

2026
№1 (75)

**Вооружение
и экономика**

46 Центральный научно-исследовательский институт Министерства обороны Российской Федерации Российская академия ракетных и артиллерийских наук Академия проблем военной экономики и финансов	Вооружение и экономика. 2026. №1(75) электронный научный журнал http://www.viek.ru Содержание
<i>Издается с 2008 года</i> Журнал «Вооружение и экономика» включен в Перечень ведущих рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук Свидетельство о регистрации СМИ от 7 декабря 2012 г. № ФЦ77-52083 ISSN 2071-0151 Издатель: Российская академия ракетных и артиллерийских наук 107564, Москва, 1-я Мясниковская ул., д.3, стр.3 Адрес редакции: 129327, Москва, Чукотский пр-д, д.10, ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России. В редакцию журнала «Вооружение и экономика» rk@viek.ru	ВООРУЖЕНИЕ И ВОЕННАЯ ТЕХНИКА <i>Буренок В.М., Дурнев Р.А., Груздинский А.В., Кудряшов А.С.</i> Комплексная защита объектов инфраструктуры страны от атак беспилотных летательных аппаратов: суть и состояние проблемы..... 5-10 <i>Лавринов Г.А.</i> Программно-ситуационное управление развитием системы вооружения в условиях неопределенности..... 11-14 <i>Брайткрайц С.Г., Ильин Е.М., Корчак В.Ю., Полубехин А.И.</i> Навигационное обеспечение в России – пример эффективного внедрения научно-технических и технологических достижений в области навигации..... 15-22 <i>Буравлев А.И.</i> Унифицированная методика оценки эффективности поражения наземных целей боеприпасами..... 23-28 <i>Найденов В.Г.</i> Методика проектирования траекторных измерительных комплексов с использованием интервального показателя точности оценки параметров движения летательных аппаратов 29-37 <i>Козлов В.В., Лагун А.В., Сыров А.Д.</i> Методика оценивания уязвимости стартового комплекса на этапах его функционирования..... 38-47 <i>Воронцов П.С.</i> Методика отбора программных мероприятий по развитию навигационных технологий для вооружения, военной и специальной техники 48-57 <i>Антохин Е.А.</i> Методический подход к оценке экзоскелетов военного назначения в рамках военно-технических экспериментов 58-67

<i>Главный редактор</i> В.М. Буренок <i>Редакционная коллегия</i> А.А. Александров О.Б. Ачасов В.И. Бабенков А.М. Батьковский С.И. Боков С.Г. Брайткрайц А.И. Буравлев В.Л. Гладышевский (зам. гл. ред.) Е.В. Горгола П.А. Дроговоз Р.А. Дурнев В.В. Ионов <u>В.Ю. Корчак</u> (зам. гл. ред.) Г.А. Лавринов (зам. гл. ред.) А.В. Леонов В.Г. Найденов А.Г. Подольский К.В. Сивков Е.Ю. Хрусталеv Д.В. Худяков (зам. гл. ред. – уч. секр.) А.А. Целыковских И.В. Чистов <i>Оформление, верстка</i> Д.В. Худяков <i>Редактор</i> Т.М. Молчанова <i>Перевод</i> О.В. Криворучко	ВОЕННАЯ ЭКОНОМИКА <i>Рахманов А.А., Волков В.И., Гаврилин Е.В., Бавижев М.Д.</i> Ключевые проблемы управления прорывными проектами и направления их решения..... 69-82 <i>Подольский А.Г., Данилин П.Е., Кондратьев Д.В.</i> Экономико-математическая модель прогнозирования полной себестоимости производства воздушных судов и их компонентов..... 83-94 МЕНЕДЖМЕНТ <i>Галеев Э.Е.</i> Кластерная классификация и прогнозирование финансовой устойчивости интегрированных корпоративных структур оборонно-промышленного комплекса: комплексный подход стратегического менеджмента..... 96-113 Дополнительные материалы Правила предоставления авторами рукописей 115 Карточка автора 117 Особенности распространения журнала..... 117 Порядок рецензирования рукописей 118 Сведения о членах редакционной коллегии 119
---	--

ВООРУЖЕНИЕ И ВОЕННАЯ ТЕХНИКА

Научная статья
УДК 623.5

Комплексная защита объектов инфраструктуры страны от атак беспилотных летательных аппаратов: суть и состояние проблемы

Василий Михайлович Буренок, Роман Александрович Дурнев,
Андрей Вячеславович Груздинский, Алексей Сергеевич Кудряшов

Аннотация. В статье рассматривается состояние проблемы защиты объектов инфраструктуры страны от поражения беспилотными летательными аппаратами. Изложен опыт зарубежных стран по построению систем защиты, проведен анализ нормативной базы в нашей стране по организации такой защиты. Сделан вывод о необходимости формирования методической базы по обоснованию рационального комплекса средств защиты с учетом характеристик и способов применения как беспилотных средств, так и средств противодействия им.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты; система защиты объектов инфраструктуры; методическое обеспечение построения системы защиты

Для цитирования: Буренок В.М., Дурнев Р.А., Груздинский А.В., Кудряшов А.С. Комплексная защита объектов инфраструктуры страны от атак беспилотных летательных аппаратов: суть и состояние проблемы // Вооружение и экономика. 2026. №1(75). С. 5-10.

Original article

Complex Protection of the National Infrastructure against Unmanned Aerial Vehicles Attacks: Essence and State of the Problem

Vasilii M. Burenok, Roman A. Durnev, Andrei V. Gruzinskii, Aleksei S. Kudriashov

Abstract. The article considers the state of the problem of the national infrastructure protection against unmanned aerial vehicles. The foreign experience in protection systems construction is described, the analysis of the regulatory framework for such protection organization in our country is carried out. It is concluded that it is necessary to form a methodological base for a protection rational set substantiation, taking into account the characteristics and methods of unmanned vehicles and countermeasures application.

Keywords: unmanned aerial vehicles; infrastructure protection system; methodological support for a protection system construction

For citation: Burenok V.M., Durnev R.A., Gruzinskii A.V., Kudriashov A.S. Complex Protection of the National Infrastructure against Unmanned Aerial Vehicles Attacks: Essence and State of the Problem. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2026; 75(1): 5-10. (In Russ.).

Одной из особенностей современных боевых действий стало массовое применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) не только непосредственно на поле боя, но и для нанесения ударов по объектам инфраструктуры (нефтеперерабатывающим заводам, электростанциям и подстанциям, промышленным предприятиям и т.п.) [1]. Это вызвало острую необходимость их защиты, в интересах которой в настоящее время используются различные средства обнаружения и подавления (поражения). Для обнаружения БПЛА применяются оптико-электронные, тепловизионные, радиолокационные, акустические системы и средства, а для устранения (нейтрализации) угрозы – комплексы и средства радиоэлектронной борьбы (РЭБ), огневые средства (зенитно-ракетные, артиллерийские и стрелковые), лазерные комплексы, а также пассивные меры защиты: специальные укрытия и защитные сооружения, маскировка, создание ложных объектов [2; 3].

В ближайшее время могут появиться и другие средства противодействия БПЛА. Так сообщается, что американская компания Epirus провела успешные испытания высокочастотного электромагнитного комплекса Leonidas, в ходе которого был поражен дрон с оптоволоконным каналом управления. Комплекс воздействует на дрон мощным узким электромагнитным лучом, в результате чего бортовая электроника БПЛА отключается¹.

¹ Семченко А. Российские войска нашли управу на антидроновые сетки ВСУ // Александр Семченко: Telegram-канал. URL: <https://t.me/AleksandrSemchenko/68212>

С учетом роста угроз от применения БПЛА растет и потребность в средствах защиты. Мировой рынок средств противодействия БПЛА составил 3,03 млрд долл. в 2025 году и ожидается рост до 9,3 млрд к 2030 году, с ежегодным увеличением на 25,14%².

При этом распределение этих затрат характеризуются следующими данными:

системы и средства обнаружения занимают наибольшую долю рынка (55,43%);

средства нейтрализации БПЛА демонстрируют наибольший рост (среднегодовой темп прироста 29,52%), что подчеркивает смену приоритетов от ситуационной осведомленности к активным средствам подавления;

лидирующие позиции в способах и средствах нейтрализации принадлежат наземным системам (42,12% рынка), но рынок дронов-перехватчиков стремительно расширяется (+26,32% ежегодно).

Основываясь на опыте современных боевых действий, в том числе на опыте Украины, Европейский союз намерен решить проблему защиты от БПЛА фундаментально, основываясь на комплексном планировании.

16 октября 2025 г. Еврокомиссия (ЕК) представила «дорожную карту» оборонной готовности ЕС к 2030 году (Defence Readiness Roadmap 2030). В нее включены два проекта, направленных на защиту от дронов, – они носят название «Европейская инициатива по защите от беспилотных летательных аппаратов» (European Drone Defence Initiative) и «Восточный дозор» (Eastern Flank Watch)³. Ранее эта инициатива получила название «стена дронов».

Европейский проект «стены дронов» состоит из следующих трех элементов:

система обнаружения – радары дальнего обнаружения, RF-детекторы (радиочастотные), тепловизионные камеры и акустические сенсоры для раннего выявления целей;

система классификации – искусственный интеллект для автоматического распознавания типов дронов и идентификации дружественных и враждебных объектов;

система перехвата и нейтрализации – зенитные ракетные комплексы с кинетическими средствами поражения, дроны-перехватчики, системы радиоэлектронной борьбы (постановка помех).

Стоимость проекта оценивается в 1 млрд долл.

«Европейская инициатива по защите от БПЛА» (European Drone Defence Initiative) представляет собой многоуровневую систему противодействия беспилотникам, использующую современные технологии для их обнаружения, отслеживания и нейтрализации с возможностью нанесения высокоточных ударов по наземным целям также с использованием дронов. ЕС также планирует объединить усилия с Украиной и создать «Альянс дронов», который будет финансироваться за счет займа в размере 6 млрд. евро в рамках программы Extraordinary Revenue Acceleration (ERA).

В рамках проекта «Восточный дозор» (Eastern Flank Watch) предполагается создать всеобъемлющую европейскую систему обороны для противостояния широкому спектру угроз. Проект подразумевает подключение многоуровневых систем наблюдения, противодроновых технологий, средств радиоэлектронной борьбы, а также систем точечных ударов. Инициатива направлена на укрепление восточных границ ЕС на суше, в воздухе и на море и будет развернута во всех государствах у восточной границы ЕС, включая сухопутные и морские границы с Россией и Белоруссией. Проект будет готов к эксплуатации к концу 2028 года.

Следует отметить, мероприятия по защите объектов инфраструктуры разрабатываются и реализуются украинской стороной, при этом сталкиваясь с определенными

² Гибадуллин Д. Цифры, тренды, вызовы и перспективы международного и российского рынков решений противодействия БПЛА // Директор по безопасности. 2025. Октябрь. URL: https://sec-company.ru/articles/economics/instrumenty_bezopasnosti_tsifry_trendy_vyzovy_i_perspektivy_mezhdunarodnogo_i_rosiyskogo_rynkov_reshe/

³ Васильева М., Постникова Е. Что будет представлять собой европейская «стена дронов» // РБК-Политика. 2025. 16 октября. URL: <https://www.rbc.ru/politics/16/10/2025/68f0d8bd9a7947523c644a4a>

проблемами. Об этом, в частности, свидетельствует интервью главы правления «Укрэнерго» В.Зайченко⁴.

«Что касается «Укрэнерго», то для обеспечения безопасности энергосистемы..., мы достаточно много сделали для защиты объектов, в первую очередь автотрансформаторов. Разработан 1-й и 2-й уровень защиты.

Также есть польза от построенной физической защиты 1-го уровня, «1-го плюс», которая помогает сохранять оборудование от осколочных поражений, от прямых попаданий (примечание: как сообщается, второй уровень защиты украинской энергоструктуры рассчитан на одно попадание «Герани»⁵).

Третий уровень защиты не реализован ни на одном объекте. На одном из объектов мы реализовали уровень «2 плюс», когда мы спрятали под землю все системы управления и защиты подстанций. Это очень уязвимое оборудование, которое долго восстанавливать, и мы начали это масштабировать по другим нашим подстанциям».

Из слов указанного чиновника следует, что разработать требования по защите не составило труда, но реализация в силу слабого технико-экономического обоснования оказалась непосильной.

В нашей стране в последнее время также значительное внимание уделяется вопросам защиты инфраструктурных объектов от поражения беспилотными летательными аппаратами [4; 5].

По данным аналитиков «ТендерПро»⁶, спрос на системы защиты от БПЛА в минувшем году вырос в четыре раза, причем треть тендеров пришлось на нефтегазовые компании⁷. Однако массированная атака дронов с подлётом с разных сторон снижает результативность защиты объекта. Самый лучший вариант размещения зенитно-ракетных комплексов (ЗРК) предполагает круговую оборону, то есть предполагает размещение не одного, а сети комплексов вокруг защищаемого объекта. Очевидно, что для защиты многочисленных объектов инфраструктуры необходимое количество ЗРК произвести невозможно, к тому же они имеют высокую стоимость. Поэтому возникает проблема комплексной защиты от БПЛА с использованием других средств как активных, так и пассивных.

Это объясняется как грозящими и возрастающими материальными и людскими потерями при отсутствии защиты⁸, так и возможными санкциями.

Так федеральный закон 2023 года №398-ФЗ⁹ ужесточил меру ответственности за нарушение требований к антитеррористической защищенности объектов. Владельцы предприятий, не обеспечившие защиту от БПЛА, могут быть привлечены к административной ответственности, подвергнуты серьезным штрафам или даже привлечены к уголовной ответственности.

Согласно постановлению Правительства РФ 2024 года №258¹⁰ с 01 июля 2024 г. введены требования по защите объектов от БПЛА.

В частности, предусматривается:

⁴ Москаленко В. От баллистики спасу нет. Масштабы разрушений увеличились в разы // Политнавигатор. 2025. 28 октября. URL: <https://www.politnavigator.net/ot-ballistiki-spasu-net-masshtaby-razrushenij-uvlechilis-v-razy-bossy-ukro-ehnergetiki.html>

⁵ Москаленко В. Строим батарею из семи ТЭЦ вместо одной – их сложнее разбомбить // Политнавигатор. 2025. 07 ноября. URL: <https://www.politnavigator.net/ctroim-batareyu-iz-semi-tehc-vmesto-odnoj-ikh-slozhnee-razbom-bit-zamestitel-klichko-progovorilsya-v-ehfire.html>

⁶ Электронная торговая площадка «ТендерПро». URL: <https://www.tender.pro/>

⁷ Таволга А. Птицам на смех: почему защита НПЗ от дронов не работает // Октагон. 2024. 25 марта. URL: https://octagon.media/ekonomika/pticam_na_smex_pochemu_zashhita_npz_ot_dronov_ne_rabotaet.html

⁸ Атака дронами ВСУ по территории России удвоилась // Информационный портал города Вологды. 2026. 20 января. URL: <https://volgda-poisk.ru/news/proisshestiya/ataka-dronami-vsuv-po-territorii-rossii-udvoilas>

⁹ Федеральный закон от 31 июля 2023 г. №398-ФЗ «О внесении изменений в Уголовный кодекс Российской Федерации и статью 151 Уголовно-процессуального кодекса Российской Федерации».

¹⁰ Постановление Правительства РФ от 01 марта 2024 г. №258 «Об утверждении требований к антитеррористической защищенности объектов (территорий) промышленности, находящихся в ведении или относящихся к сфере деятельности Министерства промышленности и торговли Российской Федерации, и формы паспорта безопасности этих объектов (территорий)».

1. Оснащение объектов средствами обнаружения (визуальными и акустическими), пассивной защиты, радиоэлектронной борьбы (средствами подавления или преобразования электромагнитных излучений и сигналов дистанционного управления) с беспилотными воздушными, подводными и надводными судами и аппаратами, беспилотными транспортными средствами и иными автоматизированными беспилотными комплексами.

2. Создание в составе охраны объекта отдельной группы или возложение на группу быстрого реагирования функций по пресечению попыток совершения террористического акта в отношении объекта промышленности с использованием беспилотных аппаратов.

3. Отработка оперативного взаимодействия с соответствующими подразделениями органов безопасности при осуществлении мероприятий по предотвращению террористических атак с использованием беспилотных аппаратов.

4. Проведение плановых учений по действиям военнослужащих, сотрудников (работников), осуществляющих охрану объекта (территории) промышленности, по сигналам тревоги и при террористических угрозах (атаках), в том числе с использованием беспилотных аппаратов.

МЧС России в 2023 году разработало «Методические рекомендации по защите основных производственных фондов организации в целях повышения устойчивости функционирования объектов экономики при военных конфликтах или вследствие этих конфликтов»¹¹, в которых определены цель, задачи, методы, перечень и состав мероприятий, основные положения и общие подходы реализации требований федерального закона 1998 года №28-ФЗ¹² по повышению устойчивости функционирования (ПУФ) организаций, необходимых для выживания населения при военных конфликтах или вследствие этих конфликтов посредством защиты их основных производственных фондов (ОПФ) от современных средств поражения (ССП) и вторичных поражающих факторов.

Методические рекомендации являются довольно объемным документом, в котором содержатся следующие основные положения:

основные понятия, термины и определения;

сфера действия Методических рекомендаций;

характеристика очагов поражения на территории эксплуатируемых объектов;

критерии классификации объектов защиты, классификация и ранжирование объектов защиты;

особенности поражения основных производственных фондов объектов защиты;

рекомендации по выбору технологического оборудования, подлежащего защите от поражающих факторов внешних воздействий;

классификация средств защиты основных производственных фондов организаций;

выбор степени защиты основных производственных фондов организаций (в этом разделе в том числе содержатся сведения о защитных конструкциях для ОПФ промышленных объектов);

методы противодействия БПЛА (контактные и бесконтактные);

организация работы по защите основных производственных фондов организаций.

Рекомендации по формированию и порядку работы комиссии по повышению устойчивости функционирования организации;

рекомендации по распределению обязанностей должностных лиц по защите основных производственных фондов организации.

К системам противодействия БПЛА в соответствии с упомянутыми методическими рекомендациями предъявляются определенные требования. А именно, система должна быть:

высокоэффективной в любых погодных условиях;

способной оперативно разворачиваться;

¹¹ Методические рекомендации по защите основных производственных фондов организации в целях повышения устойчивости функционирования объектов экономики при военных конфликтах или вследствие этих конфликтов (утв. МЧС России 18 августа 2023 г. №М-ВЯ-102).

¹² Федеральный закон от 12 февраля 1998 г. №28-ФЗ «О гражданской обороне».

простой в применении и обслуживании;
готовой к многократному использованию (должна быстро возвращаться в состояние готовности к очередному применению).

Как указано в методических рекомендациях, порядок выполнения мероприятий по защите ОПФ организаций может быть следующим:

1. Сбор исходных данных. Постановка задачи руководителям структурных подразделений организации по сбору исходных данных для прогнозирования инженерной обстановки и производственных возможностей организации в условиях применения ССП.

2. Прогнозирование инженерной обстановки и производственных возможностей по основным производствам (видам работ, услуг).

3. Подготовка и утверждение перечня ОПФ, требующих защиты в условиях военного конфликта.

4. Выбор и обоснование средств защиты по каждому защищаемому виду ОПФ.

5. Выбор способов защиты ОПФ: зданий, сооружений на открытых площадках, технологического оборудования, машин и механизмов, расположенных внутри зданий, подземных коммуникаций и сооружений, цехового и межцехового транспорта, объектов управления и телекоммуникаций.

6. Утверждение объемно-планировочных решений защиты по каждому виду технологического оборудования.

7. Обоснование предложений лицу, принимающему решение по закупке защитных конструкций или средств сторонних производителей. Подготовка решения по изготовлению защитных конструкций собственными силами или приспособления имущества организации для целей защиты.

8. Расчет трудоемкости работ по защите ОПФ, временных показателей выполнения мероприятий и необходимых финансовых средств.

9. Подготовка раздела плана наращивания мероприятий по ПУФ организации: назначение ответственных, указание участков работ и последовательности выполнения инженерно-технических мероприятий по защите ОПФ, согласование и утверждение состава сил, средств и сроков выполнения работ.

10. Утверждение раздела плана наращивания мероприятий по ПУФ организации в составе всего плана. Доведение до исполнителей.

11. Подготовка сил и материальных средств.

В целом методические рекомендации являются существенным подспорьем для руководителей предприятий по организации работ в целях защиты от БПЛА. Но следует отметить, что организация таких работ не поддержана методически, что чаще всего может привести как к избыточным затратам на создание системы защиты, так и упущениям [6]. Обусловлено это тем, что реализация мероприятий в соответствии с методическими рекомендациями фактически предусматривает максимальную защиту ОПФ без учета множества факторов, характеризующих возможный характер воздействия по ним ССП.

Но поскольку нет четких, методически обоснованных требований, какие именно системы, какого класса, в какой конфигурации должны применяться, некоторые руководители предприятий используют наиболее доступные и недорогие системы, соответственно эффективность таких мер крайне невысока¹³.

К таким факторам следует отнести:

ожидаемый состав наряда БПЛА;

тактико-технические характеристики (ТТХ) БПЛА, номенклатура которых и их ТТХ быстро изменяются (примечание: скорость развития технологий такова, что каждые 3-4 месяца появляются новые поколения дронов, обладающих большей дальностью, скоростью,

¹³ Ключев В., Москалев А. Беспилотники как угроза: как защитить предприятие от атаки дронов // Softline: блог. 2025. 05 ноября. URL: <https://softline.ru/about/blog/bespilotniki-kak-ugroza-kak-zashchitit-predpriyatie-ot-ataki-dronov>

малой высотой полета, способных действовать в условиях радиоэлектронных помех. В целом системы приближаются к полной автономности в режиме радиомолчания)¹⁴;

направления, скорости и возможные приемы боевого применения БПЛА;

расположение (функциональная и структурно-логическая схема) и характеристика объекта атаки;

комплексный характер организации защиты, исходя из возможной номенклатуры средств, их взаимовлияния и взаимодополнения (оценка синергетического эффекта).

Таким образом, существенной проблемой в организации защиты объектов инфраструктуры остается отсутствие методического обеспечения, позволяющего произвести обоснование мероприятий по защите с учетом множества факторов, характеризующих как саму угрозу, так и обеспечивающих выбор рациональных средств ее парирования.

В следующей статье авторы изложат свое видение такого методического обеспечения.

Список источников

1. Биард Р.У., МакПэйн Т.У. Малые беспилотные летательные аппараты: теория и практика. М.: Техносфера, 2015. 312 с.
2. Дурнев Р.А., Гусева А.С. Оценка живучести и эффективности беспилотных летательных аппаратов: некоторые возможности методического подхода // Вооружение и экономика. 2021. №2(56). С. 22-31.
3. Макаренко С.И., Тимошенко А.В., Васильченко А.С. Анализ средств и способов противодействия беспилотным летательным аппаратам. Часть 1. Беспилотный летательный аппарат как объект обнаружения и поражения // Системы управления, связи и безопасности. 2020. №1. С. 109-146.
4. Палий А.И. Проблема защиты объектов экономики и инфраструктуры от высокоточного оружия силами и средствами гражданской обороны // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. 2013. Т.3. №1(4). С. 282-295.
5. Старожук Е.Н., Буренок В.М. Оружие будущего. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. 213 с.
6. Поленин В.И., Рябинин И.А., Свирин С.К., Гладкова И.А. Применение общего логико-вероятностного метода для анализа технических, военных организационно-функциональных систем и вооруженного противоборства / Под ред. А.С. Можаяева. СПб.: РАЕН, 2011. 416 с.

Информация об авторах

В.М. Буренок – доктор технических наук, профессор, SPIN 8055-2110.
 Р.А. Дурнев – доктор технических наук, доцент, SPIN 3267-1337.
 А.В. Груздинский – кандидат технических наук.
 А.С. Кудряшов – кандидат технических наук.

¹⁴ Защита гражданских объектов от дронов: какие есть проблемы и как их решают // Leader-ID: Хабр-блог. 2025. 09 октября. URL: <https://habr.com/ru/companies/leader-id/articles/954746/>

Научная статья
УДК 623.5

Программно-ситуационное управление развитием системы вооружения в условиях неопределенности

Геннадий Алексеевич Лавринов

Аннотация. В статье рассматривается проблема совершенствования методологии управления развитием системы вооружения в условиях неопределенности, которая особенно резко возникает в период ведения военных конфликтов. Показана необходимость сочетания программного и ситуационного управления. При этом государственная программа вооружения будет определять вектор развития основных подсистем вооружения, и «веер» возможных вариантов развития других подсистем с возможностью перехода с одного варианта на другой в рамках формирования государственного оборонного заказа, исходя из складывающейся обстановки.

Ключевые слова: программно-целевое планирование; система вооружения; государственная программа вооружения; ситуационное управление

Для цитирования: Лавринов Г.А. Программно-ситуационное управление развитием системы вооружения в условиях неопределенности // Вооружение и экономика. 2026. №1(75). С. 11-14.

Original article

Program and Situational Management of Weapons System Development under Conditions of Uncertainty

Gennadii A. Lavrinov

Abstract. The article discusses a methodology enhancement problem of the armament system development management in the uncertainty that turns up especially topical in the course of military conflicts. The article shows the need for program guidance and situational management conjunction. In this case, the state armament program will determine the development vector of the main armament subsystems, and a «fan» of possible options of the other sub-systems development, with the possibility of one option change over to another within the framework of the state defense order, based on the current situation.

Keywords: program-oriented planning; weapon system; State armament program; situational management

For citation: Lavrinov G.A. Program and Situational Management of Weapons System Development under Conditions of Uncertainty. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2026; 75(1): 11-14. (In Russ.).

Как показала практика, управление развитием системы вооружения, основанное на использовании методов программно-целевого планирования и управления, может быть достаточно эффективным и результативным только в условиях предсказуемого изменения и стабильного существования, проявления внешних воздействующих факторов (при стабильных и предсказуемых параметрах внешней среды).

Основным документом, определяющим развитие системы вооружения на долгосрочный период, является государственная программа вооружения (ГПВ), обоснование и формирование которой осуществляется на основе указанных методов. Однако в современном виде ГПВ представляется слишком жестким и инерционным инструментом развития системы вооружения для решения задач, которые стали меняться очень быстро. И это ярко проявилось в современных условиях. Внезапно высветился ключевой вопрос: как формировать ГПВ в условиях вовлеченности Вооруженных Сил (ВС) РФ в военные конфликты, ведь практика показала, что при этом резко вырастает уровень неопределенности по всем аспектам.

В общем случае влияние факторов неопределенности может проявляться в неустойчивости, нестабильности, неуправляемости, разбалансированности динамики развития системы вооружения, в возникновении проблемных ситуаций, которые без противодействия их развитию могут привести к недостижению некоторых целей развития системы вооружения или вообще к срыву выполнения в целом программы развития системы.

В соответствии с этим общую задачу управления развитием системы вооружения при возможном значимом негативном проявлении факторов неопределенности целесообразно разделять на две задачи:

задачу программного управления развитием системообразующих образцов вооружения, составляющих основу системы вооружения на долгосрочный период (т.н. приоритетный ряд образцов, обеспечивающий выполнение военно-стратегических задач);

задачу ситуационного управления, когда используются прогнозные значения параметров внешней среды для своевременного формирования управляющих воздействий.

При решении первой задачи представление в ГПВ таких образцов целесообразно в виде программ приобретения или комплексных целевых программ, которые бы охватывали весь жизненный цикл образца, начиная от создания научно-технического задела для него и заканчивая утилизацией с указанием объема и источников финансирования каждого из этапов жизненного цикла [1; 2]. Это позволит в дальнейшем заключать контракты на весь жизненный цикл образца вооружения (КЖЦ), не прибегая к дополнительным обоснованиям в ходе реализации ГПВ.

