая часть предназначена для поражения самолетов фугасным действием при прямом попадании или дистанционно при срабатывании от головного взрывателя.

Аналог «Тайфуна-Ф» — РС «Чирок» с жидкостным двигателем для РСЗО Сухопутных войск (СВ), обеспечивал превосходство над «Стрижем» в дальности на 25 %, однако требовал усложнения конструкции и эксплуатации (те же причины, по которым военными был отклонен тактический комплекс «Коршун»).

РС «Стриж» был предназначен для комплекса неуправляемого ракетного оружия противосамолетной обороны «Ворон». Батарея, состоявшая из 12 пусковых установок, должна была за 5...7 с выпускать до 1440 РС. Пусковая установка спроектирована ленинградским ЦНИИ-58 под руководством артиллерийского конструктора Василия Грабина. Она была буксируемой и несла на себе 120 трубчатых направляющих, причем этот пакет имел возможность кругового обстрела и максимальный угол возвышения 88°. Но самолеты тем временем стали летать на высотах до 20 км, и поэтому эта система оказалась бесполезной.

3 января 1956 года председатель Совета министров СССР подписал Постановление за номером 17 о начале разработки на основе реактивного снаряда «Стриж» осколочно-фугасного боеприпаса для РСЗО СВ. Работы поручаются тому же НИИ-642. Однако через год НИИ-642 (бывшее КБ-2) приказом Минавиапрома от 6 ноября 1957 года было переориентировано на создание противокорабельных авиационных управляемых ракет семейства «Щука», а также самонаводящихся и управляемых бомб.

Практически в те же сроки с описанными работами был разработан наиболее мощный на то время тактический комплекс 2К5 «Коршун» со спиральными направляющими для шести оперенных жидкостных ракет калибра 250 мм с дальностью стрельбы 55 км.

Комплекс «Коршун» проектировался ОКБ-3 НИИ-88 (п. Подлипки Московской области) по Постановлению Совета Министров СССР от 19 сентября 1953 года № 2469-1022 под руководством главного конструктора Д.Д. Севрука



Рис. 3. Тактический комплекс 2К5 «Коршун»



Рис. 4. А.И. Яскин

практически одновременно с работами по «Чирку». Ракета ЗР7 оснащалась жидкостным ракетным двигателем СЗ.25, топливные баки располагались последовательно, на хвостовом отсеке жестко закреплялись четыре съемных стабилизатора, располагавшихся под углом к оси ракеты, для обеспечения ее вращения. В качестве горючего использовался авиационный керосин, окислитель — азотная кислота. Пусковая установка 2П5 с шестью направляющими проектировалась в ЦКБ-34 (г. Ленинград) под большегрузный автомобиль Ярославского автомобильного завода ЯАЗ-214 (впоследствии КраЗ-214). Серийное производство комплекса началось в 1957 году и продолжалось до августа 1959 года (рис. 3).

К этому времени НИИ-1 отошел от разработки неуправляемых снарядов для систем залпового огня и сосредоточил усилия на создании управляемых ракет на твердом топливе для систем оперативно-тактического назначения (первое направление работ, признанных приоритетными при его образовании, см. выше).

В 1957 году СКБ-203, теперь ОАО НПП «Старт», главный конструктор Александр Иванович Яскин (рис. 4), Главным ракетно-артиллерийским управлением (ГРАУ) было поручено создать боевую машину РСЗО СВ (не менее 30 направляющих под РС на базе РС «Стриж») для замены БМ-14-17 с турбореактивными снарядами калибра 140 мм и дальностью стрельбы 10 км.

Ведущие конструкторы СКБ-203 А.М. Миткевич и В.И. Кошкарров в 1959 году разработали

эскизный проект боевой машины с РС «Стриж», имеющими жесткий стабилизатор. Из-за ограничений на железнодорожный габарит на пусковой установке размещались только 12...16 реактивных снарядов, что не удовлетворило Заказчика. Работа зашла в тупик. Было необходимо уменьшить поперечные габариты снаряда, чтобы увеличить их количество на БМ, как, например, в БМ-14-17 (рис. 5).

Дело оставалось за малым: найти исполнителя для разработки РС, что было непросто: мало кто отваживался взяться за работу по собственной инициативе (пример А.Г. Костикова был еще свеж).



Рис. 5. Трубчатые направляющие БМ-14-17

Переговоры с директором и главным конструктором артиллерийского завода № 66 в г. Челябинске окончились безрезультатно. Отказался от сотрудничества и главный конструктор Свердловского завода имени М.И. Калинина Л.В. Люльев — его производство было загружено изготовлением зенитной управляемой ракеты ЗМ8 для комплекса армейской ПВО «Круг».

В конце 1958 года в ГРАУ Ясина познакомили с главным конструктором НИИ-147 Александром Никитовичем Ганичевым (рис. 6). НИИ-147 занимался разработкой конструкций и технологий производства артиллерийских гильз в условиях массового производства. До 1958 года в его тематике работ по реактивной технике не было. Исключительный природный ум и целеустремленность А.Н. Ганичева позволили ему быстро оценить перспективность предложенной работы. Он увидел возможность изготовить корпус РС по гильзовой технологии глубокой вытяжки. В 1958 году были проведены поисковые работы, результаты которых позволили установить возможность использования малоуглеродистых сталей вместо высоколегированных, упрочняемых в процессе холодной пластической деформации для изготовления корпусов пороховых реактивных двигателей.

Использование метода холодной деформации дало возможность заменить дефицитные высоколегированные стали малоуглеродистой сталью и создать прогрессивные технологические процессы, приемлемые для серийного и массового производства.

Указанное направление в работе института в августе 1958 года было одобрено военно-промышленной комиссией Совета Министров СССР и в плане опытно-конструкторских работ на 1959 года, утвержденном министром оборо-



Рис. 6. А.Н. Ганичев

ны СССР и согласованном с Государственным комитетом Совета Министров СССР по оборонной технике, появилась разработка дивизионной РСЗО. Главным исполнителем назначен московский НИИ-24 (ныне Научно-исследовательский машиностроительный институт имени Бахирева), в то время бывший основным разработчиком боеприпасов. НИИ-147 (г. Тула) доверялась разработка двигателя. Фактически это был конкурс на лучший эскизный проект. В марте 1959 года были утверждены «Тактико-технические требования на опытно-конструкторскую работу № 007738».

Уже через месяц-другой¹ НИИ-147 выслал в СКБ-203 габаритно-массовый чертеж нового РС со складывающимся оперением, в собранном положении не выходящим за калибр снаряда, конструкция которого была разработана инженером НИИ-147 А. И. Савельевым [3–5]. По некоторым источникам [6], использовав эскизную проработку, выполненную в СКБ-203. Сложенные стабилизаторы до заряжания в трубу удерживались

¹ Из письма военпреда ГАУ №148 при СКБ-203 инженер-майора Рензина на имя Врид Начальника 5-го управления АНТК ГАУ инженер-полковника Пинчука Ю.Т.: «... Разработка предложений по проекту боевой машины 2Б5 велась на основании:

1. Технического задания на опытно-конструкторскую работу, выданного СКБ-203 НИИ-24 от 17 марта 1959 года;
2. Чертежа общего вида снаряда с раскрывающимися стабилизаторами, выданного НИИ-147 с письмом № 02045 от 29 апреля 1959 года;
3. Чертежей двух вариантов маршевого прямоточного двигателя — приставки к снаряду, высланных НИИ-24 в письме № 02038/156 от 9.05.1959;
4. Чертежа общего вида снаряда, высланного НИИ-24 с письмом № 01200/156 от 18 марта 1959 года;
5. Чертежа снаряда с жестким оперением, высланного НИИ-24...».

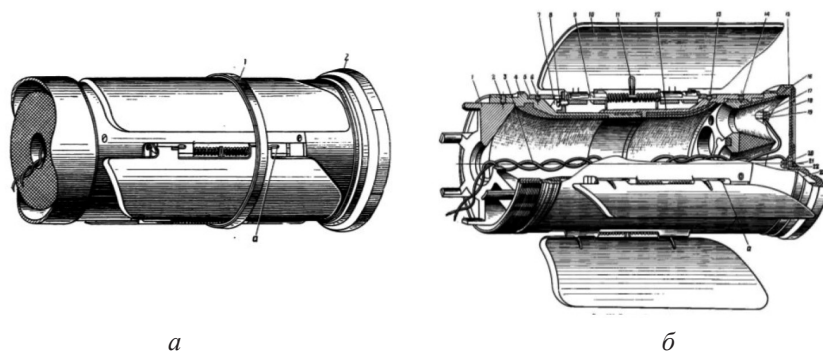


Рис. 7. Блок стабилизаторов РС 9М22: а — блок стабилизатора в транспортном положении; б — стабилизаторы в раскрытом положении

специальным кольцом, которое снималось при зарядании [7].

Конструкция складывающихся лопастей стабилизатора применяется во всех современных снарядах и ракетах РСЗО отечественной и зарубежной разработки. Внешне они все похожи, однако для каждой дальности стрельбы существует свой эксклюзивный профиль, геометрия, включающие толщину лопасти, профиль передней и задней кромок, угол между плоскостью лопасти и осью снаряда и др. Для каждого снаряда проводится большой объем теоретических и экспериментальных работ по определению оптимальных характеристик лопасти, узла ее крепления и раскрытия для различных скоростей полета с целью обеспечения устойчивого полета снаряда. Дополнительную сложность представляет различие в угловых скоростях вращения реактивного снаряда (так, в конце активного участка траектории и в вершине траектории угловые скорости различаются в 3...5 раз). По материалам отечественной открытой печати известны:

- результаты проектирования и испытаний замков лопасти [8–10];
- выбор формы раскрывающихся лопастей стабилизатора по винтовой линии и их ориентации относительно ведущего штифта [11];
- результаты отработки лопастей переменной толщины [12, 13];
- предложения по предотвращению передачи вибрационных нагрузок с лопастей на выходной раструб составного сопла [14];
- результаты отработки формы, размеров и кромок лопасти [15–18];
- мероприятия по уменьшению влияния индуцированного момента крена дугообразных лопастей [21].

В транспортном положении стабилизаторы удерживались пусковой трубой, а после выхода из направляющей они с помощью пружин раскрывались и фиксировались (рис. 7).

Складывающееся оперение в ином виде, применялось армией США в конструкции выпущенного с 1943 года реактивного авиационного снаряда М8 массой 17,6 кг. РС имел длину 911 мм и калибр 114 мм (рис. 8).