Силовые ведомства развитых стран применяют КЖЦ уже достаточно длительное время. Например, в США так называемые «контракты на программу» заключаются на 5-10 лет и финансируются по программно-целевому принципу. Стоимость таких долгосрочных контрактных программ, связанных с созданием сложных комплексов и систем вооружения, достигает 100-120 млрд долл. Преимущества таких контрактов можно проиллюстрировать на примере самого массового самолета четвертого поколения F-16, который состоит на вооружении в 25 странах. Компания Lockheed Martin не только производит самолеты, но и ремонтирует, обслуживает и обучает летчиков¹. Указанная фирма заинтересована в производстве высококачественной продукции, так как это позволяет ей не только побеждать в конкурентной борьбе за рынки сбыта, но и снизить собственные издержки на обслуживание и ремонт авиационной техники.

Кроме того, в рамках указанной задачи целесообразно предусмотреть развитие базовых и критических военных технологий, служащих основой для научно-инновационной деятельности, направленной на создание системы вооружения будущего. Это также может решаться с использованием апробированных методов программно-целевого планирования [3].

Ситуационное управление пока практически не используется при управлении развитием системы вооружения. Лишь некоторые элементы такого управления нашли отражение при реализации ГПВ в рамках государственных оборонных заказов (ГОЗ) путем внесения корректировки по срокам выполнения мероприятий ГПВ, их стоимости, объемов закупок и ремонта образцов вооружения. Однако такие корректировки осуществлялись, как правило, не из-за наличия неопределенности, а исходя из складывающейся ситуации. Основной причиной слабого внедрения ситуационного управления является отсутствие детально проработанной методологии применительно к развитию системы вооружения. К настоящему времени имеются лишь некоторые наработки, связанные с управлением² в условиях риска [4].

Для решения задачи ситуационного управления в идеале в ГПВ необходимо предусматривать некий резерв, используемый для оперативной корректировки параметров ее мероприятий, например, увеличение количества закупаемого или ремонтируемого вооружения, закупка дополнительного (не предусмотренного ГПВ) вооружения и военной техники и т.д. Однако при достаточно высоком уровне неопределенности создание такого резерва теряет смысл, так как его величина может превосходить разумные пределы.

Одним из наиболее простых и эффективных способов в такой ситуации, как показано в работе [5], может служить сведение объемов финансирования в групповые позиции с

¹ Лавринов Г.А., Подольский А.Г. Контракты жизненного цикла для продукции военного назначения в условиях неопределенности: плюсы и минусы // Сб. материалов II Всерос. науч.-практ. конф. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. С. 129-134.

² Буренок В.М., Лавринов Г.А., Хрусталева Е.Ю. Механизмы управления производством продукции военного назначения. М.: Наука, 2006. 303 с.

привязкой их к типам вооружения. Сформированные групповые позиции позволят в ходе реализации ГПВ оперативно перераспределять финансовые средства в зависимости от сценария развития ситуации. Таких сценариев может быть несколько в зависимости от оценки возможности и потенциальной опасности возникновения проблемной ситуации и ее распознавания.

В конечном итоге ситуационное управление должно обеспечить возможность ответа на вопросы:

- «Что будет, если...?» (например, у противника появится оружие на новых физических принципах);

- «Что надо, чтобы...?» (например, минимизировать потери при возникновении проблемной ситуации).

Целесообразность применения сценарного представления развития системы вооружения в условиях неопределенности обуславливается тем, что в этих условиях при заданных целевых установках в рамках существующих временных ограничений невозможно непосредственно сформировать конкретный и детальный план проведения мероприятий по реализации стратегии программного управления состоянием системы вооружения.

Таким образом, при сценарном подходе должны совместно использоваться как сценарии поведения системы вооружения, так и сценарии управления. Причем последние должны формироваться в зависимости от цели управления и правила выбора управляющих воздействий. Для каждого конкретного сценария управления должны быть оценены последствия его реализации для разрешения проблемной ситуации.

В зависимости от развития ситуации должен реализовываться соответствующий сценарий управления.

Основной трудностью в реализации ситуационного подхода является прогноз возможных сценариев, который должен формироваться Генеральным штабом по аналогии с военно-стратегическими исходными данными.

Еще одной проблемой, уже научного плана, является разработка научно-методического аппарата оценки возможных сценариев развития ситуации. Как уже отмечалось, таких сценариев может быть достаточно большое количество, и чтобы избежать «проклятия размерности» целесообразно каждый из сценариев проранжировать по важности (возможным последствиям реализации) или вероятности возникновения и выбрать рациональный вариант управления для каждого из них.

Для каждого сценария развития ситуации необходимо разработать варианты управления по предотвращению или разрешению проблемной ситуации и определить ресурсы, необходимые для снятия проблемной ситуации, т.е. хотя бы в пропорциях определить порядок расходования ассигнований, заложенных в групповых позициях. Естественно, для каждого сценария пропорции могут существенно меняться. В условиях ведения боевых действий установление таких пропорций возможно с использованием, например, статистических данных о потерях и поставках для восполнения потерь в ходе ведения боевых действий, о потребностях в ремонте и накоплении запасов. В других условиях неопределенности – по результатам учений, конфликтов, зарубежного опыта.

При этом обоснование и выбор варианта управления для каждого сценария также является довольно сложной научной задачей, поскольку формировать их необходимо еще на этапе планирования.

И наконец, важнейшей задачей будет являться недопущение разбалансированности системы вооружения. В погоне за сиюминутным результатом важно учитывать задачи (в т.ч. долгосрочные), возлагаемые на виды и рода войск, соотношение ударных и обеспечивающих средств, новых и имеющихся на вооружении образцов и т.д.

Отличительной особенностью ситуационного управления является гибкость и адаптивность. Оно допускает выполнение поставленного плана и его изменение в зависимости от изменения внешней ситуации.

Сформированная таким образом ГПВ должна представлять собой опорную траекторию развития системы вооружения, определяющую вектор развития основных подсистем

вооружения, и «веер» возможных вариантов развития других подсистем. Переход с одного варианта на другой будет осуществляться в рамках формирования ГОЗ, исходя из складывающейся обстановки.

Таким образом, программно-ситуационный подход к планированию и управлению развитием системы вооружения будет способствовать более эффективному и адекватному изменяющимся условиям управлению состоянием системы вооружения в программном периоде времени и противодействию негативному проявлению факторов неопределенности военно-стратегического, военно-технического, производственно-технологического и военно-экономического характера.

Безусловно, такой подход к формированию ГПВ более сложный и трудоемкий, чем траекторно-плановое управление. Однако внедрению элементов ситуационного управления в настоящее время способствует быстрое развитие искусственного интеллекта, появление суперкомпьютеров, возможности обработки больших объемов данных.

Список источников

1. Буренок В.М. Межведомственные комплексные целевые программы как механизм управления развитием системы вооружения // Вооружение и экономика. 2021. №3(57). С. 5-11.
2. Скрынченко Б.Л., Мороз В.Д. Управление системой заказов вооружений и материально-технических средств вооруженных сил в развитых странах // Экономика и бизнес: теория и практика. 2016. №10. С. 107-114.
3. Буренок В.М., Ивлев А.А., Корчак В.Ю. Развитие военных технологий XXI века: проблемы, планирование, реализация. Тверь: Купол, 2009. 623 с.
4. Минаев В.Н, Матиевский А.В., Лавринов Г.А., Латышев Н.В. Автоматизация процессов управления рисками программ и проектов в сфере государственного оборонного заказа: монография. Тверь: Экслибрис, 2011. 358 с.
5. Буренок В.М. Проблемы программно-целевого планирования в современных условиях// Вооружение и экономика. 2025. №2(72). С. 5-8.

Информация об авторе

Г.А. Лавринов – доктор экономических наук, профессор, SPIN 2965-9572.

Научная статья
УДК 629.05

Навигационное обеспечение в России – пример эффективного внедрения научно-технических и технологических достижений в области навигации

Сергей Гарриевич Брайткрайтц, Евгений Михайлович Ильин,
Владимир Юрьевич Корчак, Александр Иванович Полубехин

Аннотация. В статье показана роль научно-технического задела в эволюционно-технологическом процессе создания систем и средств навигационного обеспечения. Продемонстрированы результаты разработок навигационных технологий, средств и систем в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана, который является активным участником исследований и разработок в области навигации.

Ключевые слова: базовые и критические технологии; фундаментальные; прогнозные и поисковые исследования; навигационные технологии; средства и системы

Для цитирования: Брайткрайтц С.Г., Ильин Е.М., Корчак В.Ю., Полубехин А.И. Навигационное обеспечение в России – пример эффективного внедрения научно-технических и технологических достижений в области навигации // Вооружение и экономика. 2026. №1(75). С. 15-22.

Original article

Navigation Support in Russia is an Example of the Effective Implementation of Scientific, Technical, and Technological Achievements in the Field of Navigation

Sergei G. Braitkraits, Evgenii M. Ilin, Vladimir Iu. Korchak, Aleksandr I. Polubekhin

Abstract. The article shows the role of scientific and technical backlog in the evolutionary and technological process of navigation systems and tools creation. The article demonstrates the results of the navigation technologies, tools and systems developments at the Bauman Moscow State Technical University that is an active participant in research and development in the field of navigation.

Keywords: basic and critical technologies; fundamental; predictive and search research; navigation technologies; tools and systems

For citation: Braitkraits S.G., Ilin E.M., Korchak V.Iu., Polubekhin A.I. Navigation Support in Russia is an Example of the Effective Implementation of Scientific, Technical, and Technological Achievements in the Field of Navigation. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2026; 75(1): 15-22. (In Russ.).

Достижение геополитических целей России и обеспечение её национальной безопасности возможно лишь при оснащении силовых министерств и ведомств техникой не только на уровне лучших мировых аналогов, но и превосходящих их по своим характеристикам. При этом большинство современных образцов вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) не обходится без средств и систем навигации. Требования к их точности и информативности непрерывно повышаются. Вместе с тем они оказываются весьма уязвимыми в первую очередь в части функционирования и жизнеспособности ввиду непрерывно растущих возможностей средств радиоэлектронного подавления и эффективности высокоточного оружия (ВТО) противника. Поэтому проблема создания максимально информативных, помехоустойчивых и живучих навигационных средств и систем является важнейшей задачей разработки перспективных ВВСТ. А это требует наличия соответствующего научно-технического задела (НТЗ) [1; 2].

Базовые и критические технологии навигационного вооружения

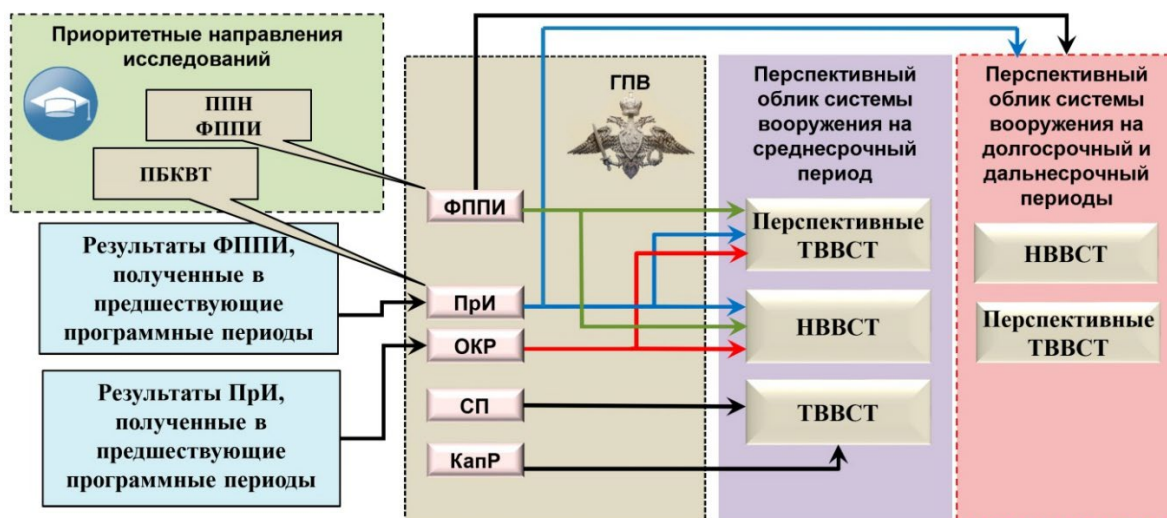
Нормативным документом, определяющим приоритетные направления создания НТЗ для перспективного и нетрадиционного вооружения, является перечень базовых и критических военных технологий (ПБКВТ) [2]. Развитие каждой базовой военной технологии (БВТ) предполагает проведение научных исследований и технологических разработок, направленных на повышение эффективности решения военно-технических задач (ВТЗ) и совершенствование ВВСТ, предназначенных для их решения. В каждой БВТ выделяется ряд критических

военных технологий (КВТ), под которыми понимаются технологии, обеспечивающие решение принципиально новых ВТЗ, существенный прирост тактико-технических характеристик (ТТХ) ВВСТ или значительное снижение затрат на их эксплуатацию [2]. ПБКВТ на период до 2033 года содержит 9 базовых, 54 критических и 461 военную технологию (рисунок 1) [3].

Перспективные виды ВВСТ создаются в рамках эволюционно-технологического процесса, заключающегося в переходе от фундаментальных, прогнозных и поисковых исследований (ФППИ) к прикладным исследованиям и далее к опытно-конструкторским работам (ОКР) по тому или иному научно-техническому направлению [4] (рисунок 2).



Рисунок 1 – Структура Перечня базовых и критических военных технологий на период до 2033 года



ППН – перечень приоритетных направлений;
 ПБКВТ – перечень базовых и критических военных технологий;
 ГПВ – государственная программа вооружения;
 ФППИ – фундаментальные, прогнозные и поисковые исследования;
 При – прикладные исследования;
 ОКР – опытно-конструкторские работы;
 СП – серийные поставки;
 КапР – капитальный ремонт;
 ТВВСТ – традиционные ВВСТ;
 НВВСТ – нетрадиционные ВВСТ;

Рисунок 2 – Эволюционно-технологический процесс формирования перспективного облика системы вооружения

Навигационное обеспечение является одним из ключевых компонентов разведывательно-информационного обеспечения Вооруженных Сил (ВС) РФ. В данном случае под навигационным обеспечением понимается комплекс организационных и технических мероприятий, предназначенных для получения, преобразования, передачи и использования информации о координатах и параметрах движения подвижных объектов, а также других навигационных элементов, необходимых для автоматического и автоматизированного управления этими объектами в соответствии с их целевым предназначением. Влияние базовых военных технологий на развитие навигационных систем и средств военного назначения показано на рисунке 3.

За последние 20-25 лет в области технологий навигационного обеспечения произошли серьезные изменения. Наиболее отчетливо новые тенденции проявились в ходе современных боевых действий. С учетом этого выделены три основные тенденции в навигационном обеспечении ВВСТ в современных условиях [1].

Первая тенденция – это интеграция навигационных средств в эргатических навигационных системах и комплексах, позволяющая обеспечить рациональное сочетание естественного и искусственного интеллекта с безусловным приоритетом в принятии решения человеком-оператором. Вторая тенденция связана с необходимостью навигационного обеспечения решения принципиально новых задач, обусловленных массовым применением и стремительным развитием новых средств воздушного нападения, включая широкое распространение ВТО всех видов базирования, роевые технологии беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и морских робототехнических комплексов. Третья тенденция заключается в активно проводимой модернизации традиционных вооружений – бронетанковой техники, ствольной артиллерии, реактивных систем залпового огня, средств противовоздушной и противоракетной обороны на основе новых навигационных решений – применения систем навигации по геофизическим полям, искусственным радионавигационным полям, формируемым наземными маркерами – для оружия наземного базирования и гидроакустическими буями – для оружия морского базирования.



Рисунок 3 – Влияние базовых военных технологий на развитие навигационных систем и средств военного назначения

На основе анализа базовых и критических военных технологий, а также тенденций в навигационном обеспечении ВВСТ сформирован перечень базовых и критических навигационных технологий. Под базовой навигационной технологией (БНТ) следует понимать совокупность знаний о методах (способах) решения задач навигационного обеспечения, направленных на повышение эффективности решения военно-технических задач ВВСТ и технических средств в данной области [1].

При определении состава БНТ учитывался тот факт, что в настоящее время единой современной (актуальной) программы развития навигационного обеспечения ВВСТ в нашей стране нет. Тем не менее исходя из структуры комплексной целевой программы развития бортовых систем навигации, чувствительных элементов и датчиков для вооружения и военной техники ВС РФ на 2006-2010 гг. и на период до 2015 года с учётом современных исследований выделены три базовые навигационные технологии: инерциальные датчики, чувствительные элементы и инерциальные навигационные системы (ИНС) на их основе; интегрированные навигационные системы и комплексы; навигационные системы по геофизическим и искусственным навигационным полям. По аналогии с БВТ, каждая из которых включает определенное количество КВТ, в составе базовых навигационных технологий выделены критические навигационные технологии (КНТ), под которыми следует понимать технологии, обеспечивающие решение принципиально новых навигационных задач, существенный прирост ТТХ навигационного обеспечения ВВСТ или значительное снижение затрат на изготовление и эксплуатацию навигационных систем, средств и комплексов. С учётом изложенного предлагаемая структура перечня базовых и критических навигационных технологий представлена в таблице 1 [1]. В перспективе состав КНТ может быть расширен за счёт новых научно-технических и технологических достижений в области навигации.

Таблица 1 – Базовые и критические навигационные технологии

Базовые навигационные технологии	Критические навигационные технологии
1. Инерциальные датчики, чувствительные элементы и инерциальные навигационные системы (ИНС) на их основе	1.1. ИНС на лазерных гироскопах
	1.2. ИНС на волоконно-оптических гироскопах
	1.3. ИНС на твердотельных волновых гироскопах
	1.4. ИНС на динамически настраиваемых гироскопах
	1.5. ИНС на электростатических гироскопах
	1.6. ИНС на микроэлектромеханических навигационных элементах
	1.7. ИНС на навигационных чувствительных элементах, основанных на новых физических принципах
2. Интегрированные навигационные системы и комплексы	2.1. Инерциально-спутниковые навигационные системы
	2.2. Астро-инерциально-спутниковые навигационные системы
	2.3. Радионавигационно-инерциальные системы
	2.4. Радиолокационно-инерциальные навигационные системы
	2.5. ИНС, интегрированные с измерителями аэрометрических параметров
	2.6. ИНС, интегрированные с параметрами движения объектов в водной среде
3. Навигационные системы по геофизическим и искусственным навигационным полям	3.1. Рельефометрические корреляционно-экстремальные навигационные системы (КЭНС)
	3.2. Гравиметрические КЭНС
	3.3. Магнитометрические КЭНС
	3.4. КЭНС, основанные на оптическом контрасте земной поверхности
	3.5. Интегрированные радионавигационные системы на основе наземных псевдоспутников
	3.6. Интегрированные гидроакустические навигационные системы на основе надводных и подводных буев
	3.7. КЭНС, основанные на радиолокационном контрасте земной поверхности

Вклад Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана в развитие навигационных технологий

В настоящее время исследования и разработки, связанные с созданием и совершенствованием навигационных систем, средств и комплексов, а также разработкой соответствующих технологий, осуществляются организациями Российской академии наук (РАН), Высшей школы, оборонно-промышленного комплекса, а также в рамках проектов научных фондов. Существенный вклад в выполнение исследований и разработок в данной области вносит один из ведущих технических вузов страны – Московский государственный технический университет (МГТУ) им. Н.Э. Баумана.

К числу разработок университета, осуществленных в кооперации с ведущими отечественными предприятиями промышленности, организациями РАН и Высшей школы, относятся технологии создания чувствительных элементов различной физической природы для оснащения перспективных навигационных систем и технологии создания перспективных систем навигации.

Первая группа технологий включает:

бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС) на основе четырехчастотного лазерного гироскопа¹;

БИНС на основе твердотельного волнового гироскопа (ТВГ) [6];

комплексированные навигационные БИНС нового поколения для ВТО [7; 8];

технологии малогабаритного бесплатформенного инерциального измерительного блока среднего класса точности (МБИНС-СТ) для применения в составе малоразмерных перспективных робототехнических комплексов, функционирующих в условиях длительной автономной работы при отсутствии сигналов спутниковых навигационных систем [9].

С целью реализации комплексной обработки информации в инерциальных навигационных системах на основе чувствительных элементов различной физической природы разработана соответствующая программа для персонального или промышленного компьютера². Программа для ЭВМ предназначена для отработки алгоритмов и отладки программного обеспечения инерциальных навигационных систем на основе чувствительных элементов различной физической природы. Программа включает: программные модули счисления параметров ориентации и навигации, которые позволяют исследовать точностные характеристики комплексных инерциальных систем, построенных на основе чувствительных элементов различной физической природы и отличающихся различными диапазонами и условиями измерений параметров движения; модуль контроля целостности и реконфигурации для исследования процедуры локализации и исключения из структуры комплексной инерциальной системы чувствительных элементов, выдающих недостоверную информацию; модуль комплексной обработки информации для исследования процедуры взаимной поддержки инерциальных навигационных систем, имеющих чувствительные элементы с различными точностными характеристиками и диапазонами измерений параметров движения. Программа имеет открытую модульную архитектуру, позволяющую изменять состав чувствительных элементов, их точностные характеристики и диапазоны измерений, а также развитые средства документирования и мониторинга ее рабочих параметров.

¹ См.: Полубехин А.И., Юрин А.Д., Ильин Е.М., Мартышин А.В., Меркулова И.И., Хрущев А.В., Чернодаров А.В., Брайткрайц С.Г. Программа функционирования бесплатформенной инерциальной системы (БИНС) на основе четырехчастотных лазерных гироскопов: свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №RU2020663134 Российская Федерация; правообладатель Минобороны России. Заявл. 15.10.2020; опубл. 22.10.2020; см. также [5].

² Полубехин А.И., Юрин А.Д., Ильин Е.М., Мартышин А.В., Меркулова И.И., Хрущев А.В., Чернодаров А.В., Брайткрайц С.Г. Программа комплексной обработки информации в инерциальных навигационных системах на основе чувствительных элементов различной физической природы: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №RU2020663188 Российская Федерация; правообладатель Минобороны России. Заявл. 15.10.2020; опубл. 23.10.2020.

Ко второй группе технологий относятся:

технология гиросtabilизированной бесплатформенной астроинерциальной навигационной системы (АИНС) [10] с комплексной обработкой навигационной и геодезической информации³ (рисунок 4);

технология АИНС с коррекцией данных о гравитационном поле Земли [11];

технологии радионавигационной системы (РНС) с коррекцией данных по рельефу Земли [12] (рисунки 5-7);

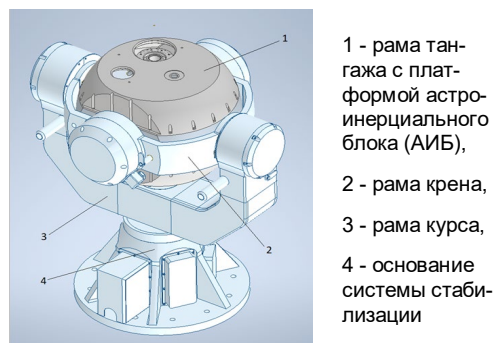


Рисунок 4 – Гиросtabilизированная АИНС



Рисунок 5 – Навигация летательного аппарата (ЛА) по рельефу



Рисунок 6 – Принцип действия интегрированной РНС на основе наземных маркеров

³ Брайткрайц С.Г., Полубехин А.И., Ильин Е.М., Цыганков В.Ю., Трубицин Г.В., Микаэльян С.В. Астронавигационная система: патент №RU2592715 С1 Российская Федерация; патентообладатель Минпромторг России, МПК G01C 21/02. Заявл. 26.03.2015; опублик. 27.07.2016. 11 с.

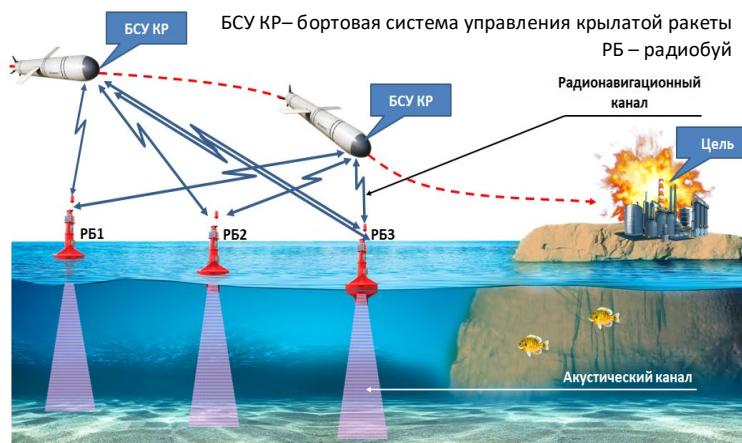


Рисунок 7 – Структурная схема РНС ЛА с автономной коррекцией координат по рельефу морского дна

технология искусственного интеллекта в области перспективных навигационных технологий⁴;

технология БИНС, обеспечивающей высокоточное позиционирование фазового центра антенны (ФЦА) многофункционального бортового радиолокатора (МБРЛК) БПЛА тактического звена⁵;

технология унифицированных автономных навигационных систем пилотируемой и беспилотной авиации для реализации скоростной и позиционной коррекции на основе использования базы данных цифровой картографической информации [13];

технология навигационного обеспечения группировки автономных необитаемых подводных аппаратов [14]).

Следует отметить, что создание системы стабилизации ФЦА на основе технологии БИНС [15] позволило реализовать в МБРЛК *ku*-диапазона достаточно высокое разрешение в режиме картографирования и, как следствие, обеспечить реализацию технологии автоматизированного распознавания типовых наземных объектов воздушной разведки [16; 17].

Практическая реализация разработанных навигационных технологий позволила создать целый ряд уникальных навигационных комплексов различного назначения на уровне лучших мировых аналогов.

Список источников

1. Брайткрайц С.Г., Корчак В.Ю., Леонов А.В., Пронин А.Ю. Развитие навигационных систем и технологий в России: направления, приоритеты, проблемы: монография. М.: Инфра-М, 2025. 224 с.
2. Кравченко А.Ю., Смирнов С.С., Реулов Р.В., Хованов Д.Г. Роль научно-технического задела в инновационных процессах создания перспективного вооружения: проблемы и пути решения // Вооружение и экономика. 2012. №4(20). С. 41-55.
3. Реулов Р.В., Стукалин С.В., Пронин А.Ю. Развитие базовых военных технологий на современном этапе: обоснование, планирование, реализация // Вооружение и экономика. 2022. №3(61). С. 78-91.
4. Борисенков И.Л., Помазан Ю.В., Тужиков Е.З., Царьков А.Н., Салько А.Е. Создание опережающего научно-технического задела для перспективного вооружения // Известия Института инженерной физики. 2020. №1(55). С. 100-110.

⁴ Ильин Е.М., Козорез Д.А., Красильщиков М.Н., Полубехин А.И., Савостьянов В.Ю., Сыпало К.И. Облик бортовой интегрированной навигационной системы летательного аппарата, обеспечивающей высокоточное позиционирование фазового центра антенны бортовой РЛС // Вестник СибГУТИ. 2016. №3(35). С. 33-45.

⁵ Брайткрайц С.Г., Ильин Е.М., Мартышин А.В., Полубехин А.И., Савостьянов В.Ю., Самарин О.Ф., Юрин А.Д., Хомяков К.А. Унифицированный интегрированный с подсистемой микронавигации малогабаритный многофункциональный радиолокатор для беспилотных летательных аппаратов средней и малой дальности // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2018. №11. С. 313-326.