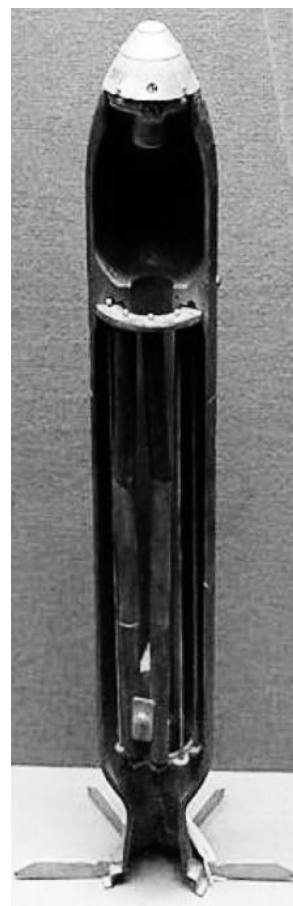


Рис. 8. Реактивный авиационный снаряд М8 (США)

Судя по открытым источникам, в 50–60-е годы исследования по использованию в снарядах оперения, складывающегося в транспортном состоянии по образующей корпуса, проходили в США очень интенсивно. Например, в более поздних работах (70-е годы) есть ссылки на исследования, отчеты по которым опубликованы:

– в 1958 году Pratt, A.V., «The Aerodynamic Characteristics of a Rocket with a Wrap Around Fin (WAF)», то есть складывающиеся стабилизаторы в виде части цилиндра, прикрепленные к корпусу с помощью подпружиненного шарнира [Technical Report AMR-SS-06-15, Apr. 2006]. Configuration», NOTS TN 4065-22, Nov. 1958;

– в 1960 году Featherstone H.A. «The Aerodynamic Characteristics of Curved Tail Fins», ERRR-PO-019, 26.09.60.

Известен также патент US2793591A от 28.05.1957, в котором предлагается конструкция узла стабилизации со складывающимися по окружности лопастями. Однако перечисленные предложения не были реализованы, разработка новых систем РСЗО в США возобновилась только с началом Корейской войны.

Таким образом, в серийном реактивном снаряде «Град» впервые в мире применено раскрываемое при старте оперение из четырех изогнутых лопастей, плотно прилегающих к цилиндрической поверхности хвостового отсека и не выходящих за габариты снаряда. Удалось получить компактную ракету, вписывающуюся в трубчатую направляющую с винтовым П-образным пазом для первоначальной закрутки ракеты с помощью ведущего штифта. В полете стабилизация снаряда обеспечивалась с помощью косо поставленных (под углом 1° к продольной оси снаряда) лопастей

стабилизатора. Двигатель обеспечил заданную дальность стрельбы — 20 км. Новый способ массового изготовления корпусов камер для реактивных двигателей РСЗО методом глубокой вытяжки позволил удешевить производство боеприпасов в десятки раз. Кстати, в 1963 году, когда эти снаряды начали поступать на вооружение, такой дальности не имели даже 122-мм пушки!

30 мая 1960 года вышло Постановление Совмина № 578-236 о начале полномасштабных работ по «полевой дивизионной реактивной системе «Град». Главным исполнителем системы был назначен НИИ-147. СКБ-203 разрабатывало пусковую установку; НИИ-6 — твердотопливные заряды; ГСКБ-47 — снаряжение боевых частей.

122-мм осколочно-фугасный снаряд 9М22 (М-210Ф) с взрывателем МРВ (9Э210) (рис. 9) имел длину 2870 мм (115,5-мм зенитный реактивный снаряд «Стриж» — 2940 мм) и полный вес 66 кг (РС «Стриж» — 53,7 кг).

Взрыватель МРВ предусматривал три установки: на мгновенное действие, на малое замедление и на большое замедление. Головная часть весом 18,4 кг содержала 6,4 кг взрывчатки (РС «Стриж» — 1,6 кг) (рис. 10).

По осколочному действию снаряд 9М22 был в два раза эффективнее снаряда М-140Ф, а по фугасному — в 1,7 раза. Ракетный заряд 9Х111, разработанный для РС 9М22 под руководством Б.Н. Фомина, был изготовлен из пороха марки РСИ-12М и состоял из двух цилиндрических шашек — головной и хвостовой общим весом 20,45 кг (РС «Стриж» — 18,75 кг), помещенных в стальной корпус двигателя, выполненный из двух цилиндрических секций, связанных



Рис. 9. РС РСЗО «Град»

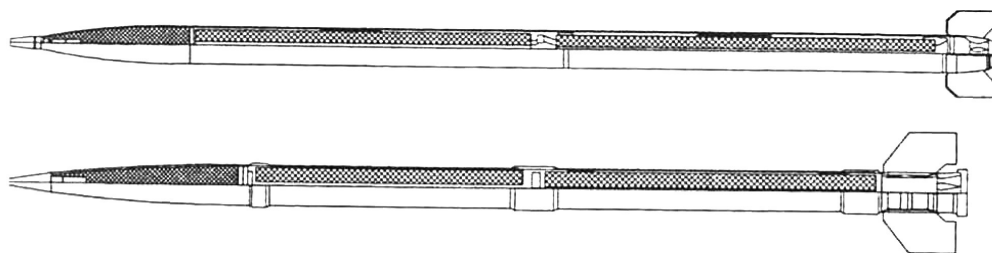


Рис. 10. Сравнение реактивных снарядов «Стриж» (вверху) и «Град» (внизу)

резьбовым соединением. Рецептура РСИ-12М разработана сотрудником НИИ-6 В.С. Лерновым и состоит из ксилидина, нитроглицерина, динитротолуола и централита. В состав заряда входили также катализаторы и технологические добавки. На внутреннюю поверхность корпуса двигателя было нанесено теплозащитное покрытие В-58 толщиной в треть миллиметра. Оно обеспечивало не только предохранение стального корпуса от нагрева и снижения прочности, но также существенно сокращало потери выделяющейся при сгорании энергии топлива на прогрев конструкции, обеспечивало требуемые удельный импульс и повышенную скорость горения заряда.

Сопловой блок, как и в РС БМ-20 и РС «Стриж», состоял из центрального и шести периферийных сопел. Сопла в сверхзвуковой части имели форму конуса с углом 30° . Диаметр критического сечения сопла составлял около 19 мм, а среза сопла — 37 мм. Тяга двигателя — не менее 4,1 т.

Максимальная дальность стрельбы 9М22 — 20,4 км, а минимальная — 5 км. На максимальной дальности стрельбы рассеивание по дальности составляло 1/130, а боковое — 1/200 (РС «Стриж» — 1/144).

Скорость схода снаряда с направляющих — 50 м/с, а максимальная скорость снаряда — 715 м/с (РС «Стриж» — 718...783 м/с).

Для улучшения кучности при стрельбе на дистанции от 12 до 15,9 км на снаряд 9М22 надевалось малое тормозное кольцо, а при стрельбе до 12 км — большое тормозное кольцо. Таким образом, при прочих сравнимых характеристиках РС 9М22 нес 6,4 кг ВВ (Тайфун — 0,7 кг; Стриж — 1,6 кг).

Топливный заряд был отделен от стенок камеры двигателя зазором 4 мм головной полузаряд и 9 мм — хвостовой. Фиксация полузарядов осуществлялась посредством наклеенных

на каждый из них шести «сухарей» размером 50 мм × 10 мм, изготовленных из того же топлива РСИ-12М. Торцы полузарядов бронировались наклеенными шайбами из нитрополиуима.

Между полузарядами размещался воспламенитель (80 г крупнозернистого дымного пороха КЗДП-1 и 2 г пороха ДРП-1, находящиеся в отдельных перкалевых мешочках). Ток на два электрозапала МБ-2Н подавался по проводам, проложенным через центральное сопло и канал хвостового полузаряда. Суммарная масса двух полузарядов с «сухарями» и шайбами составляла 20,6 кг, корпуса ракетной части — 24,5 кг (со стабилизаторами — 26,4 кг).

К началу шестидесятых годов считалось необходимым еще в мирное время накопить достаточный запас боеприпасов и хранить его до того, как они потребуются. Исходя из этого, был установлен гарантийный срок хранения реактивных снарядов 20 лет.

Компоновку боевой машины разработал ведущий конструктор СКБ-203 Ватолин В.В. по техническим решениям, апробированным при разработке БМ-14-17 и 9П12 зенитного комплекса «Куб» [6] (рис. 11).

В БМ-21 системы «Град» применено шасси новейшего на то время автомобиля повышенной проходимости «Урал-375». Автомобиль имел три ведущих моста. Грузоподъемность «Урал-375» позволила разместить на нем пакет из 40 трубчатых направляющих внутренним диаметром 122,4 мм, длиной 3 м (4 ряда) (рис. 12), в то время как, например, на боевой машине БМ-24 направляющих было всего 12, а на БМ-13 — 16.

Конструктивно боевая машина БМ-21 отличалась более современной и продуманной компоновкой — большинство механизмов наведения было укрыто под кожухами люльки и поворотного основания. Наряду с эстетичным



Рис. 11. Пусковая установка 9П12 зенитного комплекса «Куб»



Рис. 12. БМ-21

видом это обеспечивало большую надежность устройств и агрегатов при эксплуатации. Для ускорения операций по разворачиванию на боевых позициях и свертыванию вместо обычного вывешивания боевой машины на домкратах для повышения устойчивости при пуске реактивных снарядов предусматривалось отключение подпрессоривания задних мостов.

На внутренней поверхности трубы имелся винтовой П-образный паз под штифт реактивного снаряда, обеспечивающих закручивание снаряда в направляющих. Для наведения пакета в вертикальной плоскости (до 55°) использовался подъемный зубчатый механизм. Наведение по направлению обеспечивал поворотный механизм, включающий зубчатую шестерню и зубчатую внутреннюю поверхность погона (до 70° вправо и до 110° влево от направления вперед по продольной оси боевой машины). В пределах горизонтального сектора наведения до $\pm 34^\circ$ над кабиной минимальный угол возвышения ограничивался величиной 11° .

Впервые примененный на реактивной системе залпового огня электропривод обеспечивал скорости наведения до $5^\circ/\text{с}$ по вертикали и до $7^\circ/\text{с}$ по горизонтали. При необходимости допускалось и ручное наведение. Торсионный уравнивающий механизм представлял собой два пакета пружин, работающих на кручение. Длина боевой машины в походном положении составляла 7,35 м, ширина — 2,4 м, высота — 3,09 м, масса (без боекомплекта) — 10,87 т, а в боевом положении — 13,7 т. Боевые машины комплектовались радиостанциями Р-106М.

В результате огромного объема экспериментальных работ [5] была создана реактивная система залпового огня, уже в течение 60 лет являющаяся эталоном и до сих пор с успехом применяемая более чем 50 армиями мира.

Таким образом, в этом периоде развития РСЗО и аналитически (анализируя опыт использования турбореактивных снарядов), и директивно (в условиях, требующих использования результатов отработки удачного образца для зенитной системы), и технологически (удачно применив компетенции изготовления гильз артиллерийских снарядов), и, наконец, организационно (используя опыт, работоспособность и энтузиазм руководства и сотрудников НИИ 147) обоснован облик РСЗО, ставшей примером для подражания многих и многих отечественных и зарубежных аналогов.

Литература

1. Воротников О.С. Развитие ракет полевых реактивных систем залпового огня в XX веке. Дисс. на соиск. уч. степ. к.т.н. М.: Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова. 2006. 210 с.
2. Широкопад А.Б. «Град» — сын «Стрижа Тайфуновича» // Газета «Независимое военное обозрение». 21.03.2008.
3. Коровин В.Н. Проекция Денежкина. М.: Изд. «Студия «Этника»», 2022. 304 с.
4. Реактивная система залпового огня «Град». Вчера, сегодня, завтра. 50 лет в строю / ОАО «НПО «СПЛАВ»». Тула: РИФ «Элин», 2013. 176 с.

5. Старт в будущее. Екатеринбург: Изд. Дом «Пакрус», 2009. 232 с.
6. Александров С. Из истории боевой техники. Рождение «Града» // «Техника-молодежи». 2003. №4. С. 30-35.
7. Полезная модель: пат. 115461 Росс. Федерация. № 2011151220/11; заявл. 14.12.2011; опубл. 27.04.2012.
8. Реактивный снаряд с раскрывающимся оперением: пат. 2096646 Рос. Федерация. № 96111121/06; заявл. 03.06.1996; опубл. 20.11.1997. 6 с.
9. Аэродинамический стабилизатор реактивного снаряда залпового огня: пат. 2313761 Росс. Федерация. № 2006115412/02; заявл. 04.05.2006; опубл. 27.12.2007.
10. Стабилизирующее устройство реактивного снаряда: пат. 2321823 Росс. Федерация. № 2006127810/02; заявл. 02.08.2006; опубл. 10.04.2008.
11. Неуправляемый реактивный снаряд, запускаемый из трубчатой направляющей: пат. 2115882 Росс. Федерация. № 97104463, заявл. 20.07.1998; опубл. 10.11.1998.
12. Неуправляемый реактивный снаряд: пат. 2151367 Росс. Федерация. № 99117845; заявл. 16.08.1999; опубл. 20.06.2000.
13. Блок стабилизатора вращающегося реактивного снаряда: пат. 2181475 Росс. Федерация. № 2001122028/02; заявл. 08.08.2001; опубл. 20.04.2002.
14. Хвостовой блок вращающегося реактивного снаряда: пат. 2182309 Росс. Федерация. № 2001122029/02; заявл. 08.08.2001; опубл. 10.05.2002.
15. Стабилизатор сверхзвукового реактивного снаряда: пат. 2328695 Росс. Федерация. № 2006131790/02; заявл. 04.09.2006; опубл. 10.03.2008.
16. Вращающийся сверхзвуковой реактивный снаряд: пат. 2166178 Росс. Федерация. № 2000107028; заявл. 23.03.2000; опубл. 27.04.2001.
17. Стабилизатор сверхзвукового реактивного снаряда: пат. 2176066 Росс. Федерация; № 2001107107/02; заявл. 20.03.2001; опубл. 20.11.2001.
18. Вращающийся реактивный снаряд, запускаемый из трубчатой направляющей: пат. 2773057 Росс. Федерация. № 2021136048; заявл. 07.12.2021; опубл. 30.05.2022.
19. Вращающийся реактивный снаряд: пат. 2451902 Росс. Федерация. № 2011100325/11; заявл. 11.01.2011; опубл. 27.05.2012.

УДК: 623.61

DOI: 10.53816/20753608_2024_2_144

**СТРАТЕГИЧЕСКАЯ НАСТУПАТЕЛЬНАЯ ОПЕРАЦИЯ «БАГРАТИОН»
(23.06–29.08 1944)**

(80 лет полного освобождения Белоруссии от немецких захватчиков)

**STRATEGIC OFFENSIVE OPERATION «BAGRATION»
(23.06–29.08 1944)**

(80 years of complete liberation of Belarus from german invaders)

Чл.-корр. РАРАН А.П. Жарский¹, чл.-корр. РАРАН А.М. Сазыкин², чл.-корр. РАРАН В.Н. Шептура¹

¹НИО НИИ (ВИ) ВАГШ ВС РФ, ²АО «НПО Спецматериалов»

A.P. Zharsky, A.M. Sazykin, V.N. Sheptura

В статье освещаются вопросы подготовки и проведения Белорусской стратегической наступательной операции («Багратион»). В результате которой советские войска: нанесли поражение одной из наиболее сильных вражеских группировок — группе армий «Центр»; полностью завершили освобождение Белоруссии; освободили часть Литвы и Латвии; вступили на территорию Польши и подошли к границам Восточной Пруссии.

Ключевые слова: операция «Багратион», «Белорусский балкон», этапы операции, взаимодействие советских войск с партизанами, операция «Большой вальс».

The article highlights the issues of preparation and conduct of the Belarusian strategic offensive operation (Bagration). As a result of which the Soviet troops: defeated one of the most powerful enemy groups — Army Group Center; completely completed the liberation of Belarus; liberated part of Lithuania and Latvia; entered the territory of Poland and approached the borders of East Prussia.

Keywords: operation «Bagration», «Belorussian Balcony», stages of the operation, interaction of soviet troops with partisans, operation «Big Waltz».

Накануне войны на территории Белоруссии дислоцировались войска Западного Особого военного округа, который 22 июня 1941 года был преобразован в Западный фронт и одним из первых принял на себя удар одной из самых мощных группировок германской армии вторжения — группы армий «Центр» [1]. Советские войска, ведя тяжелые оборонительные бои, оказали противнику упорное сопротивление. Немногочисленный гарнизон Брестской крепости героически сражался до конца июля 1941 года, упорные оборонительные бои развернулись под Минском, Борисовом, Могилевом, Витебском, Гомелем и др. Однако в августе 1941 года войска

Западного фронта под натиском превосходящих сил врага вынуждены были оставить территорию Белоруссии [1].

Осенью и зимой 1943 года советскими войсками, действовавшими на западном направлении, были освобождены ряд восточных районов Белоруссии. Совинформбюро 26 сентября 1943 года сообщило о том, что Красная армия овладела первым районным центром Белоруссии — городом Хотимск, а два дня спустя соединения Западного фронта, наступая на могилевском направлении, освободили города Мстиславль, Климовичи, Костюковичи. Однако вплоть до лета 1944 года большая часть Белоруссии все

еще продолжала оставаться под жесточайшим гнетом оккупационного режима [2].

За годы оккупации захватчики уничтожили в Белоруссии свыше 2 млн 200 тыс. человек. Погиб почти каждый четвертый житель республики. Стремясь восполнить нехватку рабочей силы в Германии, немцы угнали 380 тыс. жителей в рабство. Оккупанты разрушили и сожгли 209 городов, в том числе столицу Белоруссии — Минск, города Витебск, Орша, Борисов, Гомель и другие, а также 9200 сел и деревень. Только в карательных операциях против партизан было уничтожено 619 деревень. Экономическая политика оккупантов была направлена на превращение Белоруссии в Германскую колонию. Промышленное производство Белоруссии к концу 1944 года составило 10 % от объема продукции, выпущенной в декабре 1940 года [2].

К июню 1944 года линия фронта в Белоруссии проходила восточнее Полоцка, Витебска, Орши, Могилева, Бобруйска и далее по р. Припять до Ковеля. В результате упорных боев конфигурация советско — германского фронта приняла здесь своеобразное начертание — образовался огромный, обращенный на восток, выступ, который немцы называли «белорусским балконом» [3]. Советским войскам здесь противостояли правофланговые соединения 16-й армии группы армий «Север», группа армий «Центр» (командующий генерал-фельдмаршал Э. Буш, с 28 июня — генерал-фельдмаршал В. Модель) в составе 3-й танковой, 4, 9 и 2-й полевых армий и левофланговые соединения 4-й танковой армии группы армии «Северная Украина» — всего 63 дивизии и 3 бригады. В своем составе они имели около 1,2 млн чел., свыше 9,5 тыс. орудий и минометов, 900 танков и штурмовых орудий и около 1350 самолетов.

«Белорусский балкон» преграждал Красной армии кратчайшие пути к Восточной Пруссии и Польше. Стремясь убедить своих солдат в том, что они здесь защищают Германию, Гитлер потребовал от генералов превратить все крупные белорусские города в крепости и удерживать их любой ценой. Немецкие войска занимали заранее подготовленную глубоко эшелонированную

(250–270 км) оборону, которая опиралась на развитую систему полевых укреплений и естественные рубежи [3].

С целью разгрома группы армий «Центр» и полного освобождения Белоруссии весной 1944 года Генштаб приступил к разработке плана стратегической наступательной операции под условным наименованием «Багратион» (в отечественной историографии чаще именуется Белорусской наступательной операцией). Параллельно над планом операции работали и штабы (принимающих в ней участие) фронтов (т.е. 1-го Прибалтийского — командующий генерал армии И.Х. Баграмян, 1-го Белорусского — командующий генерал армии К.К. Рокоссовский, 2-го Белорусского — командующий генерал-полковник Г.Ф. Захаров и 3-го Белорусского — командующий генерал-полковник И.Д. Черняховский)¹.

Четыре фронта объединяли 19 общевойсковых и 2 танковые армии, включавшие 166 дивизий, 12 танковых и механизированных корпусов, 7 укрепрайонов и 21 (отдельные танковые, механизированные и стрелковые) бригады. Они имели свыше 2,4 млн чел. личного состава, 31 тыс. орудий и минометов, 5,2 тыс. танков и САУ. Войска указанных фронтов поддерживала авиация численностью более 5 тыс. боевых самолетов. В состав 1-го Белорусского фронта вошла также, вновь созданная 1-я армия Войска Польского (командующий — генерал-лейтенант З. Берлинг) и Днепровская военная флотилия. К участию в операции привлекалась также авиация дальнего действия (командующий — маршал авиации А.Е. Голованов). С войсками тесно взаимодействовали Партизаны [4].

Замысел операции предусматривал одновременный прорыв обороны врага на 6 участках, окружение и уничтожение фланговых группировок в районах Витебска и Бобруйска, разгром оршанской и Mogилевской группировок. Затем, ударами трех Белорусских фронтов по сходящимся направлениям на Минск предполагалось окружить и уничтожить основные силы группы армий «Центр». В дальнейшем, наращивая удар и расширяя фронт наступления, советские войска должны были выйти к западной границе Советского Союза.

¹ Центральный архив Министерства обороны Российской Федерации (далее — ЦАМО РФ). Ф. 15. Оп. 952сс. Д. 309. Л. 23–28.