5. Винокуров Ю.А., Голяев Ю.Д., Дмитриев В.Г., Колбас Ю.Ю., Назаренко М.М., Тихменев Н.В. Трехосный зеэмановский лазерный гироскоп повышенной точности // Сб. материалов XV междунар. конф. по интегрированным навигационным системам (г.Санкт-Петербург, 2008, 26-28 мая). СПб.: ЦНИИ «Электроприбор», 2008. С. 116-121.
6. Матвеев В.А., Лунин Б.С., Басараб М.А. Навигационные системы на волновых твердотельных гироскопах. М.: Физматлит. 2008. 240 с.
7. Чернодаров А.В., Патрикеев А.П., Меркулова И.И. Комплексирование распределенных инерциальных навигационных систем на базе волоконно-оптических и микроэлектромеханических измерителей // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2017. Т.20. №6. С. 111-120.
8. Чернодаров А.В., Патрикеев А.П., Борзов А.Б., Меркулова И.И., Коркишко Ю.Н., Федоров В.А., Федоров И.В. Полунатурная отработка многопозиционных инерциально-спутниковых навигационных систем на базе волоконно-оптических и микромеханических измерителей // Сб. материалов XXIV междунар. конф. по интегрированным навигационным системам (г.Санкт-Петербург, 2017, 29-31 мая). СПб: ЦНИИ «Электроприбор», 2017. С. 106-110.
9. Нестеров И.И., Мальгин Н.В., Кутман А.Б., Торопков А.А. Практика применения бесплатформенных инерциальных навигационных систем и гиросtabilизированных платформ производства ООО «Гиролаб» для экстремальной робототехники. Перспективные разработки // Экстремальная робототехника. 2020. №1(31). С. 110-117.
10. Болотнов А.С., Кондрашкин Г.В. Эволюция технических решений в построении систем астроинерциальной навигации // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Приборостроение. 2024. №4(149). С. 4-24.
11. Белоглазов И.Н., Джанджгава Г.И., Чигин Г.П. Основы навигации по физическим полям. М.: Наука, 1985. 327 с.
12. Брайткрайц С.Г., Полубехин А.И., Ильин Е.М., Евдокимов В.А., Юрин А.Д. Бортовая система беспилотного летательного аппарата (БЛА) с автономной коррекцией координат: патент №RU2703806 С1 Российская Федерация; патентообладатель МГТУ им. Н.Э. Баумана, МПК G01C 21/02. Заявл. 24.10.2018.; опубл. 22.10.2019. 12 с.
13. Микаэльян С.В., Хрущев А.В., Колесников А.В., Шипитько О.С., Полубехин А.И., Цыганков В.Ю., Ильин Е.М. Программное обеспечение по совместному оцениванию позиционной и скоростной коррекции навигационных параметров на основе использования цифровой картографической информации: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №RU2015618273 Российская Федерация; правообладатель Минпромторг России. Заявл. 26.03.2015; опубл. 20.08.2015.
14. Вельтищев В.В., Егоров С.А., Кропотов А.Н., Кулешов В.И., Гурьев А.В. Особенности разработки навигационного обеспечения группировки автономных необитаемых подводных аппаратов // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2014. Т.7. №2. С. 41-45.
15. Ильин Е.М., Полубехин А.И., Юрин А.Д., Брайткрайц С.Г., Халатова Е.С., Репников Д.А. Беспилотный летательный аппарат: патент №RU2718739 С1 Российская Федерация; патентообладатель Минпромторг России, МПК B64C 39/02, G01S 13/90. Заявл. 01.03.2019; опубл. 14.04.2020. 18 с.
16. Молчанов А.С., Чаусов Е.В. Информационная технология автоматизированного распознавания типовых наземных объектов воздушной разведки // Информационные технологии в науке, образовании и производстве (ИТНОП-2020): сб. материалов VIII междунар. науч.-техн. конф. (г.Белгород, 2020, 24-25 сентября). Белгород: НИУ «БелГУ». 2020. С. 107-110.
17. Чаусов Е.В., Молчанов А.С. Автоматизированный комплекс обработки цифровых изображений в задаче оценивания линейного разрешения на местности на основе функции передачи модуляции // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ. 2020. Т.9. С. 73-76.

Информация об авторах

С.Г. Брайткрайц – доктор технических наук, старший научный сотрудник, SPIN 4779-5045.
 Е.М. Ильин – доктор физико-математических наук, профессор, SPIN 5256-7183.
 В.Ю. Корчак – доктор экономических наук, профессор, SPIN 6862-4288.
 А.И. Полубехин – кандидат технических наук, доцент, SPIN 5841-9560.

Научная статья
УДК 623.2

Унифицированная методика оценки эффективности поражения наземных целей боеприпасами

Александр Иванович Буравлев

Аннотация. Статья является продолжением темы статьи «Развитие зонного подхода к оценке эффективности поражения наземных целей боеприпасами»¹, опубликованной в журнале «Вооружение и экономика» №2(72) в 2025 году. В данной статье предложена унифицированная методика оценки эффективности поражения наземных целей боеприпасами, как с круговыми, так и с прямоугольными зонами поражения на основе двух- и трехступенчатых кусочно-линейных моделей, описывающих реальные процессы поражения целей. Достоинством предлагаемой модели является возможность оперативного получения интервальной оценки для вероятности поражения одиночной цели. Сравнение получаемого результата с результатом расчета по точной модели показывает ее 90% сходимость. Разработанная методика может быть использована для создания единого научно-методического аппарата оценки боевой эффективности современных комплексов вооружения.

Ключевые слова: элементарные, одиночные и групповые цели; функция накрытия цели зоной поражения; двухступенчатая кусочно-линейная аппроксимация функции накрытия цели зоной поражения; вероятность поражения размерной цели

Для цитирования: Буравлев А.И. Унифицированная методика оценки эффективности поражения наземных целей боеприпасами // Вооружение и экономика. 2026. №1(75). С. 23-28.

Original article

Unified Methodology for the Effectiveness Assessment of Ground Targets Hitting by Ammunition

Aleksandr I. Buravlev

Abstract. The article is a continuation of the follow-up «Development of a Zone Approach to the Effectiveness Assessment of Ground Target Hitting by Ammunition» article published in the «Armament and Economics» journal, No.72(2), 2025. This article proposes a unified methodology of the effectiveness assessment of ground targets hitting by both circular and rectangular damage zones ammunitions. This methodology is based on two- and three-steps piecewise linear models that describe the real processes of targets hitting. The advantage of the proposed model is the ability to obtain quickly an interval estimate of single target hitting probability. A comparison of the obtained result with the calculation result based on the exact model shows its 90% convergence. The developed methodology can be used to create a unified scientific and methodological apparatus for the combat effectiveness assessment of modern weapons systems.

Keywords: elementary, single and group targets; target coverage function; two-stages piecewise linear approximation of the target coverage function; dimensional target hitting probability

For citation: Buravlev A.I. Unified Methodology for the Effectiveness Assessment of Ground Targets Hitting by Ammunition. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2026; 75(1): 23-28. (In Russ.).

Объектами действия современных боеприпасов (снарядов, ракет, бомб, гранат и пр.) являются объекты войсковой (вооружение и военная техника, позиции размещения войсковых подразделений, склады боеприпасов и ГСМ) и промышленной инфраструктуры военного и гражданского назначения (здания, сооружения, линии связи, трубопроводы, энергосети и др.) [1-3]. Каждый такой объект включает в себя некоторую совокупность элементарных целей (ЭЦ), конструктивно, функционально или организационно связанных между собой [1-5]. Элементарная цель представляет собой простейший объект, имеющий пренебрежимо малые размеры и только два состояния: работоспособное и неработоспособное. Поражение ЭЦ состоит в переводе ее в неработоспособное состояние.

По количеству элементарных целей и характеру их связей в составе объекта принято различать одиночные, групповые и площадные цели.

¹ Буравлев А.И. Развитие зонного подхода к оценке эффективности поражения наземных целей боеприпасами // Вооружение и экономика. 2025. №2(72). С. 25-36.

Одиночные цели имеют в своем составе хотя бы одну ЭЦ и определенные размеры. Предполагается, что для одиночных размерных целей распределение ЭЦ внутри их является «статистически» равномерным [1]. Поражение одиночной цели возникает в случае поражения хотя бы одной ЭЦ в его составе.

Все объекты поражения имеют различную геометрическую форму и чаще всего могут быть представлены своими проекциями в плоскости стрельбы прямоугольником или набором прямоугольников определенных размеров в прямоугольной системе координат Π_{xz} с центром в точке симметрии Π (рисунок 1).

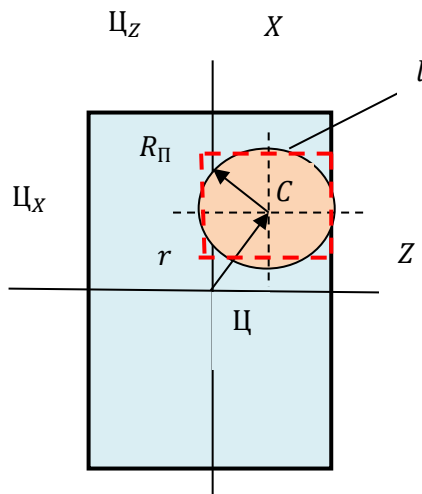


Рисунок 1 – Геометрические формы объектов и зон поражения

Зоны поражающего действия артиллерийских снарядов, ракет и авиационных бомб имеют вид круга или эллипса, которые в расчетных методиках заменяются квадратом или прямоугольником. Размеры прямоугольной зоны поражения определяются ее длиной и шириной l_x, l_z , а круговой зоны поражения радиуса R_{Π} (рисунок 1).

При прицеливании по объекту расчетная точка попадания снаряда (точка прицеливания), как правило, совмещается с центром цели, хотя может быть выбрана и любая другая точка цели. Вследствие рассеивания снарядов и бомб фактическая точка попадания снаряда в цель отклоняется от точки прицеливания на величину промаха $r = \sqrt{r_x^2 + r_z^2}$.

Условием попадания снаряда в зону цели являются неравенства:

$$r_x < \Pi_x/2; r_z < \Pi_z/2; r < R_{\Pi},$$

а условием поражения цели полное или частичное ее покрытие зоной поражения.

В работах [1-5] приводятся расчетные формулы для оценки площади накрытия прямоугольных и круговых целей соответственно прямоугольными и круговыми зонами поражения и расчета вероятности поражения этих целей. Расчетные методики накрытия прямоугольных зон поражения разработаны Ю.Мильграмом и В.Ерохиным и подробно изложены в работе [1].

Здесь мы рассмотрим методику оценки вероятности поражения прямоугольной цели при накрытии ее круговой зоной поражения, которая является наиболее сложной по используемой расчетной схеме. В основе методики используются трехступенчатая кусочно-линейные аппроксимации координатного закона поражения $G(R, \varphi)$ и двухступенчатая аппроксимации условного закона поражения, характеризующего среднюю долю накрытия цели $V(R_{\Pi}, \Pi) = \min(M[S_{\Pi}]/S_{\Pi}; 1)$ зоной поражения боеприпаса [4; 5].

С помощью трехступенчатой аппроксимации координатного закона поражения $G(R)$ можно рассчитать среднее квадратическое значение радиуса поражения $\hat{R}_{\Pi}$ по экспериментальным и экспертным данным о степени поражения элементарных целей (ЭЦ) определенным боеприпасом (таблица 1).

Таблица 1 – Экспертно-экспериментальные данные о характеристиках поражения ЭЦ

Радиус поражения цели с заданной степенью ущерба в %, м	R_1	$R_{0,5}$	R_0
	4	10	16
Условная вероятность поражения ЭЦ $G(R)$	1,0 ... 0,95	0,55 ... 0,45	0,05 ... 0

Из таблицы следует, что в зоне поражения на расстоянии от точки подрыва снаряда $R_1 \leq 4$ м не менее 95% ЭЦ поражается по заданному типу (например, уничтожены); на расстоянии $R_{0,5} \leq 10$ м поражается не более 50% ЭЦ, а на расстоянии $R_0 > 16$ м не поражается ни одна элементарная цель.

По данным таблицы 1 можно рассчитать среднеквадратическое значение радиуса зоны поражения:

$$\hat{R}_\Pi = \sqrt{\frac{\bar{S}_\Pi}{\pi}} = \sqrt{\frac{R_{0,5}^2}{3} + \frac{R_1^2 + R_{0,5}(R_1 + R_0) + R_0^2}{6}} \quad (1)$$

и среднее значение условной вероятности поражения ЭЦ в этой зоне:

$$\bar{G} = \frac{R_1 + 2R_{0,5} + R_0}{4\hat{R}_\Pi}. \quad (2)$$

Методика расчета указанных параметров приведена в работе автора².

Проведенные автором исследования показали [4; 5], что зависимость функции накрытия цели зоной поражения (прямоугольной или круговой) может быть с достаточной для практики точностью аппроксимирована двухступенчатой кусочно-линейной (трапецевидной) функцией накрытия по каждой координатной оси:

$$V_X(x) = \begin{cases} V_{Xmax}, & 0 \leq x < (\Pi_X - l_X)/2 \\ a_0 - a_1 x, & (\Pi_X - l_X)/2 \leq x < (\Pi_X + l_X)/2 \\ 0, & x \geq (\Pi_X + l_X)/2 \end{cases} \quad (3)$$

где: $V_{Xmax} = \min(l_X/\Pi_X; 1)$ – максимальное перекрытие линейного размера цели линейным размером зоны поражения;

$a_0 = V_{Xmax}/2 \cdot (1 + \Pi_X/l_X) = (1 + V_{Xmax})/2$; $a_1 = V_{Xmax}/l_X$ – коэффициенты аппроксимации функции накрытия.

График трапецевидной функции накрытия показан на рисунке 2.

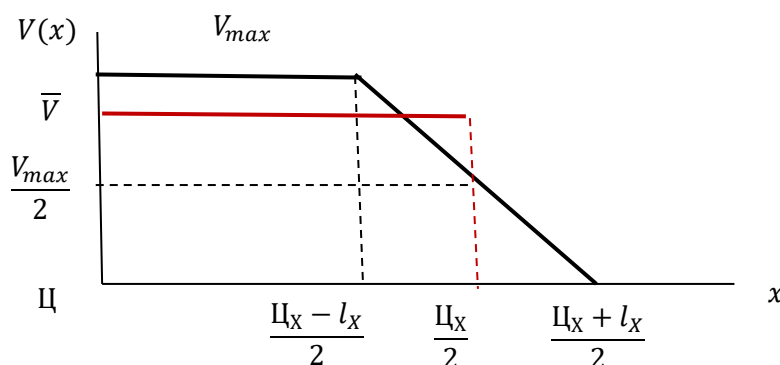


Рисунок 2 – Трапецевидная аппроксимация функции накрытия цели зоной поражения по координатной оси Π_X

² Буравлев А.И. Развитие зонного подхода... Указ. соч.

Для круговой зоны с радиусом поражения R_{Π} ее размеры приводятся к эквивалентной по площади квадратной зоне со сторонами:

$$l_X = l_Z = \sqrt{\pi} R_{\Pi}.$$

Величина площади накрытия цели зоной поражения является случайной с учетом рассеивания снарядов. Для определения математического ожидания функции накрытия рассчитывается интеграл:

$$\bar{V}_X = 2 \int_0^{l_X/2} V_X(x) \varphi(x) dx = 2[I_1 + I_2 - I_3], \quad (4)$$

где: $\varphi(x) = 1/\sigma_X \sqrt{2\pi} \exp(-x^2/2\sigma_X^2)$ – функция рассеивания точек попадания снаряда по координатной оси относительно точки прицеливания (центра цели).

Частные интегралы, входящие в (4), рассчитываются по формулам:

$$\begin{aligned} I_1 &= \int_0^{(l_X - l_X)/2} V_{Xmax} \varphi(x) dx = V_{Xmax} \Phi_0 \frac{l_X - l_X}{2\sigma_X}; \\ I_2 &= \int_{(l_X - l_X)/2}^{l_X/2} a_0 \varphi(x) dx = \frac{(1 + V_{Xmax})}{2} \left[\Phi_0 \frac{l_X}{2\sigma_X} - \Phi_0 \frac{l_X - l_X}{2\sigma_X} \right]; \\ I_3 &= a_1 \int_{(l_X - l_X)/2}^{l_X/2} x \varphi(x) dx = V_{Xmax} \frac{\sigma_X}{l_X} \sqrt{\frac{2}{\pi}} \left[\exp\left(-\frac{(l_X - l_X)^2}{8\sigma_X^2}\right) - \exp\left(-\frac{l_X^2}{8\sigma_X^2}\right) \right]; \end{aligned} \quad (5)$$

где: $\Phi_0(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$ – интеграл вероятностей.

Аналогичное выражение получается для средней доли перекрытия цели по координатной оси $\bar{V}_Z$.

Для определения численных значений интеграла вероятностей $\Phi_0(x)$ целесообразно использовать приближенную аналитическую формулу³:

$$\Phi_0(x) \approx \frac{\sqrt{1 - \exp\left(-\frac{2}{\pi} x^2\right)}}{2}; \quad \Phi_0(-x) = -\Phi_0(x). \quad (6)$$

Погрешность расчета $\Phi_0(x)$ с использованием данной функции не превосходит 1%.

Общее перекрытие площади цели зоной поражения рассчитывается как произведение линейных перекрытий:

$$\bar{V}_{\Pi} = \bar{V}_X \bar{V}_Z. \quad (7)$$

С зоной поражения связан показатель ее могущества $\bar{G}$, характеризующий условную вероятность поражения цели по определенному типу при накрытии ее зоной поражения боеприпаса [4; 5]. Поэтому условная вероятность поражения цели при ее накрытии зоной поражения будет равна:

$$\bar{W}_{\Pi} = \bar{G} \bar{V}_{\Pi}. \quad (8)$$

Полученные выражения для средней доли перекрытия цели зоной поражения (4-8) являются достаточно сложными для оперативных расчетов. Однако их можно упростить. Упрощение состоит в осреднении функций накрытия $V_X(x)$, $V_Z(z)$ внутри интеграла (4), с учетом гипотезы о «статистически» равномерном распределении (Ξ_{Π}) в области цели. Это допущение было принято при обосновании «зонного» подхода его авторами [1]. В этом случае интеграл (5) принимает более простой вид:

$$\bar{V}_X = \bar{V}_X(\Xi_X) P_X(\Xi_X), \quad (9)$$

где: $\bar{V}_X(\Xi_X) = \frac{2}{\Xi_X} \int_0^{\Xi_X/2} V_X(x) dx = V_{Xmax} \left[1 - \frac{V_{Xmax}}{4} \right]$ – среднее значение доли перекрытия цели по координатной оси Ξ_X ;

$P_X(\Xi_X) = 2\Phi_0(\Xi_X/2\sigma_X)$ – вероятность попадания боеприпаса в линейный размер цели.

³ Справочник по специальным функциям / Под ред. М. Абрамовица, И. Стиган. М.: Наука. 1979. 832 с.

Аналогичное выражение имеет вид и для координатной оси Π_Z .

При максимальном накрытии цели зоной поражения $V_{Xmax} = 1$ среднее значение доли перекрытия цели составляет $\bar{V}_X(\Pi_X) = 0,75$.

Это связано с тем, что часть зоны поражения, выходящей за границы цели (рисунок 2), не учитывается при оценке величины ущерба.

Если осреднение функции накрытия произвести с учетом зоны поражения, частично находящейся за границами цели, то получаем другой результат:

$$\bar{V}_X(\Pi_X) = \frac{2}{\Pi_X} \int_0^{(\Pi_X + l_X)/2} V_X(x) dx = V_{Xmax} \quad (10)$$

Оба результата можно рассматривать как нижнюю и верхнюю оценки доли накрытия цели зоной поражения боеприпаса с учетом случайного характера процесса поражения:

$$V_{Xmax} \left(1 - \frac{V_{Xmax}}{4}\right) \leq \bar{V}_X(\Pi_X) \leq V_{Xmax}.$$

Для кусочно-линейной модели функции накрытия также можно использовать среднее арифметическое предельных значений доли накрытия, что уменьшает погрешность расчета и риск получения ошибочной оценки наносимого ущерба:

$$\bar{V}_X(\Pi_X) = \frac{V_{Xmax} \left(1 - \frac{V_{Xmax}}{4}\right) + V_{Xmax}}{2} = \frac{7}{8} V_{Xmax}. \quad (11)$$

Пример. Для исходных данных $\Pi_X \times \Pi_Z = 20 \times 10$ кв.м, $\hat{R}_\Pi = 8,5$ м, $\bar{G} = 0,94$ по формулам (9)-(11) рассчитываем максимальные линейные перекрытия и минимальное накрытие цели круговой зоной поражения:

$$\bar{V}_X(\Pi_X) = \min(\sqrt{\pi} R_\Pi / \Pi_X; 1) = 0,75; \bar{V}_Z(\Pi_Z) = \min(\sqrt{\pi} R_\Pi / \Pi_Z; 1) = 1,0; \bar{V}_H(\Pi) = \bar{V}_X(\Pi_X) \bar{V}_Z(\Pi_Z) = 0,75; \bar{V}_B(\Pi) = \bar{V}_X(\Pi_X) \bar{V}_Z(\Pi_Z) = V_{Xmax}(1 - V_{Xmax}/4) \cdot V_{Zmax}(1 - V_{Zmax}/4) = 0,46; \bar{V}_\Pi = (\bar{V}_{\Pi H} + \bar{V}_{\Pi B})/2 = 0,60.$$

Далее при заданных СКО стрельбы $\sigma_X = 3,5$ м, $\sigma_Z = 2,5$ м рассчитываем вероятности попадания боеприпаса в зону цели:

$$P(\Pi) = P_X(\Pi_X) P_Z(\Pi_Z) = 2\Phi_0(\Pi_X/2\sigma_X) 2\Phi_0(\Pi_Z/2\sigma_Z) = 0,997 \cdot 0,960 = 0,957.$$

Итоговая вероятность поражения цели составляет:

$$\bar{W}_\Pi = \bar{G} \bar{V}_\Pi P_\Pi = 0,94 \cdot 0,60 \cdot 0,96 = 0,55.$$

Для этих же данных рассчитаем среднюю долю накрытия цели и вероятность поражения по точным формулам (4), (5):

$$\bar{V}_X = 0,60; \bar{V}_Z = 0,86; \bar{V}_X \bar{V}_Z = 0,60 \cdot 0,86 = 0,52; \bar{W}_\Pi = \bar{G} \bar{V}_\Pi P_\Pi = 0,94 \cdot 0,52 = 0,49.$$

Сравнивая полученные результаты, можно видеть, что они отличаются не более чем на 10% при расчете вероятности поражения цели одиночным боеприпасом. Для практических расчетов такая точность вполне допустима.

Нетрудно подсчитать, что для поражения цели с вероятностью не ниже $W_{зад} = 0,8$ потребуется в среднем $n = \ln(1 - W_{зад}) / \ln(1 - W) = 2,4$ ед. по точной и $n = 2,0$ ед. боеприпасов по приближенной методике.

Таким образом, рассмотренная выше методика позволяет производить расчеты по оценке эффективности поражения целей боеприпасами с прямоугольной и круговой зонами поражения. Это достигается заменой круговой зоны поражения эквивалентной по площади квадратной зоной поражения. Применение кусочно-линейной (трапециевидной) аппроксимации условного закона поражения позволяет получить как точную, так и приближенную расчетные формулы для средней доли накрытия цели зоной поражения. Осреднение функции накрытия цели по области размерной цели в рамках предположения о «статистически» равномерном распределении элементарных целей внутри нее позволяет получить нижнюю и верхнюю оценки для средней доли накрытия цели зоной поражения. При этом методика расчета значительно упрощается и становится пригодной для оперативных расчетов.

Список источников

1. Мильграм Ю.Г., Ерохин В.А. Основы единой зонной методики оценки эффективности авиационных средств поражения по наземным (морским) объектам. М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1985. 241 с.
2. Оценка эффективности огневого поражения ударами ракет и огнем артиллерии: военно-теоретический труд / Под общ. ред. А.А. Бобрикова. СПб.: АВН, 2006. 424 с.
3. Методы оценки эффективности вооружения и военной техники / Под ред. В.М. Буренка. СПб.: ВАТТ, 2011. 142 с.
4. Буравлев А.И., Брезгин В.С. Методы оценки эффективности применения высокоточного оружия. М.: Академия Жуковского, 2018. 232 с.
5. Методы оценки эффективности вооружения и военной техники: монография / Под ред. В.М. Буренка. 2-е изд., доп. М.: Граница, 2022. 264 с.

Информация об авторе

А.И. Буравлев – доктор технических наук, профессор.

Научная статья
УДК 623.55.023:519.242

Методика проектирования траекторных измерительных комплексов с использованием интервального показателя точности оценки параметров движения летательных аппаратов

Владимир Герасимович Найденов

Аннотация. В статье разработана усовершенствованная методика проектирования рациональных структур траекторных измерительных комплексов с использованием интервального показателя точности оценки параметров движения испытываемых летательных аппаратов. Разработан алгоритм вычисления значений интервального показателя точности траекторного измерительного комплекса. Представлены результаты исследования интервального показателя точности. Даны рекомендации по порядку сравнения значений оценки точности вектора параметров движения летательных аппаратов с предъявляемыми требованиями. Методика позволяет повысить точность и достоверность процесса проектирования рациональных структур траекторных измерительных комплексов, используемых для обеспечения испытаний сложных технических комплексов.

Ключевые слова: траекторный измерительный комплекс; интервальный показатель точности; летательный аппарат; область требований

Для цитирования: Найденов В.Г. Методика проектирования траекторных измерительных комплексов с использованием интервального показателя точности оценки параметров движения летательных аппаратов // Вооружение и экономика. 2026. №1(75). С. 29-37.

Original article

The Methodology of Trajectory Measuring Systems Design with the Use of an Interval Indicator of Aircraft Motion Parameters for Accuracy Estimation

Vladimir G. Naidenov

Abstract. The article has developed an improved methodology of rational structures design of trajectory measuring complexes with the use of an interval indicator of aircraft motion for parameters accuracy estimation. An algorithm for values calculation of the accuracy interval indicator of the trajectory measuring complex has been developed. The study results are presented. Recommendations are given on the procedure for comparison of the vector accuracy estimation of aircraft motion parameters with the requirements. The methodology allows for the accuracy and reliability improvement of the rational structures design process of trajectory measuring complexes used to provide complex technical systems tests.

Keywords: trajectory measuring complexes; interval accuracy indicator; aircraft; area of requirements

For citation: Naidenov V.G. The Methodology of Trajectory Measuring Systems Design with the Use of an Interval Indicator of Aircraft Motion Parameters for Accuracy Estimation. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2026; 75(1): 29-37. (In Russ.).

Выбор рациональных структур траекторных измерительных комплексов (ТИК) испытательных центров предполагает применение методов оптимизации структур таких комплексов по выбранным критериям с использованием соответствующих математических моделей, позволяющих анализировать качество различных вариантов построения ТИК.

При обосновании технических требований к траекторным измерительным комплексам, проектировании новых и модернизации существующих комплексов, а также при планировании натурных измерительных экспериментов важное значение имеет правильный выбор показателей точности ТИК.

Необходимо отметить, что в настоящее время в практике проектирования ТИК доминирует способ сравнения «точечных» оценок, характеризующих возможности ТИК, с требованиями к нему, заданных в виде среднеквадратических значений погрешностей оценок составляющих вектора параметров движения летательного аппарата (ЛА), что не позволяет получить гарантированный результат, поскольку сравниваемые значения являются случайными величинами [1-3].

В монографии [1] показано, что в результате оценки вектора параметров движения ЛА $\hat{\theta}(t)$ для момента времени t вся информация об этом векторе заключена в его плотности распределения вероятности $f(\hat{\theta}(t))$.

В случае, когда плотность распределения вероятности вектора $\hat{\theta}(t)$ подчинена нормальному закону, то точность оценки этого вектора для момента времени t характеризуется его математическим ожиданием $M(\hat{\theta}(t))$ и ковариационной матрицей $K_{\hat{\theta}}(t)$.

Однако непосредственное использование матрицы $K_{\hat{\theta}}(t)$ в качестве показателя точности достаточно затруднительно. Поэтому в монографии [1] предлагается использовать различные скалярные характеристики этой матрицы, такие как след ковариационной матрицы, определитель ковариационной матрицы или максимальное значение собственного числа ковариационной матрицы. Однако эти показатели не имеют физической размерности и не могут сравниваться с требованиями, предъявляемыми к показателям точности траекторного измерительного комплекса. Кроме того, эти показатели характеризуют только случайную составляющую погрешности ТИК и не оценивают его систематическую составляющую погрешности.