22 мая в Ставке Верховного главнокомандования (ВГК) состоялось совещание, на которое были вызваны (с проектами планов действий вверенных им войск) командующие фронтами. По утверждению Маршала Советского Союза Г.К. Жукова: «...проекты планов фронтов полностью соответствовали замыслам Ставки и были утверждены Верховным Главнокомандующим» [5]. Вместе с тем, согласно одной из версий некоторые коррективы в планы действий фронтов все же были внесены. Так, по первоначальному плану предполагалось нанесение 1-м Белорусским фронтом с юга (на бобруйском направлении) одного мощного удара, но К.К. Рокоссовский, изучив местность, заявил на совещании в Ставке 22 мая, что следует наносить не один, а два главных удара. Свое заявление он мотивировал тем, что в сильно заболоченном Полесье при одном участке прорыва армии будут утыкаться в затылок друг другу, забьют дороги в ближнем тылу, и в итоге войска фронта могут быть использованы только по частям. По мнению К.К. Рокоссовского, следовало нанести один удар от Рогачева на Осиповичи, другой — от Озаричей на Слуцк (окружив при этом Бобруйск, остающийся между этими двумя группировками). Предложение К.К. Рокоссовского вызвало в Ставке бурные дебаты, члены Ставки настаивали на нанесении одного удара из района Рогачева, во избежание распыления сил. Впоследствии в своих мемуарах К.К. Рокоссовский, вспоминая об этом эпизоде, напишет следующее: «Дважды мне предлагали выйти в соседнюю комнату, чтобы продумать предложение Ставки. После каждого такого «продумывания» приходилось с новой силой отстаивать свое решение. Убедившись, что я твердо настаиваю на нашей точке зрения, Сталин утвердил план операции в том виде, как мы его представили. Настойчивость командующего фронтом, — сказал он, — доказывает, что организация наступления тщательно продумана. А это надежная гарантия успеха» [6].

Непосредственная подготовка операции началась в конце мая. Конкретные планы были получены фронтами 31 мая в частных директивах Ставки Верховного Главнокомандования². Для

координации действий фронтов были назначены представители Ставки — Маршалы Советского Союза Г.К. Жуков и А.М. Василевский.

В подготовительный период операции по планам Генштаба и фронтов проводились широкие мероприятия по оперативной маскировке и материально-техническому обеспечению войск. Так, в полосе 3-го Украинского фронта имитировалось сосредоточение войск для наступления, а в Белоруссии в это же время выполнялись скрытая перегруппировка и сосредоточение войск. Немецкое командование было убеждено, что Красная армия летом 1944 года главные операции по-прежнему будет проводить на южном крыле советско-германского фронта, а действия в Белоруссии будут носить вспомогательный характер. С 1 по 23 июня 1944 года фронтам было подано более 75 тыс. вагонов с техникой, боеприпасами, ГСМ и другими грузами. В среднем фронтам ежедневно подавалось 90–100 поездов [3].

Наступление предваряла беспрецедентная по масштабу акция партизан³. Целью действий партизан в операции «Багратион» было, поначалу, выведение из строя неприятельских коммуникаций, позже — воспреещение отхода разбитых подразделений вермахта. Массированные действия по разгрому немецкого тыла были начаты в ночь с 19 на 20 июня. Только за ночь партизанами было произведено 10500 взрывов. В результате этого переброска немецких оперативных резервов была задержана на несколько дней. Сообщение по многим шоссе-дорогам из-за налетов партизан могло осуществляться только днем и только в сопровождении вооруженного конвоя.

По характеру боевых действий и содержанию выполненных задач Белорусская операция делится на 2 этапа (рис. 1). Начало первого этапа операции символически почти совпало с третьей годовщиной германского нападения на СССР [7]. Утром 23 июня перешли в наступление войска 1-го Прибалтийского, 3 и 2-го Белорусских фронтов, а сутками позже — армии правого крыла 1-го Белорусского фронта. Атаке ударных группировок всех четырех фронтов

² Директивы Ставки ВГК № 220112, 220113, 220114 и 220115 от 31 мая 1944 года.

³ В Белоруссии действовали многочисленные партизанские формирования. По данным Белорусского штаба партизанского движения только за лето 1944 года с войсками Красной армии соединилось 194708 партизан.

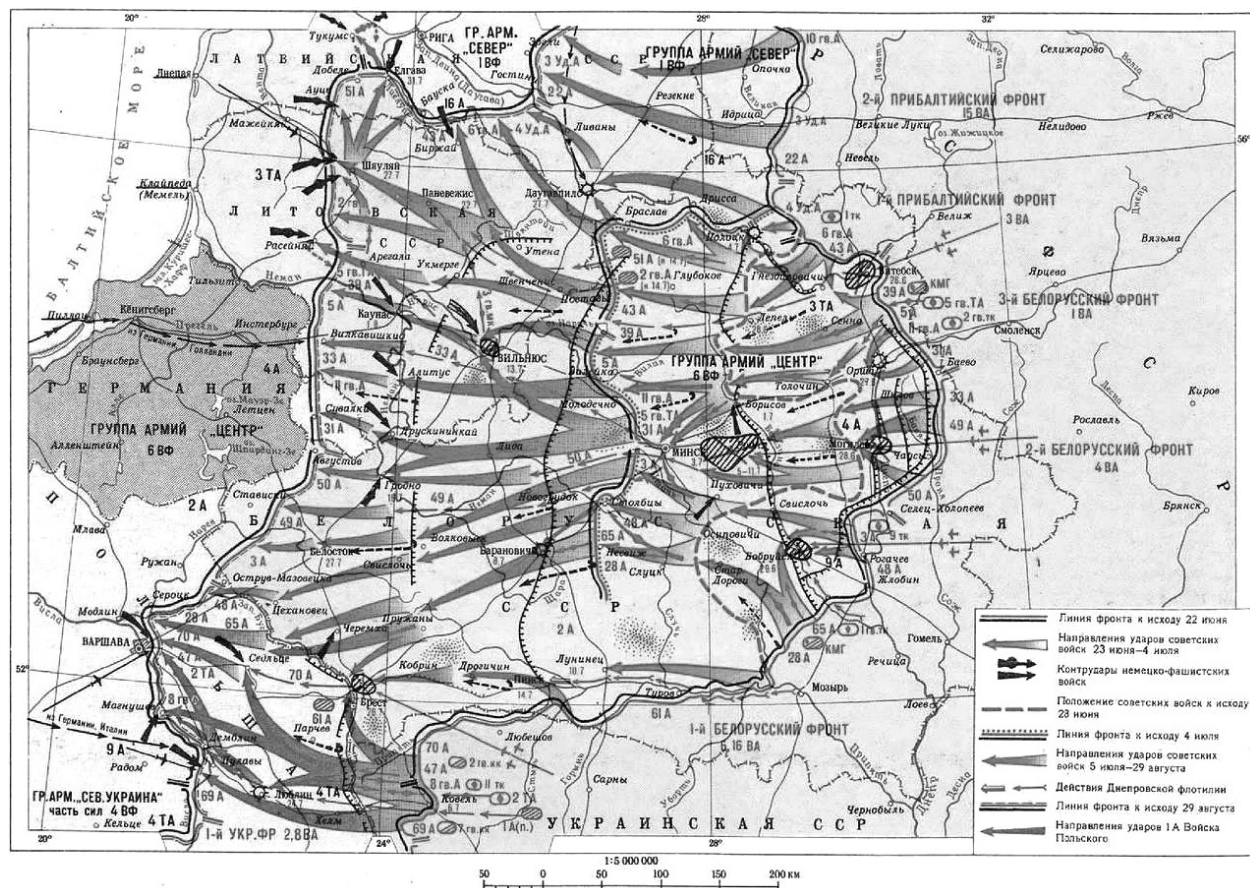


Рис. 1. Операция «Багратион» (23.06.–29.08.1944)

предшествовала артиллерийская и авиационная подготовка (рис. 2).

На 1-м этапе (с 23.06 по 04.07.1944 года) были проведены Витебско-Оршанская, Могилевская, Бобруйская и Полоцкая операции (рис. 3), а

также завершено окружение минской группировки. Войска 1-го Прибалтийского фронта совместно с войсками 3-го Белорусского фронта, перейдя 23 июня в наступление, к 25 июня окружили западнее Витебска 5 немецких дивизий и к 27 июня



Рис. 2. Артиллеристы на огневых позициях. Белоруссия, 1944 г.



Рис. 3. Генералы К.К. Рокоссовский и К.Ф. Телегин на командном пункте

ликвидировали их; главные силы фронта 28 июня овладели г. Лепель. Войска 3-го Белорусского фронта, успешно развивая наступление, 1 июля освободили г. Борисов. В результате 3-я немецкая танковая армия была отсечена от 4-й армии. Войска 2-го Белорусского фронта после прорыва обороны противника по рр. Проня, Бася и Днепр, 28 июня освободили Могилев. Войска правого крыла 1-го Белорусского фронта к 27 июня окружили свыше 6 немецких дивизий в районе Бобруйска и к 29 июня ликвидировали их (рис. 4). Одновременно войска фронта вышли на рубеж Свислочь, Осиповичи, Старые Дороги. 3 июля был освобожден Минск, восточнее которого в окружении оказались соединения 4 и 9-й полевых армий (свыше 100 тыс. чел.). 1-й Прибалтийский фронт освободил Полоцк (рис. 5) и продолжал развивать наступление на Шяуляй. За 12 дней советские войска продвинулись на 225–280 км, при среднесуточном темпе до 20–25 км, и освободили большую часть Белоруссии [7].

Группа армий «Центр» уже на первом этапе операции «Багратион» потерпела катастрофическое поражение: ее главные силы были окружены и разгромлены. С выходом Красной армии на рубеж Полоцк, оз. Нарочь, Молодечно, западнее Несвиж в стратегическом фронте противника образовалась огромная брешь протяженностью 400 км. Попытки немецкого командования закрыть ее отдельными дивизиями, спешно перебрасываемыми с различных направлений, не

могли дать сколько-нибудь значительных результатов. Перед советскими войсками появилась возможность начать неотступное преследование остатков разбитых войск противника.

После успешного завершения 1-го этапа операции Ставка направила фронтам новые директивы⁴, согласно которым они должны были ликвидировать окруженную группировку противника восточнее Минска и продолжать решительное наступление на запад. На 2-м этапе (с 05.07 по 29.08.1944) фронты, тесно взаимодействуя между собой, успешно осуществили 5 наступательных операций: Шяуляйскую, Вильнюсскую, Каунасскую, Белостокскую и Люблин-Брестскую. За это время советские войска завершили уничтожение окруженной группировки противника в районе восточнее Минска.

К 13 июля бои с окруженной группировкой врага под Минском были закончены и 17 июля 1944 года по центральным улицам Москвы было проконвоировано 57600 гитлеровских солдат и офицеров, захваченных в плен в Белоруссии⁵ (рис. 6).

Красная армия последовательно разгромила остатки отходивших соединений группы армий «Центр» и нанесла крупный урон войскам, переброшенным из Германии, Норвегии, Италии, Голландии, из группы армий «Север», «Южная Украина», «Северная Украина» и вновь сформированным в тылу группы армий «Центр» соединениям.



Рис. 4. Колонa немецкой техники, уничтоженная и брошенная недалеко от бобруйска. 1944 г.



Рис. 5. В освобожденном Полоцке, 1944 г.

⁴ Директивы Ставки ВГК № 220129-220132 от 04.07.1944.

⁵ Марш пленных немецких солдат и офицеров по Москве (также операция «Большой вальс») состоялся в понедельник 17 июля 1944 года.



Рис. 6. Марш немецких пленных по Москве.
10.07.1944 г.



Рис. 7. Части 39-й армии вышли на границу
с Восточной Пруссией. 1944 г.

Советские войска полностью завершили освобождение Белоруссии, освободили часть Литвы и Латвии, вступили на территорию Польши и подошли к границам Восточной Пруссии (рис. 7), форсировав реки Нарев и Висла. Они продвинулись на 260–400 км и расширили фронт наступления до 1000 км. Эффективную поддержку сухопутным войскам при прорыве обороны, окружении и ликвидации крупных группировок немецких войск, форсировании рек и преследовании противника оказали ВВС, совершив свыше 153 тыс. самолето-вылетов. Это позволило прочно удерживать господство в воздухе и сосредоточить основные силы воздушных армий на поддержке ударных группировок фронтов, дезорганизации планомерного отхода противника и уничтожении крупных группировок его войск. Быстрому продвижению наземных войск и освобождению Бобруйска и Пинска способствовали и действия Днепровской военной флотилии.

Важное значение для обеспечения успешных боевых действий войск в ходе операции имело хорошо организованное взаимодействие фронтов, видов Вооруженных сил и родов войск. Советские войска наносили согласованные уда-

ры с целью одновременного прорыва вражеской обороны на широком фронте, окружали крупные группировки противника и преследовали его отходящие части на большую глубину.

В операции в большом масштабе осуществлялось взаимодействие Красной армии с партизанами. В ходе операции они нарушали коммуникации противника, уничтожали его живую силу и технику, захватывали населенные пункты, переправы через водные преграды и удерживали их до подхода войск.

Войска Красной армии, начав наступление 23 июня на фронте 700 км, к концу августа продвинулись на 550–600 км к западу, расширив фронт военных действий до 1100 км. Советские войска вышли на Вислу и границу с Восточной Пруссией.

Таким образом, в ходе Белорусской операции была разгромлена одна из наиболее сильных вражеских группировок — группа армий «Центр», причем 17 дивизий и 3 бригады были полностью уничтожены, а 50 дивизий потеряли более половины своего состава. Было уничтожено около 2000 самолетов противника. Германские войска потеряли 409,4 тыс. солдат и офицеров, в том числе 255,4 тыс. безвозвратно [3].

Белорусская стратегическая наступательная операция, продолжавшаяся 68 суток, является одной из выдающихся операций не только Великой Отечественной, но и всей Второй мировой войны. Ее отличительная особенность — значительный пространственный размах и впечатляющие оперативно-стратегические результаты.

В борьбе за освобождение Белоруссии советские воины проявили массовый героизм и высокое боевое мастерство: 1500 ее участников стали Героями Советского Союза, сотни тысяч награждены орденами и медалями. Родина высоко оценила и подвиг партизан и подпольщиков, 27 особо отличившихся из них стали Героями Советского Союза [1].

Эта победа досталась нам дорогой ценой. В ходе наступления войска четырех фронтов потеряли 765815 человек убитыми, ранеными, пропавшими без вести. При этом безвозвратные потери составили 178507 человек [8]. В целом операция по замыслу, масштабам, эффективности и значимости занимает особое место и представляет собой важную главу в отечественной и мировой историографии военного искусства.

Литература

1. Краснознаменный Белорусский военный округ. М.: Воениздат, 1983. 406 с.
2. Великая Отечественная война 1941–1945. Энциклопедия. М.: Советская энциклопедия, 1985. 832 с.
3. Стратегический очерк Великой Отечественной войны 1941–1945. М.: Военно-научное управление Генерального штаба, 1961. 984 с.
4. Военный энциклопедический словарь. Т. 1. М.: Изд-во «Рипол классик», 2001. 848 с.
5. Маршал Советского Союза Г.К. Жуков. Воспоминания и размышления. М.: Изд-во «Агентство печати новости», 1972. 704 с.
6. Рокоссовский К.К. Солдатский долг. М.: Воениздат, 1997. 367 с.
7. Советская военная энциклопедия. Т. 1. М.: Воениздат, 1976. 638 с.
8. Гриф секретности снят. Потери Вооруженных Сил СССР в войнах, боевых действиях и военных конфликтах. М.: Воениздат, 1993. 415 с.

УДК: 061.3:623.45

DOI: 10.53816/20753608_2024_2_151

51-Я НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ»

51-TH SCIENTIFIC CONFERENCE «SYSTEMS DESIGN»

По представлению акад. РАРАН В.В. Селиванова

С.В. Ладов

МГТУ им. Н.Э. Баумана

S.V. Ladov

В статье проводится обзор тем научных докладов и сообщений, сделанных на 51-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 these paper oral presentations which were made in the 51-th 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: conference, ammunition, weapons, effectiveness, explosion, blast, destruction.

В Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана (национальном исследовательском университете) (далее МГТУ им. Н.Э. Баумана) 31 января — 2 февраля 2024 года состоялась 51-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»). Научный руководитель — заслуженный деятель науки РФ, академик РАРАН, доктор технических наук, профессор В.В. Селиванов; председатель Оргкомитета — член-корреспондент РАЕН, кандидат технических наук, доцент С.В. Ладов.

Конференция была посвящена 125-летию со дня рождения В.Л. Горского и 100-летию со дня рождения Е.И. Бобкова, много сделавших для становления и развития нынешних кафедр СМ-4 и СМ-6 МГТУ им. Н.Э. Баумана, образованных еще в далеком 1938 году. Накануне конференции, 30 января 2024 года, в НУК СМ состоялось открытие фотовыставки, посвященной этим знаменательным датам и истории вышеупомянутых кафедр.

Конференцию открыл руководитель НУК СМ МГТУ им. Н.Э. Баумана, доктор технических наук, профессор В.Т. Калугин. В ней приняли участие почти 250 представителей 45 организаций из 22 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 142 доклада, из них 66 устных и 76 стендовых.

На пленарном заседании под руководством профессора В.В. Селиванова было заслушано 2 сообщения и 6 устных докладов. Сообщения С.В. Ладова (МГТУ им. Н.Э. Баумана) «Роль В.Л. Горского в становлении и развитии боеприпасной специальности в МММИ им. Н.Э. Баумана» и В.В. Зеленцова (МГТУ им. Н.Э. Баумана) «Роль Е.И. Бобкова в становлении и развитии оборонных специальностей в МВТУ им. Н.Э. Баумана» были посвящены замечательным педагогам и методистам, участникам Великой Отечественной войны, много сделавшим для развития нынешних кафедр СМ-4 и СМ-6 МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Затем было заслушано 6 пленарных докладов, посвященных различным аспектам развития средств поражения и боеприпасов, вооружения и военной техники, отражающих направления всех пяти секций конференции:

1. Доклад В.М. Куприянова (АО «НИМИ им. В.В. Бахирева», г. Москва) «Комплексная математическая модель рассеивания корректируемых артиллерийских снарядов полевой артиллерии»;

2. Доклад Н.А. Кудюкова (АО «ГНПП «Регион», г. Москва) «Перспективные пути повышения эффективности поражающего действия универсальных малогабаритных торпед»;

3. Доклад В.Б. Яшина (АО «ГосНИИмаш им. В.В. Бахирева», г. Дзержинск) «Перспективы исследования металл-фторопластовых наполнителей в боеприпасах различного действия»;

4. Доклад О.П. Минина (АО «Уральский завод гражданской авиации», г. Екатеринбург) «Методические рекомендации для проектирования и особенности применения корректирующих беспилотных аппаратов средней дальности»;

5. Доклад В.В. Глазкова (МГТУ им. Н.Э. Баумана) «Проблемы создания полуактивных

радиолокационных ГСН для малогабаритных ЗУР комплексов малой дальности»;

6. Доклад А.И. Беспалова (АО «НИИСтали», г. Москва) «Научно-методические основы проектирования легкой бронезащиты».

На секции № 1 «Вопросы проектирования и эффективности боеприпасов» под руководством доцента В.А. Велданова было заслушано 15 устных и обсуждено 15 стендовых докладов. Тематика устных докладов являлась:

1. Доклад М.В. Тихонова (ГНЦ РФ ФГУП «ЦНИИХМ им. Д.И. Менделеева», г. Москва) «Методический подход к определению параметров управляемого группового взрыва»;

2. Доклад А.В. Свидинского (ГНЦ РФ ФГУП «ЦНИИХМ им. Д.И. Менделеева», г. Москва) «Определение параметров уязвимости при действии низкоскоростных поражающих элементов на квадрокоптер»;

3. Доклад А.О. Преображенского (ГНЦ РФ ФГУП «ЦНИИХМ им. Д.И. Менделеева», г. Москва) «Расчетные и экспериментальные исследования процессов формирования ударно-зажигательного элемента и его воздействия на стальную преграду»;

4. Доклад К.О. Байкалова (АО «НИМИ им. В.В. Бахирева», г. Москва) «Опыт применения рентгенотелевизионного контроля качества разрывных зарядов 152-мм осколочно-фугасных снарядов»;

5. Доклад А.В. Гуськова (ФГБОУ ВО «НГТУ», г. Новосибирск) «Влияние наладки пакета штампа на разностенность колпака на операции вырубки и свертывания»;

6. Доклад Д.В. Зверева (ФГБУ «З ЦНИИ Минобороны России», г. Москва) «Перспективы развития и требования к комплексам с барражирующими боеприпасами»;

7. Доклад М.Д. Новикова (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва) «Автоматизация сброса полезной нагрузки беспилотного аппарата»;

8. Доклад В.В. Разносчикова (ФАУ «ЦИАМ им. П.И. Баранова», г. Москва) «Разработка программного комплекса для формирования обликов летательных аппаратов специального назначения на ранних стадиях проектирования»;

9. Доклад Е.В. Сурикова (ФАУ «ЦИАМ им. П.И. Баранова», г. Москва) «Альтернативный подход к интеграции ракетно-прямоточных

и прямоточных двигателей в конструкции активно-реактивных снарядов»;

10. Доклад А.С. Губина (АО «НИМИ им. В.В. Бахирева», г. Москва) «Вопросы снаряжения взрывчатыми составами 152-мм осколочно-фугасных снарядов с использованием корпусов осветительных боеприпасов»;

11. Доклад Д.Д. Мельниченко (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва) «Моделирование поведения групп разнородных биообъектов при воздействии оружия нелетального действия разного класса»;

12. Доклад А.Е. Февралева (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва) «Обнаружение тяжело- и легкобронированной техники с помощью нейронных сетей для эффективного поражения кумулятивными зарядами с беспилотных летательных аппаратов»;

13. Доклад И.С. Степанова (ПАО «НПП «Импульс», г. Москва) «Алгоритм оценивания функциональной задержки доплеровского радиолокационного взрывателя для зенитной управляемой ракеты»;

14. Доклад А.В. Палагина (ГНЦ РФ ФГУП «ЦНИИХМ им. Д.И. Менделеева», г. Москва) «Эффективность силовой установки квадрокоптера с бесколлекторным электродвигателем»;

15. Доклад А.Р. Велиева (АО «ГосНИИмаш им. В.В. Бахирева», г. Дзержинск) «Оценка проникновения БЧ в армированный бетон».