Кроме того, в настоящее время в практике проектирования траекторных измерительных систем в качестве критерия оптимизации очень часто используется такой показатель, как пространственный геометрический фактор (GDOP – Geometrical delusion of precision), который является количественной характеристикой погрешности определения координат ЛА, связанной с особенностями пространственного положения средств траекторных измерений и сопровождаемого ими летательного аппарата [4-6].

Значение пространственного геометрического фактора, являющегося скалярной величиной, зависит от взаимного расположения измерительных средств, пространственного положения средств траекторных измерений (ТИ) и сопровождаемого ими летательного аппарата, а также от используемого метода измерения координат ЛА. Так, значение пространственного геометрического фактора $\Gamma_{\Pi}(t)$ может быть вычислено по следующей формуле:

$$\Gamma_{\Pi}(t) = \sqrt{Sp[\mathbf{G}^T(t) \cdot \mathbf{G}(t)]^{-1}}, \quad (1)$$

где: $\mathbf{G}(t)$ – матрица частых производных измеряемых параметров положения ЛА по оцениваемым параметрам движения ЛА в конкретной точке траектории.

Например, при дальномерном методе измерения координат ЛА поверхностью положения для i -го средства траекторных измерений является сфера радиусом D_i с центром, расположенным в точке стояния средства ТИ. При наличии как минимум трех средств ТИ координаты ЛА определяются путем решения следующей системы уравнений [4]:

$$D_1(t) = \sqrt{[x_{c1} - x(t)]^2 + [y_{c1} - y(t)]^2 + [z_{c1} - z(t)]^2};$$

$$D_2(t) = \sqrt{[x_{c2} - x(t)]^2 + [y_{c2} - y(t)]^2 + [z_{c2} - z(t)]^2};$$

$$D_3(t) = \sqrt{[x_{c3} - x(t)]^2 + [y_{c3} - y(t)]^2 + [z_{c3} - z(t)]^2},$$

где: x_{ci}, y_{ci}, z_{ci} – координаты точки стояния i -го средства ТИ;
 $x(t), y(t), z(t)$ – текущие координаты ЛА.

В этом случае матрица частых производных $\mathbf{G}(t)$ имеет следующий вид:

$$\mathbf{G}(t) = \begin{bmatrix} \frac{\partial D_1(t)}{\partial x} & \frac{\partial D_1(t)}{\partial y} & \frac{\partial D_1(t)}{\partial z} \\ \frac{\partial D_2(t)}{\partial x} & \frac{\partial D_2(t)}{\partial y} & \frac{\partial D_2(t)}{\partial z} \\ \frac{\partial D_3(t)}{\partial x} & \frac{\partial D_3(t)}{\partial y} & \frac{\partial D_3(t)}{\partial z} \end{bmatrix},$$

где: $\frac{\partial D_i(t)}{\partial x} = \frac{x_{ci} - x(t)}{D_i(t)}$; $\frac{\partial D_i(t)}{\partial y} = \frac{y_{ci} - y(t)}{D_i(t)}$; $\frac{\partial D_i(t)}{\partial z} = \frac{z_{ci} - z(t)}{D_i(t)}$.

Для радиолокационного метода измерения координат ЛА матрица частных производных $G(t)$ имеет следующий вид:

$$G(t) = \begin{bmatrix} \frac{\partial D(t)}{\partial x} & \frac{\partial D(t)}{\partial y} & \frac{\partial D(t)}{\partial z} \\ \frac{\partial \beta(t)}{\partial x} & \frac{\partial \beta(t)}{\partial y} & \frac{\partial \beta(t)}{\partial z} \\ \frac{\partial \varepsilon(t)}{\partial x} & \frac{\partial \varepsilon(t)}{\partial y} & \frac{\partial \varepsilon(t)}{\partial z} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где: $D(t)$, $\beta(t)$, $\varepsilon(t)$ – текущие значения дальности от радиолокатора до ЛА, а также углов азимута и места на летательный аппарат соответственно.

Элементы матрицы (2) определяются частными производными от следующих выражений:

$$D(t) = \sqrt{[x_c - x(t)]^2 + [y_c - y(t)]^2 + [z_c - z(t)]^2};$$

$$\beta(t) = \arccos \frac{z_c - z(t)}{\sqrt{[x_c - x(t)]^2 + [z_c - z(t)]^2}};$$

$$\varepsilon(t) = \arcsin \frac{y_c - y(t)}{\sqrt{[x_c - x(t)]^2 + [y_c - y(t)]^2 + [z_c - z(t)]^2}}.$$

Подставляя в выражения частных производных координаты точек стояния средств ТИ и измеренные значения координат сопровождаемого ЛА на заданный момент времени t , можно получить численные значения матрицы $G(t)$ и затем вычислить значение пространственного геометрического фактора по формуле (1).

Однако необходимо отметить, что GDOP не может быть использован в качестве показателя точности ТИК, поскольку не учитывает погрешности средств траекторных измерений, а позволяет оценивать только степень ухудшения точности ТИК за счет неоптимального размещения средств ТИ этого комплекса по отношению к сопровождаемому ЛА. Конечно, при фиксированных значениях погрешностей средств ТИ величина GDOP оказывает существенное влияние на точность измерения координат ЛА, поскольку учитывает взаимное положение этого ЛА и средств траекторных измерений. Поэтому геометрический фактор может быть использован только для выбора рационального варианта расстановки средств ТИК в случае одинакового состава этих средств вдоль испытательной трассы, а также, например, для выбора оптимального «созвездия» космических аппаратов спутниковых навигационных систем.

Проведенный анализ показателей точности ТИК показал, что ни один из рассмотренных показателей не позволяет полно и достоверно характеризовать точность того или иного траекторного измерительного комплекса и позволять проводить сравнение вариантов построения такого комплекса с предъявляемыми требованиями.

В связи с этим автором предлагается использовать для этой цели интервальный показатель точности ТИК, который может широко применяться в практике проектирования ТИК, предназначенных для обеспечения проведения натурных испытаний сложных технических систем. При этом в качестве показателя точности $Q(t)$ измерительного комплекса предложено выбрать значение вероятности P нахождения оценки вектора параметров движения ЛА $\hat{\theta}(t)$ в пределах заранее заданной области пространства ε малого объема, т.е.

$$Q(t) = P(|\hat{\theta}(t) - \theta_0(t)| < \varepsilon) = P(|\Delta\hat{\theta}(t)| < \varepsilon),$$

где: $\theta_0(t)$ и $\Delta\hat{\theta}(t)$ – истинное значение вектора параметров движения ЛА и погрешность оценки этого вектора в момент времени t соответственно.

Показатель точности $Q(t)$ представляет интервальную и гарантированную оценку точности ТИК и учитывает как случайную, так и систематическую составляющие погрешности оценки вектора $\hat{\theta}(t)$. Однако ранее практическое применение такого показателя точности для

проектирования ТИК было затруднено. Это связано с тем, что разработчики сложных технических систем, для испытаний которых применяются ТИК, не обосновывают такую величину, как допустимое значение вероятности попадания вектора $\Delta\hat{\theta}(t)$ в заданную доверительную область требований B , да и форма и размеры этой области, как правило, не задаются. Кроме того, представляет определенную трудность вычисление значения вероятности $P\{\Delta\hat{\theta}(t) \subset B\}$ для доверительных областей требований B , имеющих произвольную форму.

В связи с этим и возникла задача проведения исследования рассматриваемого интервального гарантированного показателя точности ТИК для получения обоснованных ответов на все интересующие вопросы и рассмотрения возможности его широкого практического применения в практике натурных испытаний сложных технических систем.

В статье рассматривается случай, когда оцениваемый вектор $\theta(t)$ параметров движения ЛА для заданного момента времени t траектории его полета имеет нормальное распределение и задается в следующем виде:

$$\theta(t) = [x(t) \ y(t) \ z(t) \ \dot{x}(t) \ \dot{y}(t) \ \dot{z}(t)]^T = [\theta_1(t) \ \theta_2(t)]^T,$$

где: $\theta_1(t) = [x(t) \ y(t) \ z(t)]^T$, $\theta_2(t) = [\dot{x}(t) \ \dot{y}(t) \ \dot{z}(t)]^T$ – вектор координат ЛА и вектор скорости ЛА соответственно.

Известно, что в случае нормального закона распределения случайного вектора оценки параметров движения ЛА $\hat{\theta}(k)$ в качестве показателей точности ТИК, характеризующих случайную составляющую погрешности оценки этого вектора, выступает его ковариационная матрица $K_{\hat{\theta}}(t)$. При этом рассматриваются две ковариационные матрицы $K_{\hat{\theta}_1}(t)$ и $K_{\hat{\theta}_2}(t)$ векторов $\hat{\theta}_1(k)$ и $\hat{\theta}_2(k)$, характеризующие случайную составляющую погрешности оценки вектора координат ЛА и вектора составляющих его скорости соответственно.

Необходимо отметить, что при нормальном законе распределения погрешности оценки параметров движения ЛА, например, вектора координат траектории полета ЛА, поверхность, где наблюдается равная плотность распределения погрешности оценки вектора параметров движения ЛА, представляет собой эллипсоид. В связи с этим представляется правомерным определить в качестве доверительной области B требований, предъявляемых к точности ТИК, эллипсоид с полуосями a , b и c , центр которого находится в точке истинного положения ЛА в момент времени t , а направления осей совпадают с направлениями осей наземной системы координат.

На рисунке 1 изображен в системе координат $OXYZ$ для выбранной точки траектории полета ЛА эллипсоид рассеяния погрешности оценки вектора координат траектории полета ЛА $\hat{\theta}_1 = [\hat{x} \ \hat{y} \ \hat{z}]^T$ с главными осями рассеяния $X_{(эл)}$, $Y_{(эл)}$, $Z_{(эл)}$, которые не совпадают с осями наземной испытательной системы координат $OXYZ$. При этом считается, что летательный аппарат находится в начале системы координат $OXYZ$.

Отрезок прямой линии, соединяющей центр эллипсоида рассеяния погрешности оценки вектора $\hat{\theta}_1$ с началом системы координат $OXYZ$, имеет проекции $\delta_{\hat{x}}$, $\delta_{\hat{y}}$, $\delta_{\hat{z}}$ на оси системы координат $OXYZ$, которые характеризуют систематическую составляющую вектора $\Delta\hat{\theta}_1$ погрешности оценки вектора параметров движения ЛА траекторным измерительным комплексом.

Кроме того, на рисунке показаны проекции $\sigma_{\hat{x}}^{\oplus}$, $\sigma_{\hat{y}}^{\oplus}$, $\sigma_{\hat{z}}^{\oplus}$ полуосей эллипсоида рассеяния на главные оси рассеяния $X_{(эл)}$, $Y_{(эл)}$, $Z_{(эл)}$, которые представляют собой главные среднеквадратические отклонения (СКО) случайных величин $\hat{x}$, $\hat{y}$, $\hat{z}$ в координатах $O_{(эл)}X_{(эл)}Y_{(эл)}Z_{(эл)}$ и характеризуют случайную составляющую вектора $\Delta\hat{\theta}_1$.

Как видно из рисунка, за исключением случая, когда направления главных осей рассеяния $X_{(эл)}$, $Y_{(эл)}$, $Z_{(эл)}$ совпадают в пространстве с направлениями осей наземной системы координат, значения главных СКО случайных величин $\hat{x}$, $\hat{y}$, $\hat{z}$, то есть истинных погрешностей, всегда будут больше значений проекций $\sigma_{\hat{x}}$, $\sigma_{\hat{y}}$, $\sigma_{\hat{z}}$ полуосей эллипсоида рассеяния на оси

наземной системы координат $OXYZ$. Поэтому сравнение точности ТИК с предъявляемыми к нему требованиями путем сопоставления их с проекциями полуосей рассеяния эллипсоида точности на оси наземной системы координат не является правомерным и приводит к заведомому снижению точности проектируемого ТИК.

Для обоснования допустимого значения вероятности попадания вектора $\Delta\hat{\theta}(t)$ в заданную доверительную область требований B , установления оптимальной формы и требуемых размеров этой области проведем исследования с использованием разработанного алгоритма вычисления показателя точности ТИК $Q(t) = P\{\Delta\hat{\theta}(t) \in B\}$.

В предположении, что случайные величины $\hat{x}$, $\hat{y}$ и $\hat{z}$ являются независимыми и имеют нормальный закон распределения в каноническом виде, вероятность события, заключающегося в том, что вершина случайного вектора $\Delta\hat{\theta}_1$ попадает в рассматриваемый эллипсоид требований B , определится следующей формулой:

$$P\{\Delta\hat{\theta}_1 \in B\} = \iiint_B \frac{1}{(\sqrt{2\pi})^3 \sigma_{\hat{x}}^{\oplus} \sigma_{\hat{y}}^{\oplus} \sigma_{\hat{z}}^{\oplus}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{(x-\delta_{\hat{x}})^2}{(\sigma_{\hat{x}}^{\oplus})^2} + \frac{(y-\delta_{\hat{y}})^2}{(\sigma_{\hat{y}}^{\oplus})^2} + \frac{(z-\delta_{\hat{z}})^2}{(\sigma_{\hat{z}}^{\oplus})^2} \right] \right\} dx dy dz,$$

где: $\delta_{\hat{x}}$, $\delta_{\hat{y}}$ и $\delta_{\hat{z}}$ – систематические составляющие погрешностей оценки соответственно случайных величин $\hat{x}, \hat{y}, \hat{z}$;

$\sigma_{\hat{x}}^{\oplus}, \sigma_{\hat{y}}^{\oplus}$ и $\sigma_{\hat{z}}^{\oplus}$ – главные СКО погрешностей соответственно случайных величин $\hat{x}, \hat{y}, \hat{z}$ в координатах $O_{(\text{эл})}X_{(\text{эл})}Y_{(\text{эл})}Z_{(\text{эл})}$.

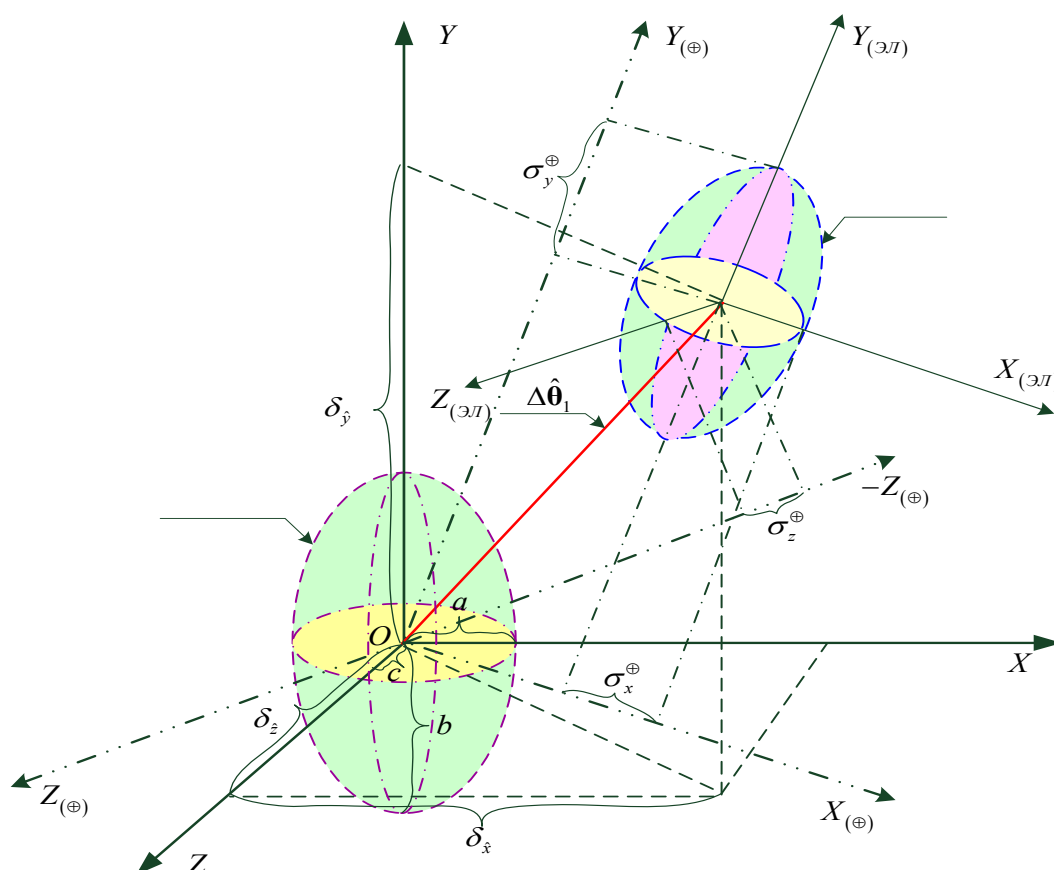


Рисунок 1 – Эллипсоид рассеяния погрешности оценки координат траектории полета ЛА и область требований к точности ТИК

Определение значений главных СКО $\sigma_{\hat{x}}^{\oplus}, \sigma_{\hat{y}}^{\oplus}, \sigma_{\hat{z}}^{\oplus}$ случайных величин $\hat{x}, \hat{y}, \hat{z}$ может быть проведено путем приведения ковариационной матрицы $K_{\hat{\theta}_1}$, полученной по результатам априорной оценки точности ТИК, к ее каноническому виду $K_{\hat{\theta}_1}^{\oplus}$ в соответствии со следующим преобразованием [2]:

$$K_{\hat{\theta}_1}^{\oplus} = \begin{bmatrix} \lambda_{\hat{x}} & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_{\hat{y}} & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_{\hat{z}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_{\hat{\theta}_1}^{(1)} & U_{\hat{\theta}_1}^{(2)} & U_{\hat{\theta}_1}^{(3)} \end{bmatrix}^T \cdot K_{\hat{\theta}_1} \cdot \begin{bmatrix} U_{\hat{\theta}_1}^{(1)} & U_{\hat{\theta}_1}^{(2)} & U_{\hat{\theta}_1}^{(3)} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где: $U_{\hat{\theta}_1}^{(1)}, U_{\hat{\theta}_1}^{(2)}$ и $U_{\hat{\theta}_1}^{(3)}$ – собственные векторы ковариационной матрицы $K_{\hat{\theta}_1}$; $\lambda_{\hat{x}}, \lambda_{\hat{y}}$ и $\lambda_{\hat{z}}$ – собственные значения этой ковариационной матрицы.

Необходимо отметить, что вероятность попадания случайного вектора $\Delta\hat{\theta}_1$ в заданную произвольную область при нормальном законе рассеивания можно определить аналитически лишь в отдельных случаях. В остальных случаях нужно рационально организовать процедуры численного интегрирования плотности вероятности распределения вектора $\hat{\theta}_1(k)$ по заданной области.

При исследовании интервального показателя точности ТИК были использованы процедуры численного интегрирования с помощью программного пакета Maple.

В декартовой системе координат эллипсоид с полуосями a, b и c ограничен слева поверхностью $z = c\sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2}}$, а справа – поверхностью $z = -c\sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2}}$. Проекцией этого эллипсоида на плоскость XOY является эллипс $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$. Следовательно, вычисление значения вероятности $P\{\Delta\hat{\theta}_1 \subset B\}$ сводится к вычислению трехкратного интеграла вида:

$$P\{\Delta\hat{\theta}_1 \subset B\} = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})^3 \sigma_{\hat{x}}^{\oplus} \sigma_{\hat{y}}^{\oplus} \sigma_{\hat{z}}^{\oplus}} \int_{-a}^a \int_{-b\sqrt{1-\frac{x^2}{a^2}}}^{b\sqrt{1-\frac{x^2}{a^2}}} \left\{ \int_{-c\sqrt{1-\frac{x^2}{a^2}-\frac{y^2}{b^2}}}^{c\sqrt{1-\frac{x^2}{a^2}-\frac{y^2}{b^2}}} \exp\left(-\frac{1}{2} \left[\frac{(x-m_x)^2}{(\sigma_x^{\oplus})^2} + \frac{(y-m_y)^2}{(\sigma_y^{\oplus})^2} + \frac{(z-m_z)^2}{(\sigma_z^{\oplus})^2} \right] \right) dz \right\} dy \Bigg| dx.$$

При интегрировании переменная y изменяется от $b\sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}}$ до $-b\sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}}$.

На рисунке 2 приведено семейство зависимостей значения вероятности $P\{\Delta\hat{\theta}_1 \subset B\}$ от величин главных СКО погрешностей оценки координат траектории полета ЛА в предположении, что $\sigma_{\hat{x}}^{\oplus} = \sigma_{\hat{y}}^{\oplus} = \sigma_{\hat{z}}^{\oplus}$ и при отсутствии систематических погрешностей оценки координат ЛА.

Из графиков рисунка 2 видно, что при увеличении значений главных СКО погрешностей оценки координат траектории полета ЛА значение вероятности $P\{\Delta\hat{\theta}_1 \subset B\}$ уменьшается. Кроме того, при одних и тех же значениях $\sigma_{\hat{x}}^{\oplus}, \sigma_{\hat{y}}^{\oplus}, \sigma_{\hat{z}}^{\oplus}$, но с уменьшением размеров a, b и c эллипсоида требований к точности ТИК вероятность $P\{\Delta\hat{\theta}_1 \subset B\}$ имеет меньшее значение.

Результаты исследований показали, что достаточно высокий уровень вероятности $P\{\Delta\hat{\theta}_1 \subset B\} \geq 0,8$ имеет место, когда значения главных СКО погрешностей оценки координат траектории полета ЛА приблизительно в 1,8 раза меньше размера самой малой полуоси эллипсоида требований к точности ТИК.

На рисунке 3 приведена структурная схема предлагаемой усовершенствованной методики проектирования траекторных измерительных комплексов с использованием рассмотренного интервального показателя точности траекторных измерительных комплексов, предназначенных для проведения испытаний перспективных образцов сложных технических комплексов.

Основу предлагаемой методики проектирования траекторных измерительных комплексов составляют программные средства, реализующие частную методику априорной оценки точности ТИК, а также разработанный алгоритм вычисления интервального показателя $Q(t) = P\{\Delta\hat{\theta}(t) \subset B\}$ точности ТИК.

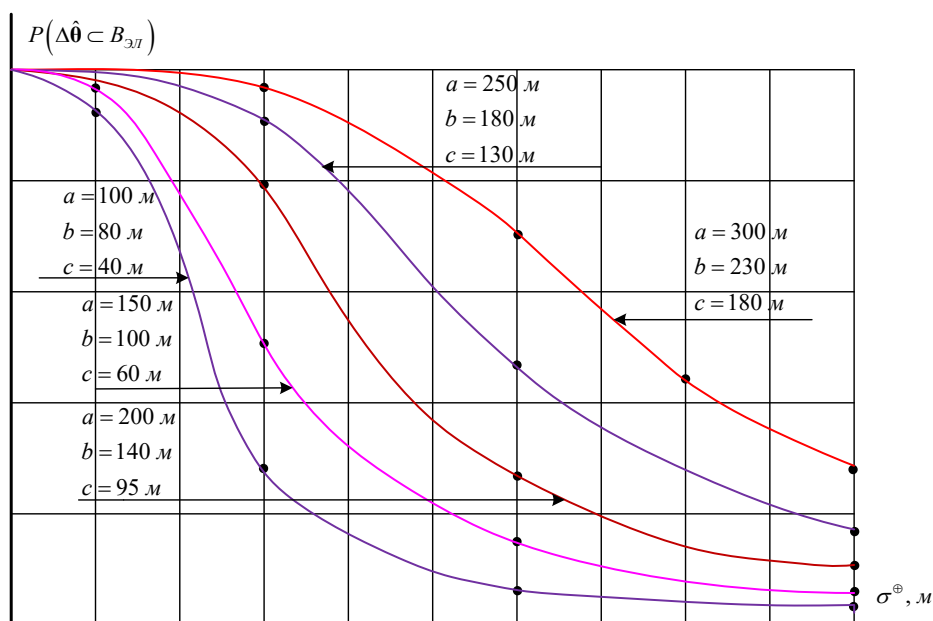


Рисунок 2 – Семейство зависимостей значения вероятности $P\{\Delta\hat{\theta}_1 \subset B\}$ от величин главных СКО погрешностей оценки координат траектории полета ЛА

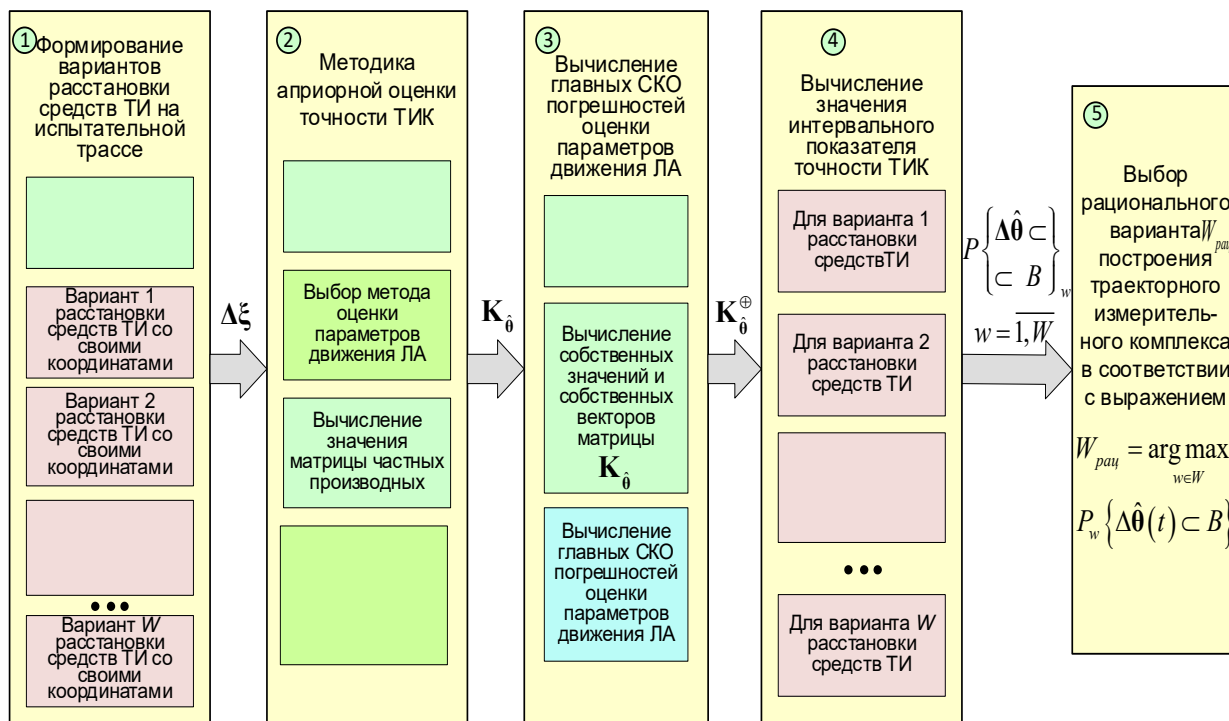


Рисунок 3 – Структура усовершенствованной методики проектирования траекторных измерительных комплексов

Блок 1 структурной схемы предполагает формирование вариантов расстановки средств ТИ на измерительных пунктах, исходя из конфигурации испытательных трасс, типов и технических характеристик применяемых траекторных измерительных средств, а также летно-технических данных испытываемых летательных аппаратов. Процесс формирования вариантов расстановки средств ТИ на измерительных пунктах, как правило, проводится опытными специалистами с использованием экспертного подхода.

В блоке 2 рассматриваемой схемы реализуется частная методика априорной оценки точности проектируемого ТИК, которая позволяет решать задачу получения оценок ковариационной матрицы вектора параметров движения ЛА вдоль траектории его полета с учетом выбранного метода, измерения параметров движения ЛА, вероятностных характеристик погрешностей измерения первичных параметров средствами траекторных измерений, а также с учетом метода совместной статистической обработки первичных измеряемых параметров средствами траекторных измерений.

Рассмотрим основные положения наиболее часто используемой на практике упрощенной методики априорной оценки точности ТИК, исходными данными для которой является следующая информация:

координаты размещаемых средств ТИ на испытательной трассе и их технические характеристики, включающие и вероятностные характеристики точности измерения ими первичных параметров;

параметры планируемых траекторий полета испытываемых летательных аппаратов.

Предположим, что модель измерений средствами ТИ имеет следующий вид:

$$\xi(t) = \xi_{\text{ист}}(t) + \Delta\xi(t),$$

где: $\xi(t)$, $\xi_{\text{ист}}(t)$ – соответственно реальное и истинное значения вектора результатов первичных траекторных измерений средствами ТИ размерностью I на момент времени t ; $\Delta\xi(t)$ – вектор погрешностей измерений, составляющие компоненты которого не коррелированы по времени и имеют параметры $N(0, \sigma_{\xi_i}^2)$.

Так как вектор первичных траекторных измерений $\xi(t)$ в общем случае связан нелинейной зависимостью с вектором оцениваемых параметров движения ЛА $\theta(t)$, то расчет погрешности оценки вектора параметров движения ЛА $\Delta\hat{\theta}(t)$ в предположении, что статистическая обработка траекторной информации проводится, например, с использованием метода наименьших квадратов, ведется по линеаризованной схеме в соответствии со следующим алгоритмом [1; 2]:

$$\Delta\hat{\theta}(t) = [G(t) \cdot P \cdot G^T(t)]^{-1} G(t) \cdot P \cdot \Delta\xi(t),$$

где: $G(t)$ – матрица частных производных измеряемых параметров средствами ТИ по оцениваемым параметрам движения ЛА в конкретной точке траектории;

P – весовая матрица учета приоритетов для первичных траекторных измерений средств ТИ.

Введя обозначение $[G(t) \cdot P \cdot G^T(t)]^{-1} G(t) \cdot P = H(t)$, получим выражение для ковариационной матрицы $K_{\hat{\theta}}(t)$ оцениваемого вектора параметров движения ЛА, которое будет иметь следующий вид:

$$K_{\hat{\theta}}(t) = M[\Delta\hat{\theta}(t) \cdot \Delta\hat{\theta}^T(t)] = M[(H(t) \cdot \Delta\xi(t)) \cdot (H(t) \cdot \Delta\xi(t))^T] = H(t) \cdot K_{\Delta\xi}(t) \cdot H^T(t), \quad (4)$$

где: $K_{\Delta\xi}(t)$ – ковариационная матрица вектора погрешностей первичных траекторных измерений.

Из выражения (4) видно, что погрешность измерения вектора параметров движения ЛА траекторным измерительным комплексом напрямую зависит от значения матрицы частных производных $G(t)$, которая, в свою очередь, определяет значение пространственного геометрического фактора.

В блоке 3 структурной схемы методики проектирования траекторных измерительных комплексов в соответствии с выражением (3) проводится вычисление значений главных СКО погрешностей оценки параметров движения ЛА, которые непосредственно входят в выражение для интервального показателя точности ТИК.

Вычисление значений интервального показателя точности ТИК для рассматриваемых вариантов построения ТИК проводится в блоке 4 рассматриваемой структурной схемы. При этом необходимо учитывать заданные значения требований к точности оценки параметров движения ЛА.

Выбор рационального варианта $W_{\text{рац}}$ построения траекторного измерительного комплекса для конкретной точки траектории полета ЛА проводится в блоке 5 предлагаемой структурной схемы по максимальному значению вероятностного интервального показателя точности в соответствии со следующим выражением:

$$W_{\text{рац}} = \underset{w \in W}{\operatorname{argmax}} P_w \{ \Delta \hat{\theta}(t) \subset B \},$$

где: $P_w \{ \Delta \hat{\theta}(t) \subset B \}$ – значение интервального показателя точности ТИК для w -го варианта построения траекторного измерительного комплекса.

Таким образом, в статье разработана усовершенствованная методика проектирования рациональных структур траекторных измерительных комплексов с использованием интервального показателя точности оценки параметров движения испытываемых ЛА. Приведен алгоритм вычисления значений интервального показателя точности ТИК. Рассмотрены результаты исследования этого интервального показателя точности и даны рекомендации по выбору доверительной области требований к ТИК, а также по порядку сравнения полученных значений точности оценки траекторным измерительным комплексом вектора параметров движения ЛА с предъявляемыми к ТИК требованиями. Кроме того, показана роль пространственного геометрического фактора при оценке точности проектируемых ТИК и возможность использования его для выбора рациональных структур ТИК.

В целом, разработанная методика позволяет повысить точность и достоверность процесса проектирования рациональных структур ТИК, используемых для обеспечения испытаний сложных технических систем.

Список источников

1. Жданюк Б.Ф. Основы статистической обработки траекторных измерений. М.: Советское радио, 1978. 384 с.
2. Буренок В.М., Найденов В.Г., Поляков В.И. Математические методы и модели в теории информационно-измерительных систем. М.: Машиностроение, 2011. 336 с.
3. Сильвестров С.Д., Лазарев В.М., Корниенко А.И., Паншин М.И. Точность измерения параметров движения космических аппаратов радиотехническими методами. М.: Советское радио, 1970. 319 с.
4. Тяпкин В.Н., Гарин Е.Н. Методы определения навигационных параметров подвижных средств с использованием спутниковой навигационной системы ГЛОНАСС. Красноярск: СФУ, 2012. 260 с.
5. Соловьев Ю.А. Системы спутниковой навигации. М.: Эко-Трендз, 2000. 267 с.
6. Шебшаевич В.С., Дмитриев П.П., Иванцевич Н.В. Сетевые спутниковые радионавигационные системы. 2-е изд. М.: Радио и связь, 1993. 408 с.
7. Агаджанов П.А., Дулевич В.Е., Коростелев А.А. Космические траекторные измерения. Радиотехнические методы измерений и математическая обработка данных. М.: Советское радио, 1969. 504 с.

Информация об авторе

В.Г. Найденов – доктор технических наук, старший научный сотрудник.

Научная статья
УДК 629.7.08

Методика оценивания уязвимости стартового комплекса на этапах его функционирования

Владимир Владимирович Козлов, Андрей Валерьевич Лагун,
Артем Дмитриевич Сыров

Аннотация. В работе раскрывается понятие уязвимости стартового комплекса на различных этапах его эксплуатации. Описана разработанная методика оценивания, которая позволяет оценить уязвимость стартового комплекса в процессе выполнения технологического процесса подготовки и пуска ракеты космического назначения на основе вероятностного метода расчета выхода параметров стартового комплекса за допустимые области функционирования при внешнем деструктивном воздействии.

Ключевые слова: уязвимость; стартовый комплекс; технологический процесс

Для цитирования: Козлов В.В., Лагун А.В., Сыров А.Д. Методика оценивания уязвимости стартового комплекса на этапах его функционирования // Вооружение и экономика. 2026. №1(75). С. 38-47.

Original article

A Methodology of the Launch Complex Vulnerability Assessment at Various Operational Stages

Vladimir V. Kozlov, Andrei V. Lagun, Artem D. Syrov

Abstract. This paper explores the concept of launch complex vulnerability at various operational stages. It describes a developed assessment methodology that allows to assess the vulnerability of a launch complex during the technological process of space missile preparation and launching, based on a probabilistic method of launch parameters deviation calculation from acceptable operating ranges under external destructive impact.

Keywords: vulnerability; launch complex; technological process

For citation: Kozlov V.V., Lagun A.V., Syrov A.D. A Methodology of the Launch Complex Vulnerability Assessment at Various Operational Stages. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2026; 75(1): 38-47. (In Russ.).

Введение

Ракетно-космический комплекс (РКК) является одним из важнейших элементов космического комплекса в рамках космической деятельности. Без него невозможно выведение, поддержание и своевременное наращивание орбитальной группировки космических аппаратов¹. РКК занимает обширную по площади территорию и имеет сложную структуру взаимодействия между составными его элементами, выход из строя хотя бы одного из них в результате какого-либо воздействия, в частности, от внешнего деструктивного воздействия, может привести к срыву выполнения задачи по подготовке и запуске КА. Наиболее разветвленной, сложной, дорогостоящей и определяющей большинство характеристик подсистемой РКК, является технологическое оборудование стартового комплекса. В процессе подготовки ракеты космического назначения (РКН) на стартовом комплексе участвует целый ряд оборудования, ограниченный согласно ГОСТ Р 51282-99² определенным перечнем из четырнадцати агрегатов и систем, а также больше чем двадцати зданий и сооружений.

На стартовом комплексе во время работы с РКН, выполняются мероприятия технологического процесса подготовки и пуска РКН. Эти мероприятия представляют собой последовательность организационных и технических операций, выполняемых как с элементами РКН, так и в целом с РКН на техническом (ТК) и стартовом комплексе (СК). Правильность и безопасность выполняемых операций технологического процесса на СК с РКН обеспечивается большим спектром мероприятий, проводимых с РКН и обеспечивающих условия для выполнения этих задач.

¹ Козлов В.В., Кукушкин И.О., Лагун А.В., Марченко М.А. Наземное технологическое оборудование: учебник. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2022. 534 с.

² ГОСТ Р 51282-99 Оборудование технологическое стартовых и технических комплексов ракетно-космических комплексов Нормы проектирования и испытаний. М.: Издательство стандартов, 1999. 22 с.



Рисунок 1 – Размещение оборудования стартового комплекса

Процессы, происходящие на СК, непосредственно связаны с опасными последствиями от аварийных ситуаций и с риском как для здоровья и жизни людей, так и срывом выполнения задачи по запуску космического аппарата.

Исходя из этого необходимо рассмотреть наиболее уязвимые места стартового комплекса в процессе его функционирования, а также оценить риски и возможный ущерб в случае внешнего деструктивного воздействия во время подготовки РКН к пуску. *Уязвимость* – параметр, характеризующий возможность нанесения описываемой системе повреждений любой природы теми или иными внешними средствами или факторами.

Математическая модель уязвимости стартового комплекса

Технологический процесс подготовки и пуска РКН индивидуален для каждого конкретного варианта его выполнения. В то же время при описании операций технологического процесса подготовки РКН на СК можно выделить ряд стандартных этапов подготовки РКН к пуску (рисунок 2).

Поэтому технологический процесс подготовки к пуску РКН на СК условно можно разделить на следующие основные этапы выполнения работ с РКН, последовательно следующие один за другим:

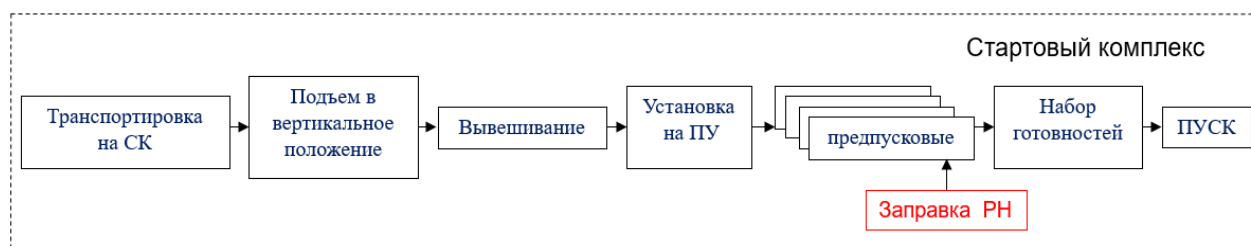


Рисунок 2 – Схема обобщенного технологического процесса подготовки РКН на СК

1. Выполнение мероприятий, связанных с транспортировкой РКН с ТК на СК. В этот момент РКН размещена на транспортно-установочном оборудовании (ТУО) в горизонтальном положении. Космический аппарат (КА) и разгонный блок (РБ), входящие в состав РКН, находятся в заправленном состоянии. Одновременно с этим на СК идет подготовка технологического оборудования к приему РКН.

2. По прибытию РКН на СК осуществляется процесс перевода ее в вертикальное положение средствами ТУО и установки на пусковое оборудование, затем следует подвод средств обслуживания и подстыковка коммуникаций, необходимых для дальнейшего обслуживания РКН.

3. После установки РКН на пусковом столе осуществляется длительный процесс обслуживания, проверки состояния ее элементов и подготовки к пуску. Данный процесс завершается заправкой РКН необходимым количеством компонентов ракетных топлив (КРТ). Для данного этапа характерно наличие на СК большого количества технологического оборудования, участвующего в подготовке РКН, и длительность протекания этапа подготовки РКН (рисунок 3).

4. Завершающими операциями, регламентирующими процесс подготовки РКН к пуску, является набор готовностей к пуску.

В процессе подготовки РКН к пуску на СК она находится на пусковом столе в вертикальном положении, постоянно взаимодействуя с находящимися рядом технологическим оборудованием СК.

Исходя из характеристики этапов подготовки РКН к пуску для каждого условного этапа можно определить следующие параметры:

- состояния СК как точка в многомерном пространстве его технических параметров;
- деструктивное воздействие как внешнего возмущающего на СК фактора;
- уязвимость как вероятность перехода СК в недопустимое состояние при внешнем деструктивном воздействии.

Пространство состояний параметров СК $\Omega \subset R^n$, где каждое состояние соответствует критическому параметру (например, целостности оборудования, давления в магистралях, наличие топлива), всего n состояний.

Пусть технологический процесс подготовки к пуску на СК состоит из m этапов, каждый этап $i \in \{0, 1, \dots, m - 1\}$ характеризуется:

- вектором целевого состояния,
- допустимыми отклонениями.

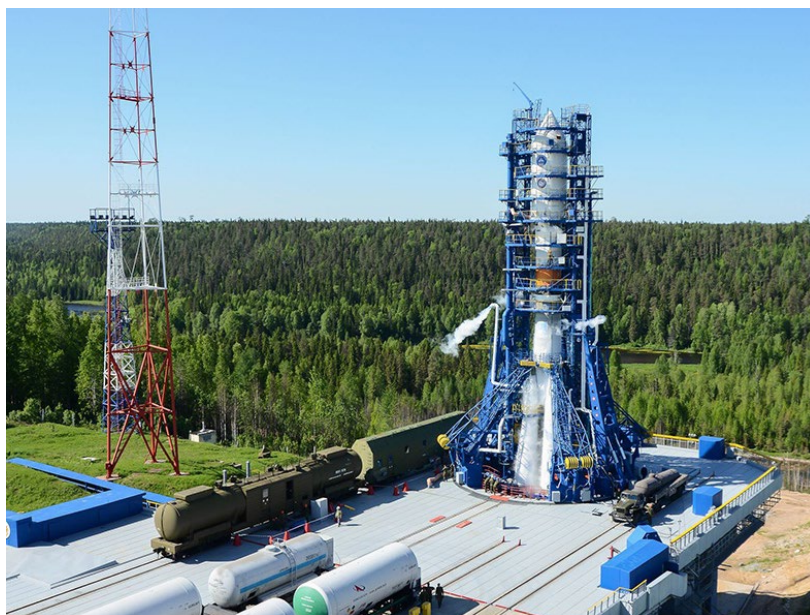


Рисунок 3 – Этап заправки РКН

Для стартового комплекса введем пространство состояний:

$$\Omega \subset R^3 \times [0, T] \times \{0, 1\}^2.$$

В выражении описаны физические координаты $(x_i, y_i, z_i) \in R$, плановое время выполнения i -го этапа $t \in [0, T]$, также учтен вектор бинарных флагов S_i , таких как наличие РКН и наличие топлива на СК.

Номинальное состояние для i -го этапа: $C_j \in \Omega$ – состояние, при котором этап успешно завершается. При этом у каждого состояния есть допустимая область $\varepsilon_i \in \Omega$ – это множество состояний, в которых система может продолжать функционировать без срыва этапа, как правило, эту область можно обозначить через окружность радиусом r_j вокруг C_j , где j – определенное состояние на i -м этапе.

Вводя понятие деструктивного воздействия как вектора $\omega \in R^m$, который характеризует интенсивность воздействия (например, мощность взрыва, место взрыва, если говорить о заправленной РКН, количество и качество деструктивного воздействия, его время воздействия), будем считать, что ω – случайный вектор с известным распределением.

Исходя из этого, уязвимость этапа можно определить как условную вероятность того, что под воздействием ω этап выйдет из допустимых областей:

$$Y = P(C_j \notin \varepsilon_j | \omega),$$

где: C_j характеризует состояние системы после воздействия на этапе.

Согласно [1] уязвимость технической системы можно определить как условную вероятность отказа системы (выхода за пределы допустимой области состояний) при условии, что произошло деструктивное воздействие:

$$Y = P[\|C_j - C_k\| > \varepsilon_0 | D],$$

где: C_k – выполнение целевой задачи (успешное завершение этапа);

C_j – фактическое состояние после деструктивного воздействия;

D – деструктивное воздействие;

ε_0 – допустимая область отклонений.

Для каждого этапа подготовки РКН на СК можно определить свое состояние, на котором будут отображаться степень повреждения и наличие последствий.

В случае множественных сценариев отказов уязвимость можно описать матрицей вероятностных переходов в различные конечные состояния при различных деструктивных воздействиях.

Для каждого этапа определим D_i – деструктивное воздействие на любом этапе. Тогда O_i – отказ на любом этапе (взрыв, разрушение ракеты или оборудования, срыв пуска).

При этом отказ может быть разной степени тяжести. Однако для упрощения в работе будет рассмотрен бинарный случай: отказ есть или нет.

Определим уязвимость как вероятность возникновения отказа при условии возникновения деструктивного события:

$$Y_i = P(O_i | D_i).$$

При этом СК переходит в состояние отказа, если хотя бы один из критериев отказа (характеризующий предельное состояние) превышает критическое значение:

$$\|C_j - C_0\| > \varepsilon_0 = \bigcup_{k=1}^4 \{g_k > g_k^{\text{крит}}\},$$

где: g_1 – механическая целостность, $g_1 = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_T}$ – отношение максимального напряжения к пределу текучести материала,

g_2 – тепловая устойчивость, $g_2 = \frac{T_{max}}{T_{крит}}$ – отношение максимальной температуры к критической,

g_3 – временные отклонения, $g_3 = \frac{\Delta t}{\Delta t_{max}}$ – отношение задержки к допустимому времени,

g_4 – функциональные отклонения, $g_4 = 1 - \prod_j (1 - \delta f_j)$ – интегральный показатель функциональных нарушений.

Вероятность деструктивного воздействия на различных этапах может быть связано с длительностью этапа и интенсивностью самого деструктивного воздействия.

Пусть λ_i – интенсивность деструктивного воздействия (среднее количество воздействия в единицу времени) на любом этапе подготовки к пуску:

$$\lambda(t) = \lambda_0 e^{\left(-\frac{(t-t_y)^2}{2\sigma^2}\right)},$$

где: λ_0 – максимальная интенсивность деструктивного воздействия;

t_y – время максимальной уязвимости «окно уязвимости», например, этап заправки РКН компонентами ракетного топлива);

σ – параметр, определяющий ширину «окна уязвимости».

Тогда вероятность хотя бы одного воздействия на этапе длительностью T_i будет выражаться³:

$$P(D_i) = 1 - e^{(-\lambda_i T_i)}.$$

Если деструктивное воздействие все же произошло, то вероятность отказа будет зависеть от следующих факторов:

- количества деструктивного воздействия N_i ;
- вероятности успешного подавления одного деструктивного воздействия P_{Π} ;
- уязвимости элементов стартового комплекса к деструктивному воздействию.

При этом учтем, что каждый комплекс обладает некой системой защиты от внешних деструктивных факторов⁴.

Тогда вероятность того, что хотя бы одно деструктивное воздействие пройдет через систему защиты равна (вероятность преодоления систем защиты):

$$P_{\Pi p} = 1 - P_{\Pi}^{N_i}.$$

Следует также учесть, что при преодолении систем защиты отказ может не произойти, если воздействие не нанесло критическое повреждение.

В этом случае следует ввести вероятность критического повреждения при успешном деструктивном воздействии – $P_{кр}$.

Тогда:

$$P(O_i|D_i, N_i) = 1 - (1 - P_{кр})^K,$$

где: K – количество деструктивного воздействия, которое смогло преодолеть системы защиты, выражается через биномиальное распределение $K \sim Bi(N_i, 1 - P_{\Pi})$.

Тогда полная вероятность отказа при внешнем деструктивном воздействии выражается как:

$$P(O_i|D_i, N_i) = \sum_{N=1}^{\infty} P(N) \sum_{K=1}^N P(K) \left(1 - (1 - P_{кр})^K\right).$$

³ Вентцель Е.С. Теория вероятностей: учебник. 11-е изд., стер. М.: КноРус, 2010. 658 с

⁴ Казахов Б.Д., Козлов В.В., Лагун А.В. Обоснование показателей для оценки результативности функционирования системы защиты ракетно-космического комплекса в условиях внешнего деструктивного воздействия // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2020. №675. С. 36-44.

На этапах, связанных с заправкой РКН компонентами ракетного топлива, даже малейшее деструктивное воздействие, которое ведет к повреждению, может привести к взрыву. При этом вероятность катастрофических последствий будет зависеть от места взрыва, качества и количества деструктивного воздействия (рисунок 3).

Используя формулу М.Садовского, можно определить избыточное давление по фронту ударной волны на расстоянии от места взрыва [2]:

$$\Delta P_{\phi} = 0,082 \frac{\sqrt[3]{q}}{R} + 0,265 \frac{\sqrt[3]{q^2}}{R^2} + 0,685 \frac{q}{R^3}.$$

Основным показателем интенсивности действия воздушной ударной волны является давление – ΔP_{ϕ} в ее фронте. Оно зависит от тротилового эквивалента взрывающегося заряда q и уменьшается при удалении от эпицентра взрыва примерно пропорционально третьей степени расстояния R .

У каждого объекта и технологического оборудования стартового комплекса есть предельно допустимое значение нагрузки (давления), которое оно может выдержать до полного разрушения.

Значения таких давлений и степень разрушения для некоторых объектов (материалов) представлены в таблице 1.

В таком случае, используя данные таблицы 1, можно оценить вероятность критического повреждения от расстояния R – радиуса распространения ударной волны:

$$P(R) = \begin{cases} 1, & \text{если } \Delta P_{\phi} \geq \Delta P_{\text{разр}} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases},$$

где: $\Delta P_{\text{разр}}$ – предельно допустимая нагрузка (давление) на объект, которую он может выдержать до полного разрушения.

Таблица 1 – Степени разрушения зданий от избыточного давления при взрывах взрывчатых веществ

Типы зданий	Степени разрушения и избыточные давления, кПа			
	слабые	средние	сильные	полные
Кирпичные и каменные:				
малоэтажные	8–20	20–35	35–50	50–70
многоэтажные	8–15	15–30	30–45	45–60
Железобетонные крупнопанельные:				
малоэтажные	10–30	30–45	45–70	70–90
многоэтажные	8–25	25–40	40–60	60–80
Железобетонные монолитные:				
многоэтажные	25–50	50–115	115–180	180–250
повышенной этажности	25 – 45	45 – 105	105–170	170–215
Железобетонные крупнопанельные с железобетонным и металлическим каркасом и крановым оборудованием грузоподъемностью, т:				
до 50	5–30	30–45	45–75	75–120
от 50 до 100	15–45	45–60	60–90	90–135
Здания со стенами типа «Сэндвич» и крановым оборудованием грузоподъемностью до 20 т	10–30	30–50	50–65	65–105
Складские помещения с металлическим каркасом и стенами из листового металла	5–10	10–20	20–35	35–45

В общем случае, как уже упоминалась выше, описать уязвимость СК можно матрицей вероятностных переходов в различные конечные состояния при различных деструктивных воздействиях.

Касаемо стартового комплекса, можно выделить деструктивное воздействие на следующие этапы: транспортировка, установка РКН, подвод средств обслуживания, заправка и предпусковой этап подготовки РКН к пуску [3].

Конечное состояние этапов также можно разделить на следующие сценарии (рисунок 4):

C_K – успешное завершение этапа (без последствий);

C_1 – частичное повреждение (срыв технологического графика подготовки РКН, ремонт);

C_2 – разрушение РКН, СК без взрыва (РКН не заправленная);

C_3 – полное разрушение РКН, СК (взрыв заправленной ракеты).

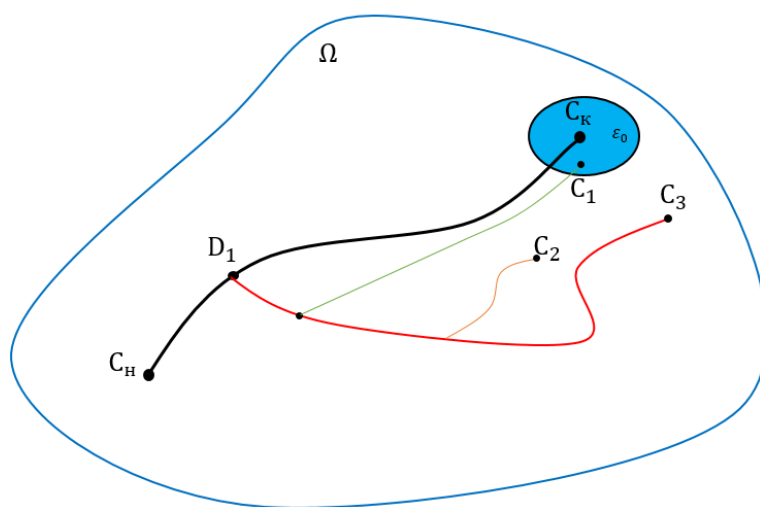


Рисунок 4 – Развитие сценария состояния СК после деструктивного воздействия

Обобщенная матрица уязвимости для всех этапов и исходов будет иметь вид:

$$Y = \begin{bmatrix} Y_{00} & Y_{01} & Y_{02} & Y_{03} \\ Y_{10} & Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Y_{50} & Y_{51} & Y_{52} & Y_{53} \end{bmatrix}.$$

В данной матрице строки соответствуют этапам:

- 0-я строка характеризует бездействие, отсутствие работ,

- 1-5 строки характеризует этапы транспортировки, установки, подвода средств обслуживания, заправки и предпусковые работы соответственно.

Столбцы соответствуют конечным состояниям ($C_K - C_3$).

Элемент $Y_{ij} = P(C_j|D_i)$, где: D_i – тип деструктивного воздействия на i -ом этапе, C_j – конечное состояние этапа, например, частичное разрушение, полное разрушение, срыв пуска, то есть вероятность перехода начального состояния на этапе i в состояние j .

Основываясь на предложенном подходе, можно оценить условные переходы в эти состояния при деструктивном воздействии.

При этом также можно рассчитать общий риск (ожидаемый ущерб), который будет вычисляться как [4; 5]:

$$Ri = \sum_i P(D_i) \sum_j Y_{ij} U_j,$$

где: U_j – ущерб от состояния C_j .

Алгоритм расчета уязвимости стартового комплекса на этапах функционирования

Расчет уязвимости СК проводим согласно алгоритму, изображенному на рисунке 5. Расчет уязвимости проводится для различных этапов функционирования СК при подготовке РКН к пуску.