Среди стендовых докладов по тематике секции № 1 были представлены такие организации, как МГТУ им. Н.Э. Баумана; ФГАОУ ВО «Южно-Уральский ГУ», г. Челябинск; БГТУ «Военмех» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург; Филиал ФГКВОУ «Военная академия МТО им. А.В. Хрулева», г. Пенза; АО «НИМИ им. В.В. Бахирева», г. Москва; АО «ГосМКБ «Вымпел им. И.И. Торопова», г. Москва; Филиал АО «НПО «Поиск», г. Москва; ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», г. Снежинск; ФГКУ «12 ЦНИИ Минобороны РФ», г. Санкт-Петербург.

На секции № 2 «Фугасное и осколочное действие боеприпасов» под руководством профессора Е.Ф. Грязнова было заслушано 10 устных и обсуждено 17 стендовых докладов. Тематику докладов являлись:

1. Доклад Р.Д. Скобельчихина (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва) «Анализ процесса фор-

мирования скрытых щелевых концентраторов напряжений в корпусах осколочных боеприпасов»;

2–3. Доклады С.Л. Плетнева (АО «НПО «Базальт», г. Москва) «Определение скорости убойных осколков при испытании кольцевого кумулятивного заряда» и «Осколочно-фугасное действие кольцевого кумулятивного заряда по результатам испытаний»;

4. Доклад С.А. Гаранина ВА МТО им. А.В. Хрулева, г. Санкт-Петербург) «Модель воздействия осколочного боеприпаса в воздушном минном поле по средствам разведки противника»;

5. Доклад А.В. Бармина (АО «ГосНИИ «Кристалл», г. Дзержинск) «Анализ характеристик дробления стандартных осколочных цилиндров RSFC № 12, изготовленных из стали различных марок и снаряженных взрывчатым составом А-IX-2»;

6. Доклад К.Е. Гришина (ВИАИВ, г. Красноярск — ВУНЦ СВ «Общевойсковая академия СВ РФ», г. Москва) «Теоретическое обоснование ударно-волнового и теплового воздействия на кассетные инженерные боеприпасы»;

7. Доклад С.С. Басакиной (ФГБУН «ФИЦХФ им. Н.Н. Семенова РАН», г. Москва) «Подводный взрыв высокометаллизированного состава в пузырьковой среде»;

8. Доклад А.В. Петюкова (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва) «Имитатор осколка для испытаний текстильных защитных структур»;

9. Доклад И.Р. Гришина (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва) «Анализ механического поведения керамики в составе защитных структур бронетехники»;

10. Доклад В.П. Халемчука (ИГиЛ СО РАН, г. Новосибирск) «Динамика плотности струи при ударном воздействии на стыке металлов».

Среди стендовых докладов по тематике секции № 2 были представлены такие организации, как АО «НИИСтали», г. Москва; МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва; ФГУП «РФЯЦ ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», г. Снежинск; НИИ криминалистики ЦСТ ФСБ России, г. Москва; ФГБУ «12 ЦНИИ Минобороны РФ», г. Санкт-Петербург; АО «НПО «Прибор» им. С.С. Голембиовского, г. Москва; ФКП «НИО «ГБП России», г. Красноармейск; АО «НИИ НПО «Луч», г. Подольск; АО «НПО «Базальт», г. Москва.

На секции № 3 «Кумулятивное и кинетическое действия боеприпасов» под руководством профессора А.В. Бабкина было заслушано 12 устных и обсуждено 15 стендовых докладов. Темами устных докладов являлись:

1–2. Доклады С.В. Федорова (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва) «И снова о кумулятивных зарядах с конической и полусферической облицовками» и «О возможной причине влияния размера зерна материала на пластичность кумулятивных струй»;

3. Доклад А.С. Пирозерского (АО «НПО «Базальт», г. Москва) «К вопросу измерения плотности кумулятивной струи»;

4. Доклад О.В. Свирского (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров) «Пластическое и объемное разрушение кумулятивных струй из порошкового молибдена»;

5. Доклад М.А. Власовой (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров) «Влияние мощности ВВ на оптимальные параметры облицовки кумулятивного заряда»;

6. Доклад Т.А. Медникова (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва) «Применение порошкообразных облицовок в кумулятивных средствах поражения»;

7. Доклад С.С. Рассохи (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва) «Численное моделирование вращающихся кумулятивных зарядов с двухстадийными и полусферическими облицовками»;

8. Доклад С.Л. Плетнева (АО «НПО «Базальт», г. Москва) «Удлинение кумулятивной струи при предварительном нагреве облицовки»;

9. Доклад А.С. Стешина (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва) «Особенности функционирования кумулятивной БЧ ПТУР с предварительно нагреваемой облицовкой»;

10. Доклад И.С. Бондарева (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва) «Анализ влияния параметров СФЗ на эффективность действия удлиненных поражающих элементов»;

11. Доклад А.В. Терещенко (АО «НПО «Базальт», г. Москва) «Исследование применения РМ (энергонанокмозитов) для создания кумулятивно-зажигательных БЧ с низкими полусферическими облицовками»;

12. Доклад Н.В. Мелехина (НИФИ ННГУ им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород) «Предельная деформация при высокоскоростном осевом растяжении медного стержня».

Среди стендовых докладов по тематике секции № 3 были представлены такие организации, как МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва; АО «НИМИ им. В.В. Бахирева, г. Москва; ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова», г. Москва; АО «НПО «Базальт», г. Москва; АО «НИИСтали», г. Москва; АО «НИИИ», г. Балашиха; ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань; АО «ГосНИИмаш им. В.В. Бахирева», г. Дзержинск; ФГБОУ ВО «СамГТУ», г. Самара.

На секции № 4 «Энергетические материалы. Детонация. Метательное действие» под руководством доцента С.Г. Андреева было заслушано 12 устных и обсуждено 15 стендовых докладов. Темами устных докладов являлись:

1. Доклад А.А. Тоскина (АО «НПО «Поиск», г. Санкт-Петербург) «Выбор параметров электро-механических систем инициирования на базе электродетонаторов типа LEEFI»;

2. Доклад К.С. Колобова (АО «ГосНИИмаш им. В.В. Бахирева», г. Дзержинск) «Расчетно-экспериментальная оценка времени задержки начала и длительности действия реакционноспособных материалов»;

3. Доклад А.Г. Глущенко (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. акад. Е.И. Забабахина», г. Снежинск) «Интерференция детонационных волн в ВВ на основе октогена от точечных инициаторов разной мощности»;

4. Доклад О.В. Склонина (ГНЦ РФ ФГУП «ЦНИИХМ им. Д.И. Менделеева», г. Москва) «Электродетонатор ЭДП-р специальной сборки для испытаний объектов на взаимодействие электромагнитных волн»;

5. Доклад А.Ю. Долгобородова (ОИВТ РАН, г. Москва) «Анализ получения быстрогорящих составов методом механоактивации»;

6. Доклад П.В. Забусова (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров) «Использование термодинамических расчетов для построения уравнения состояния продуктов взрыва составов на основе октогена»;

7. Доклад А.В. Станкевича (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. акад. Е.И. Забабахина», г. Снежинск) «Сравнительный анализ термической деформации кристаллов 2, 4 — динитроанизола и 2, 4, 6 — тринитротолуола»;

8. Доклад С.М. Лапина (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров) «Взрывчатые составы на основе ВВ ГАВ для перспективных кумулятивных зарядов»;

9. Доклад Л.С. Яновского (ФАУ «ЦИАМ им. П.И. Баранова», г. Москва) «Проблемы создания и применения высокоэнергоемких топлив нового класса»;

10. Доклад А.Г. Мухаммадиева (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров) «Возбуждение детонации во взрывчатых составах на основе ВВ ГАВ при ударно-волновом инициировании плоскими ударными волнами с амплитудой от 2 до 5 ГПа»;

11. Доклад А.А. Костеровой (ГНЦ РФ ФГУП «ЦНИИХМ им. Д.И. Менделеева», г. Москва) «Перспективный способ изготовления пористо-каркасных реакционных материалов»;

12. Доклад А.С. Сальникова (ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань) «Разработка пластичного энергонасыщенного материала с применением малотоксичного связующего».

Среди стендовых докладов по тематике секции № 4 были представлены такие организации, как АО «ГосНИИмаш им. В.В. Бахирева», г. Дзержинск; ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров; ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. акад. Е.И. Забабахина», г. Снежинск; ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань; ФГБОУ ВО «СамГТУ», г. Самара; МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва; ИГиЛ СО РАН, г. Новосибирск; АО «НПО «Прибор» им. С.С. Голембиовского», г. Москва; АО «ГосНИИ «Кристалл», г. Дзержинск; ГНЦ РФ ФГУП «ЦНИИХМ им. Д.И. Менделеева», г. Москва; ФГУП «ФИЦТ «Союз», г. Дзержинский; ФГКВБОУ ВО «Филиал ВО МТО им. А.В. Хрулева», г. Пенза; АО «НПК «КБМ», г. Коломна.

На секции № 5 «Вооружение и военная техника» под руководством доцента И.Б. Шавырина было заслушано 9 устных и обсуждено 14 стендовых докладов. Темами устных докладов являлись:

1. Доклад А.А. Франкевича (ВУНЦ СВ «Общевойсковая академия СВ РФ», г. Москва) «Оценка эффективности инженерных боеприпасов с широкой зоной поражения, установленных на робототехнических комплексах военного назначения»;

2. Доклад А.А. Попова (АО «НПК «КБМ», г. Коломна) «Модель функционирования рулевого привода и оценка его влияния на составляющие эффективности ЗУР»;

3. Доклад В.Е. Фочкина (АО «НПО «СПЛАВ» им. А.Н. Ганичева», г. Тула) «Сравнение программных продуктов «ЛОГОС» и «ANSYS» на

примере проведения аэродинамических расчетов УРС»;

4. Доклад А.А. Мелехина (БГТУ «Военмех» им. Д.Ф. Устинова», г. Санкт-Петербург) «Комплексная методика оценки проектной готовности сложной технической системы»;

5. Доклад С.А. Гаранина ВА МТО им. А.В. Хрулева, г. Санкт-Петербург) «Модель воздействия осколочного боеприпаса в воздушном минном поле по средствам разведки противника»;

6. Доклад М.С. Буянова (Военный институт железнодорожных войск ВА МТО им. А.В. Хрулева, г. Санкт-Петербург) «Повышение самостоятельности обучающихся при поиске способов повышения живучести пунктов управления в рамках педагогического эксперимента, проведенного в военном вузе»;

7. Доклад П.А. Бирюкова (АО «ГосМКБ «Вымпел» им. И.И. Торопова», г. Москва) «Концепция разработки и эксплуатации имитационных компьютерных моделей летательных аппаратов»;

8. Доклад З.А. Зенько (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва) «Методика оценки кучности стрельбы огнестрельного оружия на ранних этапах проектирования»;

9. Доклад Ю.В. Молодцовой (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва) «Программные и электронные закладки в различных образцах военной техники».

Среди стендовых докладов по тематике секции № 5 были представлены такие организации, как АО «НПО «СПЛАВ» им. А.Н. Ганичева, г. Тула; АО «НПК «КБМ», г. Коломна; ВУНЦ СВ «Общевойсковая академия СВ РФ», г. Москва; Военный институт железнодорожных войск ВА МТО им. А.В. Хрулева, г. Санкт-Петербург; МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва.

В целом 51-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 «РФЯЦ-ВНИИТФ им. акад. Е.И. Забабахина (г. Снежинск); ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» (г. Саров); АО «ГосНИИмаш им. В.В. Бахирева (г. Дзержинск), 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 робототехнических устройств военного и специального 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 сборника кратких статей по поступившим докладам в одном из отраслевых журналов.

СОДЕРЖАНИЕ

КОНФЕРЕНЦИЯ

<i>Карапетян Н.М.</i> Научный форпост Победы	3
--	---

ГЕОПОЛИТИКА И ОБОРОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

<i>Селиванов В.В., Ильин Ю.Д.</i> Проблемные аспекты и направления совершенствования военно-экономического анализа	17
<i>Филатов В.Н., Присяжнюк С.П., Петров Д.М., Яблонский Л.И.</i> Основные направления развития национальной системы геопропространственного обеспечения ВС США.....	25
<i>Сазыкин А.М., Анисимов В.Г., Ставицкий Д.В., Фетисов А.В.</i> Прогнозирование сформированности военно-профессиональных компетенций.....	32
<i>Боровков А.И., Кулемин В.Ю.</i> О V-диаграмме создания изделий высокой степени технологической сложности вооружения военной и специальной техники в парадигме системного инжиниринга на основе цифровых двойников	37

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ, РАСЧЕТЫ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ

<i>Сильников М.В., Лазоркин В.И.</i> Математическая модель определения вероятных объектов диверсионных действий при планировании антидиверсионных мероприятий	44
<i>Баранов И.И., Кислицын С.А., Хмельников Е.А., Шадрин И.Д.</i> Принципы индустрии 4.0 в оценке и повышении защищенности военных гусеничных машин	49
<i>Пронин А.Ю., Леонов А.В., Брайткрайц С.Г.</i> Перспективы использования методов моделирования на этапах системного проектирования нового оружия.....	58
<i>Маликов А.И., Сергеев М.С., Тараскин А.С., Воякина Е.С.</i> Математическая модель внешних воздействий на следящие системы инфракрасного диапазона за зоной форсажа летающих лабораторий	69
<i>Спирин И.В.</i> Обоснование требований к модулям имитационного моделирования программно-методического комплекса «Двойник-МУЗР».....	75

ВООРУЖЕНИЕ, ВОЕННАЯ И СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕХНИКА

<i>Гвоздев А.Е., Шибeko С.В., Щукин В.Д.</i> Основные направления развития высокоточных боеприпасов ствольной артиллерии	84
--	----

Баскаков В.Д., Калугин В.Т., Розанов Л.А., Сидняев Н.И. Повышение степени унификации отечественных артиллерийских комплексов за счет нового дальнобойного снаряда 91

Афанасьев А.С., Вященко Ю.Л., Иванов К.М., Тарнаев А.Г. Повышение достоверности и эффективности бесстрельбовых методов приведения к нормальному бою танковых пушек как задача системной координации 99

Баскаков В.Д., Калугин В.Т., Розанов Л.А., Сидняев Н.И. К вопросу о повышении дальности стрельбы орудий типа «Гиацинт» за счет нового активно-реактивного снаряда..... 105

ЭКСПЕРИМЕНТЫ, ИССЛЕДОВАНИЯ И МАТЕРИАЛЫ

Григорьев В.Н., Просветова Д.Р. Проблемные вопросы применения новейших образцов вооружения для гражданской обороны 111

Матковский Н.О., Тишков В.В., Ермолаев А.Ю. Анализ применения интерметаллидов в качестве высоконагруженного корпуса приборного отсека летательного аппарата..... 118

Пучков А.С., Спивак А.И., Печеник Р.А., Ланцов Ю.Е. Проблемные вопросы разработки средств индивидуальной бронезащиты и оценки их стойкости к воздействию стреловидных поражающих элементов шрапнельных артиллерийских боеприпасов 125

ИСТОРИЯ

Ерохин В.В., Долганов М.Е., Авотынь Б.А. Способы стабилизации реактивных снарядов РСЗО (Ретроспектива; объективные и субъективные факторы, повлиявшие на способ стабилизации реактивных снарядов РСЗО). Часть 2 (К 60-летию принятия на вооружение РСЗО «Град») 134

Жарский А.П., Сазыкин А.М., Шептура В.Н. Стратегическая наступательная операция «Багратион» (23.06–29.08 1944) (80 лет полного освобождения Белоруссии от немецких захватчиков) 144

СООБЩЕНИЯ

Ладов С.В. 51-я Научно-техническая конференция «Проектирование систем»..... 151

СПИСОК АВТОРОВ СТАТЕЙ НОМЕРА

Авотынь Борис Андреевич, д-р техн. наук, главный специалист АО «НПО «СПЛАВ» им. А.Н. Ганичева. E-mail: splav@tula.net

Анисимов Владимир Георгиевич, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. E-mail: an-33@yandex.ru

Афанасьев Александр Сергеевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Стрелково-пушечное, артиллерийское и ракетное оружие» (Е1) БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова. Тел.: +7 (911) 117-11-98. E-mail: afanasjeff64@gmail.com

Баранов Илья Игоревич, аспирант кафедры «Специальное машиностроение» Нижнетагильского Технологического Института (филиал) Уральского Федерального Университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина. E-mail: baranovii@yandex.ru

Баскаков Владимир Дмитриевич, д-р техн. наук, профессор кафедры «Технологии ракетно-космического машиностроения» (СМ-12) МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: baskakov_vd@bmstu.ru

Боровков Алексей Иванович, канд. техн. наук, доцент, профессор Высшей школы механики и процессов управления, руководитель Научного центра «Передовые цифровые технологии», проректор по цифровой трансформации СПбПУ Петра Великого. E-mail: vicerector.ap@spbstu.ru. Тел.: +7 (812) 552-73-95.

Брайткрайц Сергей Гарриевич, д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России.

Воякина Елизавета Сергеевна, инженер ФАУ ГосНИИАС. Тел.: +7 (977) 910-44-08. E-mail: voyakina.es@gosniias.ru

Вященко Юрий Леонидович, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Стрелково-пушечное, артиллерийское и ракетное оружие» (Е1) БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова. Тел.: +7 (931) 207-45-52. E-mail: 89312074552@yandex.ru

Гвоздев Александр Евгеньевич, чл.-корр. РАН, д-р воен. наук, профессор, главный научный сотрудник 3 ЦНИИ МО РФ. E-mail: 3cnii@mail.ru Тел.: +7 (916) 782-84-62.

Григорьев Владимир Николаевич, д-р воен. наук, профессор, главный научный сотруд-

ник 2 научно-исследовательского центра ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). E-mail: Prorab69@rambler.ru

Долганов Михаил Евгеньевич, канд. техн. наук, заместитель главного конструктора по НИР, инвестиционным проектам АО «НПО «СПЛАВ» им. А.Н. Ганичева. E-mail: splav@tula.net

Ермолаев Андрей Юрьевич, д-р техн. наук, директор научно-исследовательского испытательного комплекса АО «ГосМКБ «Вымпел» им. И.И. Торопова», профессор института № 7 «Робототехнические и интеллектуальные системы» ФГБОУВО «Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет)». E-mail: erm_a@mail.ru

Ерохин Владимир Викторович, канд. техн. наук, заместитель генерального директора — главный конструктор АО «НПО «СПЛАВ» им. А.Н. Ганичева. E-mail: splav@tula.net

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

Иванов Константин Михайлович, академик РАН, д-р техн. наук, профессор, ректор БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова. Тел.: +7 (812) 316-24-09. E-mail: ivanov_km@voenmeh.ru

Ильин Юрий Дмитриевич, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, ведущий аналитик НПП «Спецтехника» МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: ydilyin@mail.ru

Калугин Владимир Тимофеевич, д-р техн. наук, заведующий кафедрой «Динамика и управление полётом ракет и космических аппаратов» (СМ-3) МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kaluginvt@bmstu.ru

Карапетян Наринэ Марленовна, обозреватель журнала «Защита и безопасность». E-mail: zib97@mail.ru

Кислицын Сергей Александрович, аспирант кафедры «Специальное машиностроение» Нижнетагильского Технологического Института (филиал) Уральского Федерального Университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина. E-mail: ksay@bk.ru

Кулемин Владимир Юрьевич, канд. техн. наук, доцент, ведущий инженер ЦК НТИ Санкт-Петербургского политехнического

университета Петра Великого. E-mail: kulemin@compmechlab.ru

Ладов Сергей Вячеславович, канд. техн. наук, доцент кафедры высокоточных летательных аппаратов МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: ladovsv@bmstu.ru

Лазоркин Валерий Иванович, д-р техн. наук, доцент, старший научный сотрудник НИИ СМ АО «НПО Спецматериалов». Тел.: +7 (812) 294-58-97.

Ланцов Юрий Евгеньевич, инженер НИИ СМ АО «НПО Спецматериалов». Тел.: (812) 291-45-03.

Леонов Александр Васильевич, д-р экон. наук, профессор, ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России.

Маликов Андрей Игоревич, заместитель командира испытательной авиационной эскадрильи Войсковой части 15650, 929 ГЛИЦ МО РФ им. В.П. Чкалова. Тел.: +7 (960) 856-35-85. E-mail: ya.malikov@yandex.ru

Матковский Никита Олегович, инженер научно-исследовательского расчетного отдела научно-исследовательского испытательного комплекса АО «ГосМКБ «Вымпел» им. И.И. Торопова», аспирант института № 7 «Робототехнические и интеллектуальные системы» ФГБОУВО «Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет. E-mail: matkovskiy@yandex.ru

Петров Дмитрий Михайлович, д-р экон. наук, доцент, профессор кафедры ВКА им. А.Ф. Можайского. E-mail: pdm64@mail.ru

Печеник Руслан Александрович, канд. техн. наук, научный сотрудник НИИ СМ АО «НПО Спецматериалов». Тел.: +7 (812) 291-45-03.