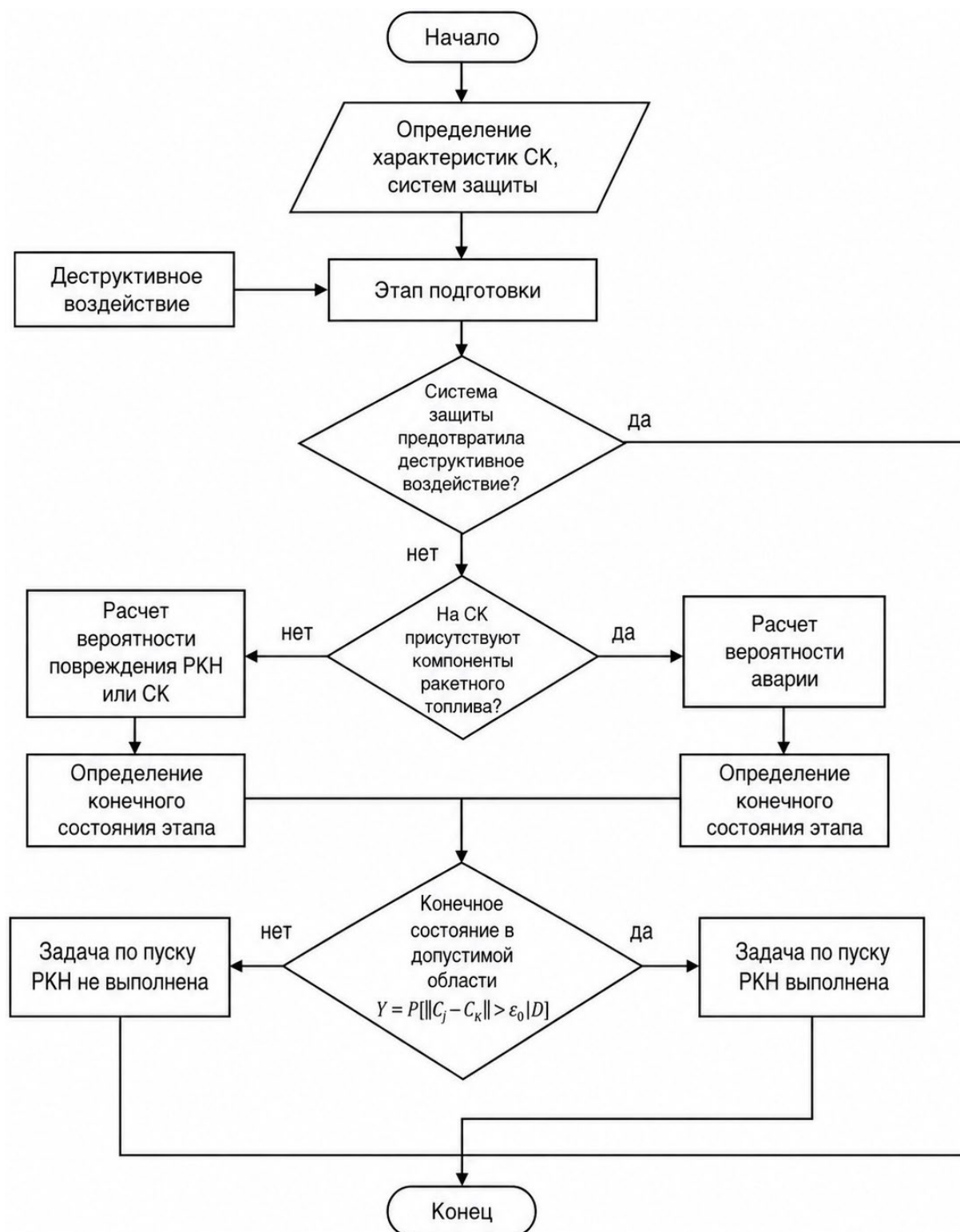


Рисунок 5 – Алгоритм расчета уязвимости стартового комплекса на этапах функционирования

Для этапов, где проводятся работы с КРТ:

1. Задаем мощность деструктивного воздействия через тротиловый эквивалент q (кг).
2. Определяем минимальное расстояние $L_{\text{без}}$, при котором $\Delta P = \Delta P_{\text{разр}}$.
3. Определяем площадь критической зоны, она же безопасная зона: $S_{\text{без}} = \pi L_{\text{без}}^2$.
4. Определяем площадь зоны деструктивного воздействия $S_{\text{СК}}$ (территория стартового комплекса).
5. Рассчитываем вероятность того, что деструктивное воздействие попадет в критическую зону: $P_{\text{без1}} = \frac{S_{\text{без}}}{S_{\text{СК}}}$ (если равномерное распределение).
6. Если допущен прорыв K деструктивного воздействия из N , то вероятность хотя бы одного попадания в критическую зону:

$$P_{\text{ц}} = 1 - (1 - P_{\text{без1}})^K.$$

7. Рассчитываем вероятность аварии:

$$P(C_3|D, N) = P_{\text{к}}.$$

Для этапов без наличия топлива (транспортировка, установка, подвод средств) критическое состояние будет оцениваться через прямое деструктивное воздействие на ракету или ключевое оборудование.

Тогда алгоритм расчета будет выглядеть следующим образом:

1. Определяем уязвимую площадь ракеты/оборудования S_0 .
2. Определяем площадь зоны деструктивного воздействия $S_{\text{СК}}$ (территория стартового комплекса).
3. Рассчитываем вероятность поражения при деструктивном воздействии: $P_{\text{без2}} = \frac{S_0}{S_{\text{СК}}}$.
4. Если допущен прорыв K деструктивного воздействия из N :

$$P(O_j|D_i, N_i) = 1 - (1 - P_{\text{без2}})^K.$$

Также для каждого этапа определяются:

1. Длительность этапа T_i .
 2. Параметры деструктивного воздействия:
 - количество деструктивного воздействия N_i подчинено пуассоновскому распределению;
 - мощность q_i ;
 - интенсивность деструктивного воздействия λ_i .
 3. Параметры защиты:
 - вероятность подавления одного деструктивного воздействия $P_{\text{п}}$.
 4. Параметры стартового комплекса:
 - для этапов без топлива: уязвимая площадь S_0 и общая площадь $S_{\text{СК}}$;
 - для этапов с топливом: критическое избыточное давление $\Delta P_{\text{разр}}$ и радиус распространения ударной волны R , общая площадь $S_{\text{СК}}$, критическое расстояние $L_{\text{без}}$ и критическая площадь $S_{\text{без}} = \pi L_{\text{без}}^2$.
- Условная вероятность отказа при деструктивном воздействии:
- для этапа без топлива:

$$P(O_j|D_i) = \sum_{n=1}^{\infty} P(N_i) \sum_{k=1}^n \binom{n}{k} (1 - P_{\text{п}})^k P_{\text{п}}^{n-k} \left[1 - \left(1 - \frac{S_0}{S_{\text{СК}}} \right)^k \right],$$

- для этапов с топливом (рассматривается только катастрофическое состояние):

$$P(O_j|D_i) = \sum_{n=1}^{\infty} P(N_i) \sum_{k=1}^n \binom{n}{k} (1 - P_{\text{п}})^k P_{\text{п}}^{n-k} \left[1 - \left(1 - \frac{S_{\text{без}}}{S_{\text{СК}}} \right)^k \right].$$

Заключение

Предложенная методика основана на определении уязвимости как условной вероятности отказа при деструктивном воздействии, методика учитывает случайное количество деструктивного воздействия, вероятность нанесения критического повреждения СК.

Для этапа подготовки РКН, где присутствуют работы с КРТ, используется физическая модель распространения ударной волны для определения критической зоны поражения от возможной аварийной ситуации.

Применение данного математического аппарата позволит сделать анализ и провести оценивание нанесенного ущерба СК и его технологическому оборудованию, а также вероятности выполнения задачи по осуществлению пуска РКН.

Список источников

1. Резников Д.О., Махутов Н.А. Оценка уязвимости технических систем и ее место в процедуре анализа риска // Проблемы анализа риска. 2008. Т.5. №3. С. 72-85.
2. Технические основы эффективности ракетных комплексов: монография / Под ред. Е.Б. Волкова. М.: Машиностроение, 1990. 256 с.
3. Казахов Б.Д., Козлов В.В., Лагун А.В. Методика оценивания уровня влияния внешнего деструктивного фактора на безопасность эксплуатации сложного группового объекта // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2021. №678. С. 250-262.
4. Краснов О.В. Методы и модели исследования безопасности эксплуатации стартовых комплексов. СПб.: ВКУ, 2000. 130 с.
5. Смирнов В.И. Методология обеспечения безопасности стартовых комплексов при их проектировании: монография. М.: МАИ, 2003. 140 с.

Информация об авторах

- В.В. Козлов – доктор технических наук, профессор.
А.В. Лагун – кандидат технических наук, доцент, SPIN 2473-4540.
А.Д. Сыров – SPIN 5469-2477.

Научная статья
УДК 629.7.05

Методика отбора программных мероприятий по развитию навигационных технологий для вооружения, военной и специальной техники

Павел Сергеевич Воронцов

Аннотация. Предложена методика формирования предложений по отбору приоритетных НИОКР по развитию критических навигационных технологий на основе системы критериев, применяемых для оценки предложений по развитию критических военных технологий, адаптированных к условиям рассматриваемой предметной области. Приведен пример, показывающий работоспособность методики. Дальнейшие направления совершенствования методики связаны с её отработкой на конкретных предложениях предприятий оборонно-промышленного комплекса, научно-исследовательских организаций Минобороны России и заказывающих организаций.

Ключевые слова: базовые и критические навигационные технологии; программные мероприятия; методика отбора

Для цитирования: Воронцов П.С. Методика отбора программных мероприятий по развитию навигационных технологий для вооружения, военной и специальной техники // Вооружение и экономика. 2026. №1(75). С. 48-57.

Original article

Program Procedure Selection for Navigation Technologies Development of Weapons, Military Equipment and Special Equipment

Pavel S. Vorontsov

Abstract. The article proposes a methodology of proposals creating for high-priority R&D projects selection of the critical navigation technologies development based on a set of criteria used to proposals evaluation for the critical military technologies that are applied to the specific conditions of the subject area under consideration. An example is provided to demonstrate the methodology efficiency. Further methodology improvements get involved with specific proposals adjustments of the military-industrial complex enterprises, research organizations of the Ministry of Defense of the Russian Federation, and ordering organizations.

Keywords: basic and critical navigation technologies; program activities; selection methods

For citation: Vorontsov P.S. Program Procedure Selection for Navigation Technologies Development of Weapons, Military Equipment and Special Equipment. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2026; 75(1): 48-57. (In Russ.).

Навигационные технологии в значительной степени определяют основные тактико-технические характеристики различных средств вооружения, пилотируемой и беспилотной авиации, наземных комплексов и подводных лодок, образцов высокоточного оружия, робототехнических комплексов, автономных необитаемых подводных аппаратов, безэкипажных катеров и, следовательно, эффективность их боевого применения.

Формирование программных мероприятий по развитию навигационных технологий является важной и актуальной задачей. Обоснованию формирования приоритетных направлений развития военных технологий¹ посвящено большое количество публикаций, например [1-4].

Подобно тому, как в каждой базовой военной технологии выделяют критические технологии [5], таким же образом в базовых навигационных технологиях выделяют критические навигационные технологии [6].

Под базовой навигационной технологией (БНТ) здесь понимается совокупность знаний о методах (способах) решения задач навигационного обеспечения применения вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ), направленных на повышение

¹ Панков С.Е. Роль военных технологий в развитии системы вооружения Вооруженных Сил Российской Федерации // Федеральный справочник. Оборонно-промышленный комплекс России. Т.10. М.: Центр стратегических программ, 2014. С. 441-446.

эффективности решения военно-технических задач ВВСТ и технических средств в данной области, связанных сдвижением по произвольным и установленным маршрутам образцов ВВСТ, разведкой, целеуказанием и другими задачами.

В [6] приведено следующее определение критической навигационной технологии. Критическая навигационная технология (КНТ) – это технология, обеспечивающая решение принципиально новых навигационных задач, существенный прирост тактико-технических характеристик систем навигационного обеспечения ВВСТ или значительное снижение затрат на изготовление и эксплуатацию навигационных систем, средств и комплексов.

Изменение характеристик и свойств систем навигационного обеспечения ВВСТ следует рассматривать как проявление эволюционно-технологического подхода. Под эволюционно-технологическим подходом в развитии ВВСТ понимается методология создания и приобретения перспективных ВВСТ, основанная на постепенном многошаговом процессе повышения уровня знаний в определенных научно-технологических областях и предназначенная для обеспечения достоверности прогнозируемого облика Вооруженных Сил (ВС) РФ, предсказуемости и стабильности программ создания образцов ВВСТ, а также снижения риска при их реализации. Идея, лежащая в основе эволюционно-технологического подхода к созданию вооружения, военной и специальной техники, состоит в том, что образец или систему ВВСТ следует разрабатывать по принципу приращений так, чтобы разработчик мог использовать данные и знания, полученные при разработке более ранних её версий [7].

В области навигационных технологий в соответствии с закономерностями эволюционно-технологического подхода [8] происходят серьезные изменения. В настоящее время в качестве базовых навигационных технологий предложено выделить следующие [6]:

- 1) технология «Инерциальные датчики, чувствительные элементы и инерциальные навигационные системы на их основе»;
- 2) технология «Интегрированные навигационные системы и комплексы»;
- 3) технология «Навигационные системы на основе геофизических и искусственных навигационных полей».

Критических навигационных технологий значительно больше. Структурно перечень базовых и критических навигационных технологий, предлагаемый авторами [6], представлен в таблице 1.

Указанный перечень не может претендовать на полноту, он постоянно расширяется, добавляются «зарождающиеся» технологии и технологии, получаемые комбинированием уже существующих. Разработчики, занятые в области навигационных систем, средств и комплексов, могут использовать все возможные комбинации технологий из этого перечня.

В настоящее время становится актуальной разработка методики формирования рационального перечня мероприятий по развитию навигационных технологий образцов ВВСТ, поскольку она обусловлена необходимостью в формализованной оценке и отборе предложений с целью их последующей реализации в рамках (ходе) научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

Задача оценки предложений по развитию навигационных технологий формулируется для заданного множества критических навигационных технологий следующим образом: по результатам оценки исходной совокупности предложений на основе заданного набора критериев определить перечень наиболее важных предложений по развитию навигационных технологий, удовлетворяющих приоритетам научно-технического развития системы вооружения ВС РФ. Для проведения оценки предложений по развитию навигационных технологий решается задача многокритериальной коллективной оценки поступивших предложений.

Цель методики заключается в оценке важности предложений и выработке рекомендаций по их отбору.

Методика обеспечивает решение задачи выбора наиболее актуальных с точки зрения военно-технической эффективности предложений в части развития навигационных технологий для образцов ВВСТ.

Таблица 1 – Базовые и критические навигационные технологии

№ БНТ	Базовые навигационные технологии ВВСТ	№ КНТ	Критические навигационные технологии ВВСТ
1	Инерциальные датчики, чувствительные элементы и инерциальные навигационные системы на их основе	1.1	Инерциальные навигационные системы на лазерных гироскопах
		1.2	Инерциальные навигационные системы на волоконно-оптических гироскопах
		1.3	Инерциальные навигационные системы на твердотельных волновых гироскопах
		1.4	Инерциальные навигационные системы на динамически настраиваемых гироскопах
		1.5	Инерциальные навигационные системы на электростатических гироскопах
		1.6	Инерциальные навигационные системы на микроэлектромеханических гироскопах
		1.7	Инерциальные навигационные системы на навигационных чувствительных элементах, основанных на новых физических принципах
2	Интегрированные навигационные системы и комплексы	...	...
		2.1	Инерциально-спутниковые навигационные системы
		2.2	Астро-инерциально-спутниковые навигационные системы
		2.3	Радионавигационно-инерциальные системы
		2.4	Радиолокационно-инерциальные навигационные системы
		2.5	Инерциальные навигационные системы, интегрированные с измерителями аэрометрических параметров
		2.6	Инерциальные навигационные системы, интегрированные с параметрами движения объектов в водной среде
3	Навигационные системы на основе геофизических и искусственных навигационных полей	...	...
		3.1	Рельефометрические корреляционно-экстремальные навигационные системы
		3.2	Гравиметрические корреляционно-экстремальные навигационные системы
		3.3	Магнитометрические корреляционно-экстремальные навигационные системы
		3.4	Корреляционно-экстремальные навигационные системы, основанные на оптическом контрасте земной поверхности
		3.5	Интегрированные радионавигационные системы на основе наземных псевдоспутников
		3.6	Интегрированные гидроакустические навигационные системы на основе надводных и подводных буев
		3.7	Корреляционно-экстремальные навигационные системы, основанные на радиолокационном контрасте земной поверхности
		...	...

Исходными данными для проведения оценки являются:

- предложения (тематические карточки и справки-обоснования на новые НИОКР по развитию навигационных технологий), поступившие от НИО Минобороны России, организаций ОПК, РАН и высшей школы;
- перечень базовых и критических военных навигационных технологий;
- основные направления развития вооружения, военной и специальной техники на 15-летний период;
- тактико-технические требования к ВВСТ;
- система критериев и вербально-числовые шкалы оценки предложений.

Обобщенный алгоритм оценки предложений по развитию навигационных технологий основывается на многокритериальном ранжировании предложений на основе частных оценок (рисунок 1).

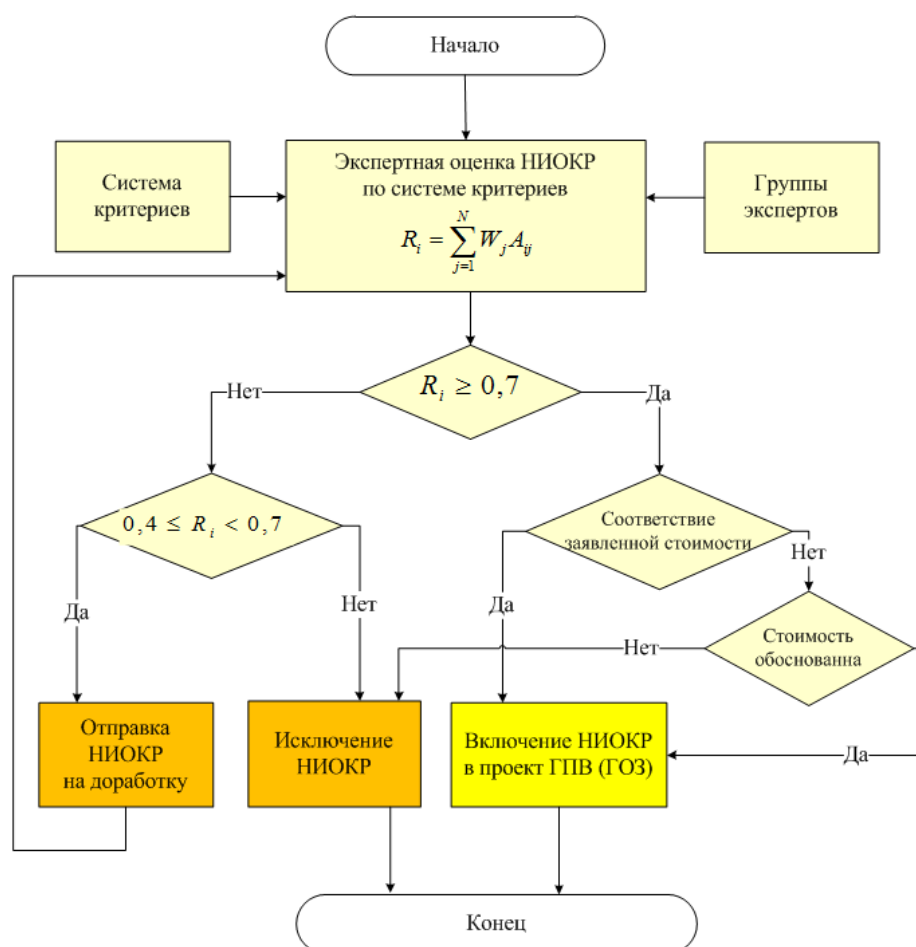


Рисунок 1 – Алгоритм оценки предложений по развитию навигационных технологий

По результатам анализа литературы по вопросам программно-целевого планирования развития базовых военных технологий [5], действующих нормативных правовых документов, положительного опыта планирования развития научно-технического задела для перспективного ВВСТ разработана система критериев для оценки предложений по развитию навигационных технологий, которая приведена в таблице 2.

Ранжирование предложений осуществляется по интегральным индексам, полученным с использованием частных оценок по отдельным критериям. Предложения с наивысшими значениями интегральных индексов рассматриваются в качестве первоочередных кандидатов.

Таблица 2 – Система критериев для оценки предложений по развитию навигационных технологий

№ п/п	Показатель оценки предложения	Весовой коэффициент	Вербальное описание оценок	Вербально-числовая шкала
1	Соответствие тематики работы перечню базовых и критических военных навигационных технологий (ПБКВНТ)	0,15	перекрывает несколько позиций ПБКВНТ	[0,7, 1,0]
			перекрывает одну позицию ПБКВНТ	[0,4, 0,7)
			не соответствует ПБКВНТ	[0, 0,4)
2	Соответствие тематики работы ОНР ВВСТ в части навигационного обеспечения	0,1	полное соответствие	[0,7, 1,0]
			частичное соответствие	[0,4, 0,7)
			не соответствует	[0, 0,4)
3	Влияние результатов работы на ТТХ образцов ВВСТ в части навигационного обеспечения	0,26	ТТХ образцов ВВСТ в части навигационного обеспечения повышаются на порядок	[0,7, 1,0]
			ТТХ образцов ВВСТ в части навигационного обеспечения повышаются в несколько раз	[0,4, 0,7)
			ТТХ образцов ВВСТ в части навигационного обеспечения повышаются незначительно	[0, 0,4)
4	Круг потенциальных потребителей результатов работы	0,08	все виды ВС РФ и другие силовые ведомства	[0,7, 1,0]
			несколько видов ВС РФ (родов войск)	[0,4, 0,7)
			один вид ВС РФ (род войск)	[0, 0,4)
5	Ожидаемые сроки реализации	0,07	реализация результатов работы возможна в течение 1-2 лет после ее завершения	[0,7, 1,0]
			реализация результатов работы возможна в течение 3-5 лет после ее завершения	[0,4, 0,7)
			реализация результатов работы возможна не раньше, чем через 5 лет после ее завершения	[0, 0,4)
6	Дублирование исследований и результатов	0,08	не дублирует ранее проведенные исследования	[0,7, 1,0]
			частично дублирует ранее проведенные исследования	[0,4, 0,7)
			дублирует ранее проведенные исследования	[0, 0,4)
7	Потребность в результатах работы	0,08	результаты могут быть использованы в ходе выполнения двух и более НИОКР	[0,7, 1,0]
			результаты могут быть использованы в ходе выполнения другой НИОКР	[0,4, 0,7)
			создание НТЗ в данной предметной области	[0, 0,4)
8	Экономическая обоснованность исследований	0,08	стоимость работы соответствует заявленной	[0,7, 1,0]
			стоимость работы незначительно выше (ниже) заявленной	[0,4, 0,7)
			стоимость работы существенно выше (ниже) заявленной	[0, 0,4)
9	Уровень развития навигационной технологии	0,1	навигационная технология испытана в реальных условиях	[0,7, 1,0]
			навигационная технология испытана в лабораторных условиях	[0,4, 0,7)
			определены основные принципы построения навигационной технологии	[0, 0,4)

При этом предпринимается попытка прийти к компромиссу, приемлемому для всех членов экспертной группы. В случае наличия существенных расхождений в предпочтениях экспертов проводится уточнение оценок и повторное обсуждение полученных результатов.

Многокритериальная коллективная оценка предложений по развитию навигационных технологий осуществляется в три этапа.

Этап 1. Подготовка исходных данных.

Этап 2. Формирование групп экспертов, проведение электронного анкетирования и формирование базы данных экспертных оценок.

Этап 3. Обработка экспертных оценок предложений и визуализация результатов.

Рассмотрим детально содержание этапов.

В рамках *этапа 1* при подготовке исходных данных целесообразно использовать критерии оценки предложений по развитию навигационных технологий, приведенные в таблице 2. Для каждого из критериев разработаны соответствующие вербально-числовые шкалы, которые для удобства дальнейшей обработки экспертной информации содержат равное количество уровней оценки.

На *этапе 2* получаемые от экспертов заполненные анкеты вводятся в ЭВМ и образуют базу данных экспертных оценок. При оценке научно-технологического уровня предлагаемых работ эксперты получают дополнительные сведения из тематических карточек и справок-обоснований рассматриваемых НИОКР, которые предоставляются организациями – заявителями предложений.

На *этапе 3* входной информацией для работы алгоритма являются матрица оценок предложений:

$$A = [A_{ij}]_{i,j=1}^n,$$

и вектор весовых коэффициентов критериев:

$$W = [W_j]_{j=1}^m.$$

Оценки поступивших предложений проставляются экспертами в интервалах, указанных в таблице 2.

Для обработки экспертных оценок поступивших предложений используется метод аддитивной свертки. При этом ранг i -го предложения в рассматриваемой системе критериев рассчитывается по следующей формуле:

$$R_i = \sum_{j=1}^N W_j A_{ij}, \quad (1)$$

где: N – число критериев оценки предложений.

Решение о включении каждого предложения по развитию навигационных технологий принимается на основе следующего правила:

$0,7 \leq R_i \leq 1$ - i -я работа актуальна и рекомендуется для включения в программу,

$0,4 \leq R_i < 0,7$ - решение о включении i -й работы принимается после либо дополнительных обсуждений, либо после доработки,

$0 \leq R_i < 0,4$ - i -я работа не рекомендуется для включения в программу.

Визуализация расчетов выполняется путем построения графика, где по оси X откладываются ранги поступивших предложений, а по оси Y – предлагаемая потенциальным исполнителем стоимость работы (пример представлен на рисунке 2). Это позволит наглядно отобразить полученные результаты расчетов и обратить особое внимание лица, принимающего решение, на работы с существенно завышенной или заниженной стоимостью.

Результаты расчетов используются членами научно-технического совета для выбора наиболее актуальных предложений, соответствующих приоритетам научно-технического развития навигационного обеспечения, обеспечивающих повышение ТТХ образцов ВВСТ и др.

Пример проведения расчета по методике оценки предложений по развитию навигационных технологий приведен ниже.

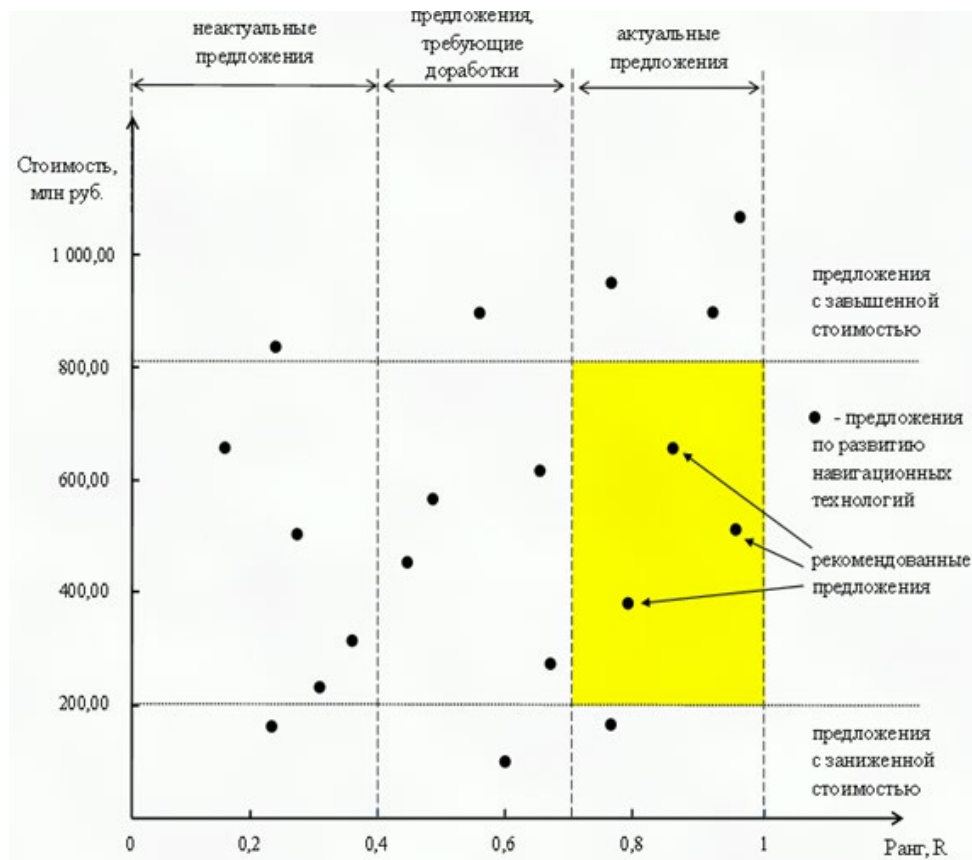


Рисунок 2 – Пример визуализации расчетов по предлагаемой методике

Пример расчета представлен для 10 условных предложений по развитию навигационных технологий. Стоимость каждой работы представлена в таблице 3.