Присяжнюк Сергей Прокофьевич, д-р техн. наук, профессор, генеральный директор ЗАО «Институт телекоммуникаций». Тел.: +7 (812) 740-77-07. E-mail: office@itain.ru

Пронин Алексей Юрьевич, чл.-корр. РАН, канд. техн. наук, доцент, начальник отдела ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России. Тел.: +7 (915) 311-55-06. E-mail: pronin46@bk.ru

Просветова Дарья Романовна, научный сотрудник 21 научно-исследовательского отдела 2 научно-исследовательского центра ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). E-mail: Daha552@yandex.ru

Пучков Андрей Сергеевич, директор научно-исследовательского института специальных

материалов АО «НПО Спецматериалов». Тел.: +7 (812) 542-87-70.

Розанов Лев Алексеевич, старший преподаватель кафедры «Ракетные и импульсные системы» (СМ-6) МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: rozanov@bmstu.ru

Сазыкин Андрей Михайлович, чл.-корр. РАН, канд. техн. наук, доцент, Михайловская военная артиллерийская академия, начальник Научно-методического центра АО «НПО Спецматериалов». Тел.: (812) 542-98-50. E-mail: sazykin@npo-sm.ru

Селиванов Виктор Валентинович, академик РАН, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Высокоточные летательные аппараты» МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: vicsel@list.ru

Сергеев Максим Сергеевич, заместитель главного конструктор ПАО «Авиационный комплекс имени С.В. Ильюшина» (ПАО «Ил»). Тел.: +7 (926) 584-13-33. E-mail: sergeevms@ilyushin.org

Сидняев Николай Иванович, д-р техн. наук, заведующий кафедрой «Высшая математика» (ФН-1) МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sidnyaev@bmstu.ru

Сильников Михаил Владимирович, чл.-корр. РАН, академик РАН, д-р техн. наук, профессор, генеральный директор — генеральный конструктор АО «НПО Спецматериалов». Тел.: +7 (812) 542-87-70. Email: director@npo-sm.ru

Спивак Александр Иванович, канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник НИИ СМ АО «НПО Спецматериалов». Тел.: +7 (812) 291-45-03.

Спирин Игорь Владимирович, канд. воен. наук, профессор АВН, начальник сектора отдела систем разминирования АО «НИИИ». Тел.: +7 (495) 524-91-97.

Ставицкий Данила Владимирович, канд. воен. наук, заместитель начальника Санкт-Петербургского военного ордена Жукова института войск национальной гвардии Российской Федерации. Телефон: +7 (931) 214-60-35. E-mail: Stavitskiydv@spvi.ru

Тараскин Антон Сергеевич, начальник сектора ГНЦ РФ АО «ЛИИ им. М.М. Громова». Тел.: +7 (916) 210-93-41. E-mail: taraskinanton@yandex.ru

Тарнаев Анатолий Григорьевич, чл.-корр. РАН, канд. техн. наук, генеральный конструктор ОАО «Завод № 9». Тел.: +7 (343) 327-59-02.

Тишков Виктор Васильевич, канд. техн. наук, доцент института № 7 «Робототехнические и интеллектуальные системы» ФГБОУВО «Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет)». E-mail: tishkovvv@mail.ru

Фетисов Александр Вадимович, канд. воен. наук, доцент, профессор кафедры тактики служебно-боевого применения подразделений Санкт-Петербургского военного ордена Жукова института войск национальной гвардии Российской Федерации. Телефон: +7 (911) 251-79-27. E-mail: Eletskeyasveta@yandex.ru.

Филатов Валерий Николаевич, д-р воен. наук, профессор, главный конструктор по геодезическим технологиям АО «Российские космические системы». E-mail: vnkyzino@yandex.ru

Хмельников Евгений Александрович, чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, заведующий кафедрой «Специальное машиностроение» Нижнетагильского Технологического Института (фи-

лиал) Уральского Федерального Университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина. E-mail: khmelnikov7@gmail.com

Шадрин Иван Дмитриевич, аспирант кафедры «Специальное машиностроение» Нижнетагильского Технологического Института (филиал) Уральского Федерального Университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина. E-mail: ivan.shadrin12@gmail.com

Шептура Владимир Николаевич, чл.-корр. РАН, канд. воен. наук, доцент, начальник 3 управления Главного управления связи ВС РФ. E-mail: sheptura_vn@mail.ru

Шибко Сергей Владимирович, старший научный сотрудник 3 ЦНИИ МО РФ. Тел.: +7 (915) 356-58-40. E-mail: Serg69@list.ru

Щукин Валерий Дмитриевич, чл.-корр. РАН, канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник 3 ЦНИИ МО РФ. E-mail: garan@bk.ru Тел.: +7 (916) 215-05-29.

Яблонский Леонард Иосифович, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, заместитель директора по научной работе ФГБУН Научный геоинформационный центр РАН. E-mail: leonard52@mail.ru

ПАМЯТКА АВТОРУ

по подготовке к публикации научно-технической статьи

Структура статьи

1. Аннотация (реферат). Повествует о содержании работы и показывает, что, по мнению автора, наиболее ценно и применимо в выполненной им работе.

2. Вводная часть. Обоснование актуальности темы: важность, особенность, известный вариант решения, недостатки его.

3. Основная часть. Описание предлагаемого варианта решения: начальные условия решения задачи, проведение исследования (место исследования, основные данные о предмете исследования), сущность предлагаемого варианта решения, методы (наблюдение, эксперимент, моделирование, расчёт, разработка, конструирование, проектирование, изготовление, методы управления и пр.), технические средства реализации, экспериментальная проверка.

Оценка предлагаемого варианта решения (определение степени новизны результата): особенности предлагаемого варианта решения (преимущества перед аналогами, эквивалентные результаты, недостатки явные, предполагаемые), сведения об авторских свидетельствах и патентах, экономическая, технологическая оценка, внедрения.

Необходимо представить результаты в наглядной форме: в виде таблиц, графиков, диаграмм. Применение математики для объяснения полученных результатов должно быть минимальным (не загромождать текст формулами).

Не следует приводить пространные рассуждения и описания, повторять в тексте подрисовочные подписи при ссылках на рисунки, один и тот же материал представлять в различной форме: в тексте и таблице, в формуле и графике, в таблице и графике и т.п.

4. Выводы. Должны показывать, что получено и иметь характер тезисов, не могут быть слишком многочисленными.

5. Список литературы. Важно правильно оформить ссылку на источник в списке, указывая при этом фамилии и инициалы авторов, название журнала (монографии), год издания, выпуск (том), номер, страницы. Читатель должен иметь возможность найти указанный источник. Количество источников должно быть не менее десяти. Оформление библиографических списков необходимо осуществлять по ГОСТам: ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка». Общие требования и правила составления и ГОСТ Р 7.0.12-2011 «Библиографическая запись. Сокращение слов и словосочетаний на русском языке. Общие требования и правила».

Структура представления материалов для публикации

Авторский оригинал статьи должен в обязательном порядке содержать следующие элементы:

На русском и английском языках:

- название статьи;
- индекс УДК;
- фамилия, имя, отчество авторов полностью, ученая степень, место работы, e-mail;
- аннотация — 600–800 знаков;
- ключевые слова;
- список литературы.

На русском языке:

- основной текст, содержащий в себе формулы, таблицы и иллюстрации.

Требования к оформлению публикации

Заголовок статьи набирать исключительно строчными буквами.

Текст: материалы набираются в текстовом редакторе Microsoft Word с расширением *.rtf или *.doc, шрифт Times New Roman Cyr, размер 12, без стилизованного 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 полутонных (фотографии и т.п.); иметь линейные размеры не превышающие 165×240 мм. Дополнительно каждая иллюстрация прилагается отдельным файлом. В имени файла следует указать порядковый номер иллюстрации.

Все буквенные и цифровые обозначения, приведенные на иллюстрациях, поясняются или в основном тексте, или в подрисуночной подписи.

Иллюстрации, таблицы должны иметь порядковый номер и название.

Математические формулы следует набирать исключительно в редакторе формул 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 « _____ » _____ **2024**

Предмет счета	Кол-во комплектов	Цена одного комплекта (руб.)	Сумма (руб.)
Подписка на журнал «Известия РАРАН» На 2024 год – 4 номера (январь–декабрь)		5454-56	
НДС 10%		545-44	
Итого с учетом НДС		6000	

Всего к оплате (в т.ч. НДС): шесть тысяч рублей 00 копеек

***Счет на подписку будет выставлен после подачи заявки на эл. почту: commerce@npo-sm.ru**

Начальник ЦРСИ

Бухгалтер



/В. П. Кныш/

/Г. И. Фёдорова/

ВНИМАНИЕ!

В платежном поручении в графе «Назначение платежа» **обязательно укажите:**

- * наименование издания в период подписки
- * номер счета, на основании которого производится оплата
- * контактный телефон
- * подробный почтовый адрес, на который будет высылаться журнал

ОТДЕЛ АДРЕСНОЙ ПОДПИСКИ

Тел. : (812) 600-75-54

Факс: (812) 542-75-58

E-mail: aran@npo-sm.ru

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Редакция вправе сокращать и литературно обрабатывать принятые к публикации тексты.
Редакция может публиковать материалы, не разделяя точку зрения авторов.
Ответственность за достоверность информации, точность фактов, цифр и цитат, а также за то, что в материалах нет данных, не подлежащих открытой публикации, несут авторы.
В соответствии с Законом РФ «О средствах массовой информации» редакция имеет право не вступать в переписку с авторами. Переписка с читателями ведется только на страницах журнала.
При перепечатке материалов ссылка на журнал
«Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук» обязательна.

Запросы по материалам выпуска направлять в АО «НПО Спецматериалов» по адресу:
195277, Санкт-Петербург, Б. Сампсониевский пр., д. 28а, литера Б.
Тел. (812) 542-98-50; факс: (812) 542-75-58, E-mail: raran@npo-sm.ru
Адрес сайта: <http://www.iraran.ru>

Учредители и издатели: ФГБУ «Российская академия ракетных и артиллерийских наук»
Адрес: 107564, Москва, ул. 1-я Мясниковская, д. 3, стр. 3;
АО «НПО Спецматериалов»
Адрес: 195277, Санкт-Петербург, Б. Сампсониевский пр., д. 28а, литера Б.

**Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук.
Издание ФГБУ «Российская академия ракетных и артиллерийских наук».
Москва – 2024. Вып. 2 (132).**

Компьютерная верстка — М.В. Медведева
Корректор — Е.А. Красикова, А.К. Райхчин

Подписано в печать 03.06.2024.
Формат 60х84/8. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 16.9
Тираж 900 экз. Заказ №
Отпечатано в типографии «Любавич».
ООО «Первый издательско-полиграфический холдинг»,
Санкт-Петербург, Б. Сампсониевский пр., 60, лит. «У».
Тел.: (812) 603 25 25.
Цена свободная.