Экспертные оценки данных предложений по используемым критериям представлены в таблице 4.

Итоговые значения рангов для каждого из представленных предложений по развитию навигационных технологий приведены в таблице 5.

Актуальными могут быть признаны НИР 1, НИР 3, НИР 4, ОКР 2 и ОКР 3, так как их ранг больше или равен пороговому значению. Актуальность НИР 5, НИР 6, ОКР 1 и ОКР 4 не представляется возможным определить по представленным материалам. Необходимо отправить материалы на доработку или провести дополнительные обсуждения с привлечением представителей организации-заявителя. Обобщенный ранг НИР 2 меньше порогового значения, и она может быть признана неактуальной.

Стоимость НИР 3 существенно занижена, а стоимость ОКР 2 существенно завышена. Требуется дополнительная проверка технико-экономического обоснования данных работ.

Таким образом, могут быть рекомендованы к включению в проекты программных документов НИР 1, НИР 4 и ОКР 3. НИР 1, НИР 4 и ОКР 3 являются прикладными работами. В условиях финансовых ограничений при формировании программы развития навигационных технологий следует соблюдать последовательность включения предложений в соответствии с полученными ими рангами: ОКР 3, НИР 1 и только затем НИР 4.

Результаты расчетов в обобщенном виде представлены на рисунке 3.

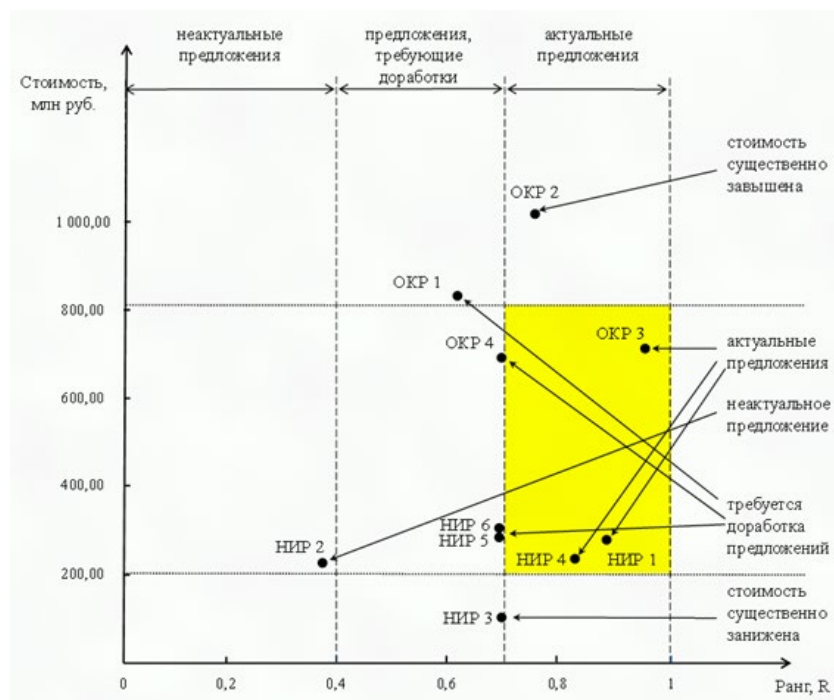
Таблица 3 – Пример стоимости гипотетических (предполагаемых) предложений по развитию навигационных технологий

№ п/п	Наименования предполагаемых НИОКР	Стоимость, млн руб.
1	НИР 1 «Разработка помехоустойчивой бортовой системы управления для реактивных систем залпового огня и авиационных средств поражения за счет использования малогабаритных инерциальных блоков»	230,00
2	НИР 2 «Исследования по созданию малогабаритной бесплатформенной инерциальной навигационной системы на основе лазерных гироскопов»	210,00
3	НИР 3 «Исследования по созданию инерциально-оптической навигационной системы БГЛА на основе комплексирования микромеханической БИНС и оптико-электронной системы навигации»	100,00
4	НИР 4 «Исследования возможности создания подводной мультиагентной робототехнической системы для выполнения задач навигации и управления на основе гидроакустических навигационных буев»	220,00
5	НИР 5 «Разработка системы коррекции навигационных параметров летательных аппаратов на основе комплексного использования геофизических полей»	250,00
6	НИР 6 «Исследования по разработке путей создания гироскопов, основанных на волновых свойствах материи»	300,00
7	ОКР 1 «Разработка навигационного комплекса многоцелевых атомных подводных лодок 5-го поколения, обеспечивающего уменьшение времени готовности и увеличение интервала между всплытиями»	810,00
8	ОКР 2 «Разработка системы навигации летательных аппаратов на основе комплексирования информации от высокоточной инерциальной системы и информации от астрономического датчика»	1 000,00
9	ОКР 3 «Разработка астро-инерциальной системы навигации и автоматического управления, устойчивой к внешним воздействующим факторам гиперзвукового полета»	700,00
10	ОКР 4 «Разработка системы маршрутной навигации и наведения летательных аппаратов с коррекцией от радиолокационных и оптико-электронных каналов»	630,00

Таблица 4 – Экспертные оценки предложений по критериям

№ п/п	НИОКР	Значения показателей								
		П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7	П8	П9
1	НИР 1	1	0,85	0,9	0,8	0,85	0,9	0,9	0,9	0,7
2	НИР 2	0,3	0,35	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,8
3	НИР 3	0,8	0,8	0,7	0,3	0,7	0,7	0,7	0,3	1
4	НИР 4	0,9	0,9	0,9	0,7	0,7	0,6	0,8	0,8	0,7
5	НИР 5	0,8	0,8	0,6	0,7	0,8	0,7	0,7	0,4	0,7
6	НИР 6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,4	0,9	0,8	0,4	0,4
7	ОКР 1	0,9	0,9	0,6	0,3	0,4	0,7	0,4	0,4	0,6
8	ОКР 2	1	1	1	0,7	0,3	0,7	0,9	0,1	0,3
9	ОКР 3	1	1	1	0,7	0,9	1	1	1	0,8
10	ОКР 4	1	1	0,4	0,7	0,8	0,7	0,6	0,7	0,6

№ п/п	Наименования предполагаемых НИОКР	Ранг, R
1	НИР 1 «Разработка помехоустойчивой бортовой системы управления для реактивных систем залпового огня и авиационных средств поражения за счет использования малогабаритных инерциальных блоков»	0,88
2	НИР2 «Исследования по созданию малогабаритной бесплатформенной инерциальной навигационной системы на основе лазерных гироскопов»	0,39
3	НИР 3 «Исследования по созданию инерциально-оптической навигационной системы БПЛА на основе комплексирования микромеханической БИНС и оптико-электронной системы навигации»	0,69
4	НИР 4 «Исследования возможности создания подводной мультиагентной робототехнической системы для выполнения задач навигации и управления на основе гидроакустических навигационных буев»	0,81
5	НИР 5 «Разработка системы коррекции навигационных параметров летательных аппаратов на основе комплексного использования геофизических полей»	0,68
6	НИР 6 «Исследования по разработке путей создания гироскопов, основанных на волновых свойствах материи»	0,69
7	ОКР 1 «Разработка навигационного комплекса многоцелевых атомных подводных лодок 5-го поколения, обеспечивающего уменьшение времени готовности и увеличение интервала между всплытиями»	0,61
8	ОКР 2 «Разработка системы навигации летательных аппаратов на основе комплексирования информации от высокоточной инерциальной системы и информации от астрономического датчика»	0,75
9	ОКР 3 «Разработка астро-инерциальной системы навигации и автоматического управления, устойчивой к внешним воздействующим факторам гиперзвукового полета»	0,95
10	ОКР 4 «Разработка системы маршрутной навигации и наведения летательных аппаратов с коррекцией от радиолокационных и оптико-электронных каналов»	0,69



Таким образом, рассмотрена методика формирования предложений по отбору приоритетных НИОКР по развитию критических навигационных технологий. Для построения методики использована система критериев, применяемых для оценки предложений по развитию критических военных технологий, адаптированных к условиям рассматриваемой предметной области. Оценена работоспособность методики на примере десяти гипотетических НИОКР, направленных на развитие современных навигационных технологий. Дальнейшие направления совершенствования разработанной методики связаны с её отработкой на конкретных предложениях предприятий ОПК, научно-исследовательских организаций Министерства обороны Российской Федерации и заказывающих организаций.

Список источников

1. Смирнов С.С., Реулов Р.В. Проблемные вопросы формирования и использования перечня базовых и критических военных технологий и пути их решения // Двойные технологии. 2010. №2(51). С. 25-31.
2. Реулов Р.В., Стукалин С.В., Пронин А.Ю. Развитие базовых военных технологий на современном этапе: обоснование, планирование, реализация // Вооружение и экономика. 2022. №3(61). С. 78-91.
3. Ачасов О.Б., Пронин А.Ю. Тенденции развития военных технологий в современных условиях // Вооружение и экономика. 2023. №1(63). С. 84-91.
4. Стукалин С.В., Хованов Д.Г., Першиков Г.Ю. Подход к определению обобщенных критериев шкалирования военных технологий на основе аппроксимационного метода // Вооружение и экономика. 2024. №3(69). С. 39-46.
5. Буренок В.М., Ивлев А.А., Корчак В.Ю. Программно-целевое планирование и управление созданием научно-технического задела для перспективного и нетрадиционного вооружения. М.: Граница, 2007. 408 с.
6. Брайткрайц С.Г., Корчак В.Ю., Леонов А.В., Пронин А.Ю. Развитие навигационных систем и технологий в России: направления, приоритеты, проблемы: монография. М.: Инфра-М, 2025. 224 с.
7. Корчак В.Ю., Полубехин А.И., Старожук Е.А., Буренок В.М., Юрин А.Д. Оборонный научно-технический задел: приоритетные направления развития и влияние на характер вооруженной борьбы. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. 176 с.
8. Корчак В.Ю., Брайткрайц С.Г., Воронцов П.С. Закономерности эволюционно-технологического подхода в развитии навигационных технологий для вооружения, военной и специальной техники // Вооружение и экономика. 2024. № 3(69). С. 5-12.

Информация об авторе

П.С. Воронцов – SPIN 1918-9921.

Научная статья
УДК 623.094

Методический подход к оценке экзоскелетов военного назначения в рамках военно-технических экспериментов

Евгений Александрович Антохин

Аннотация. В статье определены основные эксплуатационно-технические свойства экзоскелетов военного назначения, а также выражающие их количественную оценку представительные тактико-технические характеристики. На основе анализа ряда работ и опыта проведения экспериментальных исследований предложен методический подход к оценке инициативных разработок образцов экзоскелетов военного назначения в рамках проведения военно-технических экспериментов, основанный на применении обобщенного системного показателя – коэффициента военно-технического совершенства.

Ключевые слова: экзоскелет военного назначения; боевая экипировка военнослужащих; активный экзоскелет военного назначения; пассивный экзоскелет военного назначения; военно-технический эксперимент; эксплуатационно-технические свойства; представительные тактико-технические характеристики; коэффициент военно-технического совершенства

Для цитирования: Антохин Е.А. Методический подход к оценке экзоскелетов военного назначения в рамках военно-технических экспериментов // Вооружение и экономика. 2026. №1(75). С. 58-67.

Original article

A Methodological Approach to Military-Purpose Exoskeletons Evaluation within Military-Technical Experiments

Evgenii A. Antokhin

Abstract. The article defines the main operational and technical properties of military-purpose exoskeletons and their representative tactical and technical characteristics. Based on the analysis of a number of works and the experience of experimental studies conducting, a methodological approach to the military-purpose exoskeletons prototypes assessment is proposed. It is an initiative development within the framework of military-technical experiments. This approach is based on the generalized system indicator application – the coefficient of military-technical perfection.

Keywords: military-purpose exoskeleton; combat equipment of military personnel; active military-purpose exoskeleton; passive military-purpose exoskeleton; military-technical experiment; operational and technical properties; representative tactical and technical characteristics; coefficient of military-technical excellence

For citation: Antokhin E.A. A Methodological Approach to Military-Purpose Exoskeletons Evaluation within Military-Technical Experiments. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2026;75(1): 58-67. (In Russ.).

Введение

В настоящее время одним из перспективных направлений дальнейшего совершенствования и качественного обновления боевой экипировки военнослужащих (БЭВ) является включение в ее состав экзоскелетных конструкций (экзоскелетов) различного целевого предназначения [1-5].

По мнению как отечественных, так и иностранных военных специалистов это позволит решить следующие основные задачи:

- компенсировать нагрузку на опорно-двигательный аппарат, создаваемую элементами БЭВ;
- повысить силовые возможности, физическую выносливость и мобильность военнослужащих на поле боя;
- снизить риск возникновения травм и профессиональных заболеваний;
- обеспечить расширение номенклатуры применяемого вооружения и средств обеспечения, наращивание уровня защиты, увеличение боезапаса, нивелируя при этом прирост массы элементов носимого комплекта БЭВ;
- существенно увеличить продолжительность времени активного боевого функционирования [1; 2].

Под экзоскелетом военного назначения (ЭВН) понимается индивидуальная носимая внешняя каркасная шарнирно-рычажная конструкция, предназначенная для увеличения силовых возможностей и/или снижения нагрузки на опорно-двигательный аппарат военнослужащих [1; 2].

Экзоскелеты, в том числе и военного назначения, по наличию в их составе источника энергии и силовых приводов принято подразделять на пассивные и активные [1; 2].

Пассивные экзоскелеты военного назначения (ПЭВН) – ЭВН, функционирование которых осуществляется только за счет мышечной силы военнослужащего.

Активный экзоскелет военного назначения (АЭВН) – ЭВН с интегрированными в их конструкцию силовыми приводами, функционирование которых обеспечивается источником или источниками энергии.

Процессы опережающего развития отечественных образцов ЭВН уже сегодня требуют разработки новых, нетрадиционных подходов к решению вопросов их экспериментальных исследований и испытаний. На современном этапе одним из эффективных инструментов, способных обеспечить ускорение процессов интеграции экзоскелетных конструкций в состав перспективной БЭВ, является организация и проведение военно-технических экспериментов (ВТЭ) в целях предварительной оценки военно-технического уровня ЭВН, создаваемых предприятиями промышленности в инициативном порядке [6].

При общем подходе под ВТЭ предлагается понимать комплекс организационных, научно-исследовательских и практических работ, направленных на сбор, обработку и анализ информации о потенциальных возможностях и характеристиках демонстрируемых образцов техники (изделий), а также в целом о перспективах развития тех или иных видов и систем оружия с учетом накопленного предприятиями оборонно-промышленного комплекса (ОПК) научно-технического задела [6].

Проведение ВТЭ позволяет практически оценить научно-технический уровень и эффективность предлагаемых предприятиями ОПК инициативных разработок, а именно:

- проверить правильность выбранных технических и конструкторских решений;
- оценить характеристики предлагаемых к созданию (модернизации) образцов вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) на соответствие требованиям Минобороны России;
- сформировать тактико-технические требования к создаваемым (модернизируемым) образцам ВВСТ;
- выработать практические рекомендации по внедрению технических решений и сформировать предложения по направлениям их дальнейшего развития [6].

Опыт организации и проведения военно-технических экспериментов и испытаний показывает, что задача оценки образцов ЭВН, созданных в инициативном порядке, отличается следующей спецификой:

- научной новизной по причине отсутствия схожих или близких по целевому предназначению аналогов предметов военно-технического имущества, а также необходимого объема статистических данных результатов экспериментальных исследований и испытаний ЭВН;
- отсутствием в настоящее время единых методических подходов к сравнительной оценке ЭВН;
- повышенной трудностью математической формализации из-за необходимости учета не только количественных, но и качественных характеристик ЭВН как объекта исследования;
- высокой технической сложностью процессов функционирования ЭВН, характеризующихся большим числом коррелированных между собой параметров и характеристик как технических (относящихся непосредственно к самой экзоскелетной конструкции), так и медико-биологических (отражающих функциональное состояние организма военнослужащего-оператора);
- потребностью в долгосрочном планировании мероприятий по развитию БЭВ в условиях многофакторной неопределенности исходных данных о потенциальном противнике и характере вооруженного противостояния в дальнейшей перспективе.

В сложившихся условиях разработка методического подхода к сравнительной оценке ЭВН в рамках проведения ВТЭ в целях повышения степени обоснованности принимаемых решений при планировании мероприятий по развитию БЭВ представляется актуальной задачей военной теории и практики.

1 Формализованная постановка задачи

С учетом изложенной специфики задачу оценки инициативных разработок ЭВН в рамках проведения ВТЭ можно представить следующим образом.

Имеется счетное множество Ω инициативных разработок образцов ЭВН, предъявленных предприятиями ОПК в качестве объектов исследования в рамках ВТЭ:

$$\Omega = \{w_n\}, \quad n = \overline{1, N},$$

где: n – порядковый (идентификационный) номер исследуемого образца ЭВН;

w_n – n -й исследуемый образец ЭВН;

N – общее количество исследуемых образцов ЭВН.

Каждый n -й образец ЭВН w_n обладает набором фактических эксплуатационно-технических свойств (ЭТС) $\{s_{nj}\}$, образующих его законченное описание как объекта исследования:

$$I_{об}(w_n) = \{s_{nj}\}, \quad j = \overline{1, J},$$

где: j – порядковый номер ЭТС образцов ЭВН;

J – общее количество свойств исследуемых образцов ЭВН;

s_{nj} – j -е свойство n -го исследуемого образца ЭВН.

Задача сравнительной оценки совокупности образцов ЭВН Ω состоит в том, чтобы по описанию $I_{об}(w_n) = \{s_{nj}\}$ определить порядковый (идентификационный) номер n образца, обладающего наилучшим значением обобщенного показателя военно-технического совершенства, совокупно отражающего степень проявления основных эксплуатационно-технических свойств в каждом исследуемом образце.

2 Предлагаемое решение

Материалы работ [1; 2; 7-10], а также опыт проведения ВТЭ позволяют предложить следующий перечень основных представительных эксплуатационно-технических свойств (ЭТС) ЭВН, а также номенклатуру соответствующих представительных ТТХ, выражающих количественную оценку степени проявления указанных свойств в каждом исследуемом образце ЭВН (таблица 1).

В таблице 1 представлены следующие основные ЭТС ЭВН и соответствующие представительные ТТХ, выражающих их количественную оценку.

1) *Уровень защиты военнослужащего-оператора* – ЭТС ЭВН обеспечивать требуемую защиту военнослужащего-оператора от поражения оружием и воздействия опасных факторов боевых действий.

В качестве основных представительных ТТХ, выражающих количественную оценку рассматриваемого ЭТС, предлагается использовать показатели:

- класс бронезащиты военнослужащего-оператора;
- площадь защиты жизненно важных органов военнослужащего-оператора.

2) *Подвижность* – ЭТС ЭВН не ограничивать требуемую свободу движений военнослужащего-оператора и обеспечивать возможность ведения им активных боевых действий.

В качестве основных представительных ТТХ, выражающих количественную оценку рассматриваемого ЭТС, предлагается использовать показатели:

- максимально возможную скорость передвижения;
- экспертную оценку возможностей по преодолению препятствий;
- экспертную оценку обеспечения требуемой свободы движений.

3) *Грузоподъемность* – ЭТС ЭВН обеспечивать перенос, подъем и удержание груза установленной массы на заданной высоте военнослужащим-оператором.

В качестве основной представительной ТТХ, количественно выражающей грузоподъемность, предлагается использовать максимальную массу поднимаемого (переносимого) груза.

4) *Снижение нагрузки в ходе выполнения заданной двигательной активности* – ЭТС ЭВН обеспечивать положительный эффект уменьшения нагрузки на военнослужащего-оператора в ходе выполнения заданной двигательной активности.

В качестве основной представительной ТТХ, выражающей количественную оценку рассматриваемого ЭТС, в рамках проведения ВТЭ предлагается использовать экспертную оценку обеспечения снижения нагрузки в ходе выполнения заданной двигательной активности.

5) *Эргономичность* – ЭТС ЭВН обеспечивать удобство и простоту его технического обслуживания, подготовки и применения по предназначению.

В качестве основных представительных ТТХ, выражающих количественную оценку рассматриваемого ЭТС, предлагается использовать показатели:

- среднее время надевания;
- среднее время снятия;
- экспертная оценка удобства и простоты технического обслуживания, подготовки и применения по назначению.

6) *Транспортабельность* – ЭТС ЭВН обеспечивать возможность его перевозки всеми видами транспорта без ограничения расстояния.

В качестве основной представительной ТТХ, количественно выражающей транспортабельность ЭВН, предлагается использовать его массу.

7) *Надежность* – ЭТС ЭВН обеспечивать выполнение задач по предназначению, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационно-технических показателей, соответствующих заданным режимам и условиям применения, технического обслуживания, ремонта и хранения.

Надежность является комплексным свойством и складывается из безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости.

Таблица 1 – Перечень основных ЭТС ЭВН и соответствующих представительных ТТХ, выражающих их количественную оценку

№ п/п	Основные ЭТС ЭВН	Представительные ТТХ, выражающие количественную оценку соответствующих ЭТС ЭВН
1.	Уровень защиты военнослужащего-оператора (s_1)	Класс бронезащиты военнослужащего-оператора (x_1)
		Площадь защиты жизненно важных органов военнослужащего-оператора (x_2), кв.м
2.	Подвижность (s_2)	Максимально возможная скорость передвижения (x_3), км/ч
		Экспертная оценка возможностей по преодолению препятствий (x_4)
		Экспертная оценка обеспечения требуемой свободы движений (x_5)
3.	Грузоподъемность (s_3)	Максимальная масса поднимаемого (переносимого) груза (x_6), кг
4.	Снижение нагрузки в ходе выполнения заданной двигательной активности (s_4)	Экспертная оценка снижения нагрузки в ходе выполнения заданной двигательной активности (x_7)
5.	Эргономичность (s_5)	Среднее время надевания (x_8), с
		Среднее время снятия (x_9), с
		Экспертная оценка удобства и простоты технического обслуживания, подготовки и применения по назначению (x_{10})
6.	Транспортабельность (s_6)	Масса (x_{11}), кг
7.	Надежность (s_7)	Среднее время наработки на отказ (x_{12}), ч
		Назначенный срок службы (x_{13}), лет
		Среднее время восстановления работоспособности (x_{14}), ч
		Срок хранения в заданных условиях (x_{15}), лет
8.	Стойкость к внешним воздействиям (s_8)	Экспертная оценка обеспечения возможности проведения дезактивации, дегазации и дезинфекции с применением штатных растворов (рецептур) и войсковых средств (x_{16})
		Экспертная оценка стойкости к воздействию ГСМ, применяемых при эксплуатации образцов ВВСТ (x_{17})
9.	Автономность (s_9)	Время непрерывной работы АЭВН (x_{18}), ч
10.	Управляемость (s_{10})	Среднее время реакции системы управления АЭВН на управляющее воздействие (x_{19}), мс

Примечание: * – дополнительные ЭТС АЭВН

Учитывая изложенное, в качестве основных представительных ТТХ, выражающих количественную оценку надежности ЭВН, предлагается использовать показатели:

- среднее время наработки на отказ;
- назначенный срок службы;
- среднее время восстановления работоспособности;
- срок хранения в заданных условиях.

8) *Стойкость к внешним воздействиям* – способность ЭВН выполнять свои функции как непосредственно вовремя, так и после прекращения действия негативных внешних факторов.

Учитывая, что ЭВН рассматриваются как элемент БЭВ, предлагается при проведении ВТЭ в качестве основных представительных ТТХ, выражающих количественную оценку рассматриваемого ЭТС, использовать показатели:

- экспертную оценку обеспечения возможности проведения дезактивации, дегазации и дезинфекции с применением штатных растворов (рецептур) и войсковых средств;
- экспертную оценку стойкости к воздействию горюче-смазочных материалов (ГСМ), применяемых при эксплуатации образцов вооружения, военной и специальной техники.

9) *Автономность* – ЭТС ЭВН активного типа непрерывно функционировать в течение заданного времени без замены или подзарядки (заправки) источника энергии в режиме интенсивного выполнения задач по предназначению.

В качестве основной представительной ТТХ, количественно выражающей автономность АЭВН, предлагается использовать время (продолжительность) непрерывной работы с использованием штатного источника энергии без его замены или подзарядки (заправки).

10) *Управляемость* – ЭТС ЭВН активного типа обеспечивать требуемую быстроту реакции на управляющее воздействие военнослужащего-оператора. В качестве основной представительной ТТХ, количественно выражающей управляемость АЭВН, предлагается использовать среднее время реакции его системы управления на управляющее воздействие военнослужащего-оператора.

Для обоснования принимаемых решений в рамках ВТЭ предлагается в качестве основного критерия использовать обобщенный системный показатель – коэффициент военно-технического совершенства $K_{ВТС}$, который совокупно отражает уровень проявления всех представительных ТТХ в каждом исследуемом образце ЭВН. С опорой на известный и широко апробированный научно-методический аппарат данный показатель может быть рассчитан по классической формуле (1) [11-13]:

$$K_{ВТС_n} = \sum_{i=1}^I \overline{k_i} \overline{X_{in}}, \quad (1)$$

где: n – порядковый номер исследуемого образца ЭВН;

i – порядковый номер представительной ТТХ образца ЭВН;

I – общее количество представительных ТТХ, отражающих степень проявления в образце ЭВН основных ЭТС;

$\overline{k_i}$ – нормированный весовой коэффициент i -й представительной ТТХ;

$\overline{X_{in}}$ – относительное значение i -й представительной ТТХ n -го образца ЭВН.

Весовые коэффициенты представительных ТТХ k_i для каждой классификационной группы ЭВН (штурмовых, маршевых, такелажных, взрывотехнических) целесообразно определять экспертным методом путем проведения анкетированных опросов независимых экспертов в области разработки и создания ЭВН, а также специалистов в области БЭВ. При этом в целях повышения объективности получаемых результатов требуется провести оценку согласованности мнений экспертов по известным методикам с применением таких показателей, как ранговый коэффициент конкордации либо коэффициент вариации [11; 12].

После проведения процедуры нормирования в соответствии с формулой (2) нормированные весовые коэффициенты $\overline{k_i}$ будут отражать вклад, вносимый отдельно взятой представительной ТТХ, в общую совокупную оценку военно-технического совершенства образца ЭВН.

$$k_i \rightarrow \overline{k_i}; \overline{k_i} \in (0; 1); \sum_{i=1}^I \overline{k_i} = 1. \quad (2)$$

Относительное значение i -й представительной ТТХ n -го образца ЭВН может быть рассчитано по формуле (3):

$$\overline{X_{in}} = \begin{cases} x_{in}/x_{iэт} & \text{- если повышению уровня военно-технического совершенства соответствует} \\ & \text{увеличение } i\text{-й представительной ТТХ;} \\ x_{iэт}/x_{in} & \text{- если повышению уровня военно-технического совершенства соответствует} \\ & \text{уменьшение } i\text{-й представительной ТТХ;} \end{cases} \quad (3)$$

где: x_{in} – значение i -й представительной ТТХ n -го образца ЭВН;

$x_{iэт}$ – эталонное значение i -й представительной ТТХ.

За эталонные величины представительных ТТХ при расчетах предлагается использовать значения указанных характеристик, достигнутые в передовых существующих, разрабатываемых и планируемых к разработке образцах ЭВН (иностранных и отечественных) или наилучшие значения указанных характеристик, выявленные непосредственно в ходе проведения ВТЭ. В дальнейшем, при формировании соответствующей нормативной базы в рассматриваемой предметной области эталонные величины представительных ТТХ полагается целесообразным назначать, исходя из требований военных стандартов и нормативно-технических документов системы общих технических требований [11-13].

Примечания:

1) Для исследуемых образцов ЭВН, показатели представительных ТТХ которых превышают эталонные значения, указанное превышение не рассматривается как преимущество, и при расчетах относительные значения таких представительных ТТХ принимаются равными единице $\overline{X}_i = 1$.

2) Экспертные оценки возможностей по преодолению препятствий (x_4), обеспечения требуемой свободы движений (x_5) и обеспечения снижения нагрузки (x_7) проводятся на предварительном этапе ВТЭ методом натурного эксперимента в ходе преодоления военнослужащими-экспертами элементов единой полосы препятствий и выполнения упражнений по тактической и специальной подготовке (сначала без ЭВН, а затем с использованием (надеванием) ЭВН). При этом относительные значения указанных представительных ТТХ $\overline{X}_4$, $\overline{X}_5$ и $\overline{X}_7$ принимаются равными:

1 (если обобщенная оценка экспертов «отлично»);

0,66 (если обобщенная оценка экспертов «хорошо»);

0,33 (если обобщенная оценка экспертов «удовлетворительно»).

В случае, если получена обобщенная оценка экспертов «неудовлетворительно», то такой образец ЭВН из дальнейшего рассмотрения исключается.

3) Экспертная оценка удобства и простоты технического обслуживания, подготовки и применения по назначению (x_{10}) проводится на предварительном этапе ВТЭ методом натурного эксперимента в ходе выполнения военнослужащими-экспертами соответствующих практических действий. При этом относительное значение указанной представительной ТТХ $\overline{X}_{10}$ принимается равным:

1 (если обобщенная оценка экспертов «отлично»);

0,66 (если обобщенная оценка экспертов «хорошо»);

0,33 (если обобщенная оценка экспертов «удовлетворительно»).

В случае, если получена обобщенная оценка экспертов «неудовлетворительно», то такой образец ЭВН из дальнейшего рассмотрения исключается.

4) Экспертные оценки обеспечения исследуемыми образцами ЭВН возможности проведения дезактивации, дегазации и дезинфекции с применением штатных растворов (рецептур) и войсковых средств (x_{16}) и стойкости к воздействию ГСМ, применяемых при эксплуатации образцов ВВСТ (x_{17}), проводятся на предварительном этапе ВТЭ в ходе проведения соответствующих натурных экспериментов.

При этом относительные значения указанных представительных ТТХ $\overline{X}_{16}$ и $\overline{X}_{17}$ принимаются равными:

1 (если обобщенная оценка экспертов «отлично»);

0,66 (если обобщенная оценка экспертов «хорошо»);

0,33 (если обобщенная оценка экспертов «удовлетворительно»).

В случае, если получена обобщенная оценка экспертов «неудовлетворительно», то такой образец ЭВН из дальнейшего рассмотрения исключается.

Таким образом, при использовании предлагаемого подхода коэффициент военного-технического совершенства $K_{ВТС}$ исследуемого образца ПЭВН может быть вычислен по формуле (4), а АЭВН – по формуле (5):

$$K_{ВТС} = \overline{k_1} \frac{x_1}{x_{13т}} + \overline{k_2} \frac{x_2}{x_{23т}} + \overline{k_3} \frac{x_3}{x_{33т}} + \overline{k_4} X_4 + \overline{k_5} X_5 + \overline{k_6} \frac{x_6}{x_{63т}} + \overline{k_7} X_7 + \overline{k_8} \frac{x_{83т}}{x_8} + \overline{k_9} \frac{x_{93т}}{x_9} + \overline{k_{10}} X_{10} + \overline{k_{11}} \frac{x_{113т}}{x_{11}} + \overline{k_{12}} \frac{x_{12}}{x_{123т}} + \overline{k_{13}} \frac{x_{13}}{x_{133т}} + \overline{k_{14}} \frac{x_{143т}}{x_{14}} + \overline{k_{15}} \frac{x_{15}}{x_{153т}} + \overline{k_{16}} X_{16} + \overline{k_{17}} X_{17}, \quad (4)$$

$$K_{ВТС} = \overline{k_1} \frac{x_1}{x_{13т}} + \overline{k_2} \frac{x_2}{x_{23т}} + \overline{k_3} \frac{x_3}{x_{33т}} + \overline{k_4} X_4 + \overline{k_5} X_5 + \overline{k_6} \frac{x_6}{x_{63т}} + \overline{k_7} X_7 + \overline{k_8} \frac{x_{83т}}{x_8} + \overline{k_9} \frac{x_{93т}}{x_9} + \overline{k_{10}} X_{10} + \overline{k_{11}} \frac{x_{113т}}{x_{11}} + \overline{k_{12}} \frac{x_{12}}{x_{123т}} + \overline{k_{13}} \frac{x_{13}}{x_{133т}} + \overline{k_{14}} \frac{x_{143т}}{x_{14}} + \overline{k_{15}} \frac{x_{15}}{x_{153т}} + \overline{k_{16}} X_{16} + \overline{k_{17}} X_{17} + \overline{k_{18}} \frac{x_{18}}{x_{183т}} + \overline{k_{19}} \frac{x_{193т}}{x_{19}}. \quad (5)$$

Наилучшим (наиболее эффективным) из оцениваемых образцов рассматриваемой классификационной группы (штурмовой, маршевой, такелажный, взрывотехнический) признается ЭВН с наибольшим рассчитанным значением коэффициента военного-технического совершенства $K_{ВТС}$. При этом, если полученные значения коэффициента военного-технического совершенства $K_{ВТС}$ исследуемых образцов отличаются друг от друга менее чем на 10% включительно, то такие ЭВН при дальнейших исследованиях признаются имеющими равнозначный уровень военного-технического совершенства и требуют дальнейшей оценки с применением дополнительных критериев.

В целях проведения предварительного военно-экономического анализа целесообразности закупок образцов ЭВН дополнительно требуется проведение расчетов суммарных затрат на оснащение воинских формирований (ВФ) n -м образцом ЭВН, которые могут быть рассчитаны по формуле (6) [14]:

$$C_{ВФ_n} = C_0 + C_{сум_n}(T)N_n, \quad (6)$$

где суммарные затраты на закупку и содержание n -го образца ЭВН рассчитываются по формуле (7) [14]:

$$C_{сум_n}(T) = C_{3n}E\left[\frac{T}{T_n} + 1\right] + \overline{c_n}T, \quad (7)$$

где: C_0 – общие затраты на содержание ВФ, не зависящие от типа образца ЭВН;

T – планируемый срок нахождения на вооружении;

N_n – количество n -х образцов, подлежащих закупке для оснащения ВФ;

C_{3n} – стоимость закупки n -го образца ЭВН;

$E[x]$ – операция выделения целой части числа x ;

$n \in [1, N]$ – порядковый номер образца ЭВН;

C_{3n} – общее количество исследуемых образцов ЭВН;

$\overline{c_n}$ – среднегодовая стоимость затрат на содержание n -го образца ЭВН;

T_n – назначенный срок службы n -го образца ЭВН.

Таким образом, в качестве исходных данных для проведения военно-экономического анализа могут рассматриваться рассчитанные для каждого n -го образца ЭВН совокупности значений ($K_{ВТС}$, $C_{ВФ}$).

В целях иллюстрации предлагаемых подходов по обоснованию рационального выбора образцов ЭВН в ходе ВТЭ рассмотрим следующий гипотетический пример. Пусть в ходе расчетов для семи исследуемых образцов ЭВН одной классификационной группы были получены следующие результаты (таблица 2).

Применительно к указанным исходным данным задача военно-экономического анализа в целях выбора наиболее предпочтительного образца ЭВН имеет следующие классические варианты решения [15].

Таблица 2 – Исходные расчетные данные для проведения предварительного военно-экономического анализа в ходе ВТЭ

Номер ЭВН, n	1	2	3	4	5	6	7
$C_{ВФ}$	10	12	17	20	22	25	27
$K_{ВТС}$	0,46	0,35	0,61	0,54	0,86	0,93	0,90

Первый вариант (при известном объеме выделяемых ассигнований на закупку образцов ЭВН $C_{ВЫД}$).

Тогда в формализованном виде решение такой задачи можно записать в виде:

$$K_{ВТС} \rightarrow \max, \text{ при } C_{ВФ} \leq C_{ВЫД}.$$

Если, например, в рассматриваемом случае (таблица 2) объем выделяемых ассигнований $C_{ВЫД}$ будет равен 20 условным единицам, то наиболее предпочтительным является образец с порядковым номером $n = 3$. Данный образец имеет максимальное рассчитанное значение коэффициента военно-технического совершенства $K_{ВТС} = 0,61$, а суммарные затраты на оснащение им ВФ $C_{ВФ}$ не превышают выделяемый объем ассигнований $C_{ВЫД}$.

При этом из рассмотрения были исключены образцы с порядковыми номерами 5, 6, 7, у которых рассчитанные значения $C_{ВФ}$ превысили объем выделяемых ассигнований.

Второй вариант (при известном требуемом значении коэффициента военно-технического совершенства $K_{ВТС}^{ТРЕБ}$).

Тогда в формализованном виде решение такой задачи можно записать в виде:

$$C_{ВФ} \rightarrow \min, \text{ при } K_{ВТС} \geq K_{ВТС}^{ТРЕБ}.$$

Если, например, в рассматриваемом случае $K_{ВТС}^{ТРЕБ} = 0,89$, то наиболее предпочтительным является образец с порядковым номером $n = 6$. Данный образец имеет большее рассчитанное значение коэффициента военно-технического уровня $K_{ВТС} = 0,93$ и в отличие от образца с порядковым номером $n = 7$ удовлетворяет условию по минимизации суммарных затрат на оснащение им ВФ.

Третий вариант (при неопределенности исходных данных).

Данный вариант предполагает использование хорошо апробированного научно-методического аппарата для решения многокритериальных задач.

На данном множестве (таблица 2) с использованием известных подходов можно определить подмножество Парето-оптимальных вариантов выбора образцов ЭВН [14].

Предлагаемый алгоритм формирования подмножества Парето-оптимальных вариантов выбора образцов ЭВН состоит в следующем.

Образец ЭВН с произвольным порядковым номером p и рассчитанными значениями $(K_{ВТС_p}, C_{ВФ_p})$ доминирует ($>$) над образцом ЭВН с другим произвольным порядковым номером q и рассчитанными значениями $(K_{ВТС_q}, C_{ВФ_q})$, если $(K_{ВТС_p} \geq K_{ВТС_q})$ и $(C_{ВФ_p} \leq C_{ВФ_q})$, причем хотя бы одно из неравенств должно быть строгим.

Шаг 1. Все образцы ЭВН нумеруются $Y_n = (K_{ВТС_n}, C_{ВФ_n})$. Далее осуществляется переход к шагу 2.

Шаг 2. Последовательно сравниваем образец ЭВН Y_1 с каждым другим образцом ЭВН из оцениваемого множества Y . Если $Y_1 > Y_n$, то образец ЭВН Y_n удаляется из оцениваемого множества Y и далее осуществляется сравнение Y_1 со следующим образцом ЭВН. Если $Y_1 < Y_n$, то из оцениваемого множества Y удаляется образец ЭВН Y_1 и осуществляется возврат к шагу 1.

В результате пошагового выполнения такого алгоритма в исходном множестве Y останется только подмножество Парето-оптимальных вариантов. В рассматриваемом примере это будут образцы ЭВН с порядковыми номерами 1, 3, 5, 6 из таблицы 2.

Вместе с тем в ходе ВТЭ, как правило, требуется из полученного подмножества выбрать единственный образец ЭВН. В этом случае предлагается воспользоваться

дополнительными критериями оценки. В качестве таких критериев могут быть использованы следующие показатели либо их совокупность.

1) Удельный коэффициент военно-технического совершенства оцениваемого образца ЭВН $K_{ВТС}^{уд}$, численно равный величине коэффициента военно-технического совершенства образца ЭВН, приходящейся на единицу затрат при оснащении ВФ указанным образцом ЭВН:

$$K_{ВТС_n}^{уд} = \frac{K_{ВТС_n}}{C_{ВФ_n}}. \quad (8)$$

Тогда критерием будет являться достижение максимума указанного показателя $K_{ВТС_n}^{уд}$:

$$n = \operatorname{argmax}\{K_{ВТС_n}^{уд}\}. \quad (9)$$

Рассчитанные значения $K_{ВТС}^{уд}$ для рассматриваемого примера приведены в таблице 3.

В данном примере критерию наибольшего значения $K_{ВТС}^{уд}$ отвечает образец ЭВН с порядковым номером $n = 1$ (таблица 3).

2) В качестве другого дополнительного критерия предлагается использовать значение показателя массоэффективности, который может быть рассчитан как отношение обобщенной экспертной оценки обеспечения образцом ЭВН снижения нагрузки (показатель x_7 из таблицы 1) к его массе (показатель x_{11} из таблицы 1):

$$M_{ЭФ_n} = \frac{x_{7n}}{x_{11n}}. \quad (10)$$

И в данном случае критерием будет являться также достижение максимума показателя $M_{ЭФ_n}$:

$$n = \operatorname{argmax}\{M_{ЭФ_n}\}. \quad (11)$$

Таблица 3 – Рассчитанные значения $K_{ВТС}^{уд}$ для подмножества Парето-оптимальных вариантов образцов ЭВН

Номер ЭВН, n	1	3	5	6
$C_{ВФ}$	10	17	22	25
$K_{ВТС}$	0,46	0,61	0,86	0,93
$K_{ВТС}^{уд}$	0,0460	0,0359	0,0391	0,0372

Выводы

1. Изложенный в работе подход позволяет повысить аргументацию и обоснованность выбора наиболее предпочтительных образцов ЭВН в рамках проведения ВТЭ в условиях многокритериальности рассмотрения предлагаемых технических решений и априорной неопределенности исходных данных. Представляется, что реализация данного подхода будет способствовать оперативному внедрению инновационных технологий в области разработки и создания ЭВН, сократить сроки их интеграции в состав перспективной БЭВ и позволит снизить ресурсные затраты.

2. Вместе с тем предложенный методический подход не лишен и ряда недостатков, связанных в первую очередь с его ориентацией на применение аппарата экспертных оценок. Во многом это обусловлено отсутствием в настоящее время действующих нормативно-технических документов, регламентирующих вопросы разработки, создания и интеграции ЭВН в состав БЭВ.

3. Настоящая работа носит предварительный, исследовательский характер. В дальнейшей перспективе, по мере формирования соответствующей нормативной базы, систематизации полученных результатов научно-исследовательских работ, а также опыта проведения экспериментальных исследований и испытаний ЭВН предлагаемый методический подход может потребовать доработки или уточнения ряда положений.

Список источников

1. Экзоскелеты военного назначения как элемент боевой экипировки военнослужащих: монография / Под ред. О.Б. Ачасова. М.: 46 ЦНИИ Минобороны России, 2025. 121 с.
2. Экзоскелеты военного назначения. Термины и определения. Классификация. Основные положения / Под общ. ред. В.Л. Гладышевского. 2-е изд., перераб. и доп. М.: 46 ЦНИИ Минобороны России. 2022. 28 с.
3. Антохин Е.А. Краткий анализ существующего научно-технического задела в области разработки экзоскелетов военного назначения // Робототехника и техническая кибернетика. 2024. Т.12. №3. С. 222-230.
4. Murugan B. A review on exoskeleton for military purpose // Journal on Mechanical Engineering. 2021. Vol.11. No.2. P. 36-44.
5. Niruthan N. Introducing iron man: exoskeletons in warfare // Journal of Defense & Policy Analysis. 2021. Vol.1. No.1. P. 49-61.
6. Печатнов Ю.А., Мартынов И.А., Семерунин Д.М. Военно-технические эксперименты как элемент механизма отбора инициативных разработок образцов вооружения // Вооружение и экономика. 2022. №3(61). С. 67-77.
7. Антохин Е.А. Методический подход к обоснованию рациональной номенклатуры (типажа) активных экзоскелетов военного назначения по критерию «военно-технический уровень – стоимость» // Вооружение и экономика. 2022. №4(62). С. 107-118.
8. Захаров А.В., Антохин Е.А., Воронин Л.Л. Методический подход к оценке активных экзоскелетов военного назначения // Вооружение и экономика. 2021. №4(58). С. 111-120.
9. Новак К.В., Винокурова Ю.С. Метод исследования потенциальной эффективности применения экзоскелетов в боевой экипировке военнослужащих // Вопросы безопасности. 2016. №5. С. 1-10.
10. Угревский С.В., Чичков А.Н. Требования к экзоскелетам военного назначения // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2014. №11-12 (77-78). С. 114-120.
11. Буренок В.М., Ляпунов В.М., Мудров В.И. Теория и практика планирования и управления развитием вооружения / Под ред. А.М. Московского. М.: Вооружение. Политика. Конверсия, 2005. 419 с.
12. Буренок В.М., Погребняк Р.Н., Скотников А.П. Методология обоснования перспектив развития средств вооруженной борьбы общего назначения. М.: Машиностроение, 2010. 368 с.
13. Буравлев А.И., Буренок В.М. Методические основы обоснования количественных параметров вооруженных сил по критерию «эффективность-стоимость» // Вооружение и экономика. 2014. №4(29). С. 73-92.
14. Методология программно-целевого планирования развития системы вооружения на современном этапе / Под общ. ред. В.М. Буренка. М.: Граница, 2013. 519 с.
15. Военно-экономический анализ / Под ред. С.Ф. Викулова. М.: Воениздат, 2001. 350 с.

Информация об авторе

Е.А. Антохин – SPIN 1459-3362.

ВОЕННАЯ ЭКОНОМИКА

Научная статья
УДК 338.245.2

Ключевые проблемы управления прорывными проектами и направления их решения

**Александр Алексеевич Рахманов, Вячеслав Иванович Волков,
Евгений Васильевич Гаврилин, Михаил Данильевич Бавижев**

Аннотация. На базе проведенных исследований и экспертных оценок ведущих специалистов нашей страны показано, что результативность прорывных программ определяется согласованностью стратегического задания, программно-целевого планирования, научно-технологического сопровождения и промышленной кооперации. На основе выявленных дефицитов действующей системы государственного оборонного заказа предложена эволюционная архитектура модернизации, включающая четыре взаимосвязанных уровня: стратегическое планирование; институциональную координацию; развитие науки и кадров; совершенствование финансово-цифровых механизмов реализации. Стержневым элементом предлагаемых преобразований является рассмотрение возможности формирования координационно-контрольного надстроечного механизма стратегической синхронизации прорывных направлений при сохранении существующей институциональной структуры. Особое внимание уделено необходимости постоянного научно-аналитического сопровождения управленческих решений со стороны профессионального экспертного сообщества, включая Российскую академию ракетных и артиллерийских наук и профильные научно-исследовательские институты. В статье представлен сравнительный анализ моделей управления сложными оборонными проектами в СССР, США, Китае и современной России. Подчеркивается, что заимствование зарубежного опыта должно носить адаптивный характер с учётом национальной российской экономической и институциональной специфики. Статья ориентирована на инициирование профессиональной дискуссии о путях модернизации системы управления сложными оборонными проектами.

Ключевые слова: управление жизненным циклом; оборонный проект; прорывные технологии; государственный оборонный заказ; государственная программа вооружений; Фонд перспективных исследований; кадровая политика; двойные технологии; системная интеграция; технологический суверенитет

Для цитирования: Рахманов А.А., Волков В.И., Гаврилин Е.В., Бавижев М.Д. Ключевые проблемы управления прорывными проектами и направления их решения // Вооружение и экономика. 2026. №1(75). С. 69-82.

Original article

Key Problems of Breakthrough Project Management and Prospects to Their Solution

Aleksandr A. Rakhmanov, Viacheslav I. Volkov, Evgenii V. Gavrilin, Mikhail D. Bavizhev

Abstract. Based on the conducted research and expert assessments made by leading specialists in our country, it is shown that the effectiveness of breakthrough programs is determined by strategic objectives consistency, program-oriented planning, scientific and technological support and industrial cooperation. It is taken in account identified deficits of the current state defense order system. An evolutionary modernization architecture is proposed, including four interrelated levels: strategic planning; institutional coordination; science and personnel development; improvement of financial and digital implementation mechanisms. The core element of the proposed transformations is the consideration of the possibility of coordination and control superstructure mechanism formation for strategic synchronization of breakthrough areas at the current institutional structure retaining. Special attention is paid to the need for constant scientific and analytical support of management decisions on the part of professional expert community, including the Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences and relevant research institutes. The article presents a comparative analysis of complex defense projects management models in the USSR, the USA, China and modern Russia. It is emphasized that the borrowing of foreign experience should be adaptive, taking into account the national Russian economic and institutional specifics. The article is aimed at professional discussions initiating on the matter of complex defense projects management system modernization.

Keywords: lifecycle management; defense project; breakthrough technologies; State defense order; the State armament program; Foundation for Advanced Research; personnel policy; dual technologies; system integration; technological sovereignty

For citation: Rakhmanov A.A., Volkov V.I., Gavrilin E.V., Bavizhev M.D. Key Problems of Breakthrough Project Management and Prospects to Their Solution. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2026; 75(1): 69-82. (In Russ.).

Введение

В условиях острого технологического соперничества, определяющего характер современных и будущих конфликтов, способность государства к генерации, быстрой разработке и внедрению прорывных оборонных технологий становится критическим фактором национальной безопасности [1-7]. Исторический опыт и текущие практики технологических лидеров – США и Китая – предоставляют обширный материал для анализа. Как подчёркивает американский профессор Дж.Купер [8], российская оборонная промышленность по-прежнему обладает значительными технологическими компетенциями. В настоящий период перед Россией возникает нетривиальная задача: осуществить модернизацию системы управления, одновременно обеспечив сохранение и адаптацию исторических преимуществ, унаследованных от советского периода.

Данное исследование направлено на осмысление возможностей развития российской системы управления жизненным циклом прорывных оборонных проектов¹. Через призму сравнительного институционального анализа (советская, американская и китайская модели) и с учётом критического анализа ведущих отечественных специалистов [1; 5-7; 9-14] предпринимается попытка сформулировать научно обоснованные ориентиры для её эволюции.

1 Сравнительный анализ моделей управления прорывными проектами

Анализ позволяет выделить фундаментальные различия в методологии и институтах, определяющих эффективность подхода к управлению прорывными оборонными проектами в СССР/России, США и Китае.

1.1 Историческая советская и современная российская модель: наследие и вызовы

В основе управления созданием образцов вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) в советский период лежало и находится в настоящее время лежит централизованное планирование, реализуемое через государственную программу вооружения (ГПВ) и государственные оборонные заказы (ГОЗ), ориентированное на долгосрочные циклы и серийное производство. Советская система управления оборонными проектами представляла собой уникальную модель, эффективность которой определялась целостностью институциональной архитектуры. Единая вертикаль принятия решений, встроенные контуры ресурсного обеспечения, научно-технологического сопровождения, контроля качества и безопасности, а также мощный кадрово-мотивационный контур позволяли добиваться стратегических результатов в сжатые сроки. Ключевым фактором успеха была способность создавать «машины управления» под конкретные сверхзадачи [15].

Нельзя не отметить, что советская модель управления продемонстрировала беспрецедентную высокую эффективность в реализации гигантских прорывных проектов национального масштаба (создание ядерного щита, прорыв в космос, развёртывание уникальных систем ПВО), достигая этого за счёт предельной концентрации ресурсов, жёсткой вертикали управления и создания изолированных, но высокоэффективных научно-производственных комплексов («атомградов», «закрытых» конструкторских бюро (КБ)) [16; 17]. Современная система организации работы с ГОЗ хотя и претерпела изменения, при этом сохранила ключевые черты централизованного планирования, но без адекватных механизмов адаптации к быстро меняющимся технологическим вызовам [1].

Сохраняющиеся конкурентные преимущества:

1. *Глубокая школа системной интеграции.* Уникальный опыт разработки и производства высоко интегрированных комплексов (противовоздушной обороны (ПВО), стратегические ракетные системы, в том числе стратегические атомные подводные лодки), в ходе создания которых координация тысяч подрядчиков была отработана до совершенства.

¹ Прорывные оборонные проекты – инновационные разработки, которые могут радикально изменить баланс сил в мировой военной и технологической сфере.

2. *Мобилизационная устойчивость.* Доказанная историческим опытом, включая последние годы, способность к концентрации ресурсов и достижению целей в условиях внешнего давления и ограничений.

3. *Научно-технический задел в критических нишах.* Сохранение мирового уровня в двигателестроении, радиоэлектронной борьбе, некоторых специальных материалах.

Ключевые системные вызовы:

1. *Пассивная роль заказчика.* Минобороны России часто выступает как «удалённый приемщик», слабо вовлечённый в совместное проектирование и портфельное управление рисками на ранних стадиях НИОКР.

2. *Инвестиционно-финансовые дисфункции.* Модель «затраты + норматив прибыли» в рамках ГОЗ стимулирует минимизацию риска и освоение бюджета на эволюционных проектах, делая прорывные НИОКР экономически невыгодными для корпораций. Проблема усугубляется фундаментальным разрывом между задачами ГПВ и реальными ресурсными возможностями оборонно-промышленного комплекса (ОПК), на что указывали эксперты ещё в начале 2000-х гг. [11].

3. *Негибкость планирования в условиях современного конфликта.* Опыт современных боевых действий с небывалой остротой выявил необходимость пересмотра несоответствия традиционной модели планирования ГПВ и ее адаптации к требованиям высокостатического конфликта. Жёсткий механизм программного управления развитием системы вооружения и пятилетнее планирование в условиях недостаточной гибкости для быстрой адаптации структуры и состава системы вооружения, высокая неопределённость приводят к запаздыванию в реагировании на новые вызовы [3; 18], что подтверждается потребностью в экстренном развёртывании производства средств, не предусмотренных первоначальными планами (например, таких как дроны-камикадзе) [2]. В этой ситуации вместо программно-целевого управления произошел полный или частичный переход к ситуационному управлению [18].

4. *Глубокий кадровый кризис.* Разрыв поколений, утечка талантов в гражданский сектор и за рубеж, эрозия института наставничества и падение социального престижа инженерной профессии. Как отмечено в работе [19], основная проблема заключается в «системном разрыве между традиционными советскими принципами воспроизводства инженерных кадров и современными рыночными условиями, что проявляется в утрате института наставничества, отсутствии недостаточном количестве целевых программ профессионального роста и подготовки кадров по ряду основных направлений научно-технологического развития, а также недостаточной интеграции высшей школы с потребностями предприятий ОПК» [19].

5. *Институциональная разобщённость и операционная неэффективность.* Слабая интеграция с гражданской наукой, передовыми достижениями институтов Российской академии наук (РАН) и высокотехнологичным бизнесом, фрагментация стандартов, создающая «технологические стены» между разработчиками.

Как показывает эмпирическое исследование организации производства в рамках ГОЗ, ключевой проблемой остаётся неэффективность производственных процессов, вызванных необходимостью переориентации на отечественные технологии, комплектующие изделия и материалы, ведущая порой к срывам сроков и росту издержек [9].

Уникальный опыт СССР в создании высоко интегрированных систем был особенно ярко выражен в области ракетно-космической обороны (РКО). Как отмечает в своей монографии непосредственный участник этих работ Е.Гаврилин, успех в создании таких систем определялся не только технологическим рывком, но и особыми методами управления государственными предприятиями. Они были основаны на личной ответственности руководителей программ, прямой связи между заказчиком и исполнителем, способности преодолевать колоссальную сложность через чёткую организацию кооперации [20]. Этот исторический опыт представляет собой квинтэссенцию сильных сторон советско-российской школы системной интеграции.

1.2 Американская модель: экосистема «полного цикла» и культура управляемого риска

Американская модель представляет собой эталон децентрализованной, рыночно-ориентированной инновационной экосистемы. Руководство процессом управления ВПК США осуществляется через систему органов различного уровня. При этом единый орган, отвечающий за координацию деятельности в военно-промышленном комплексе (ВПК), у государства отсутствует.

На высшем государственном уровне руководство военной сферой США осуществляет Президент, опирающийся на аппарат своей Администрации. Ключевыми звеньями в механизме принятия военно-политических решений выступают Совет национальной безопасности (СНБ), Административно-бюджетное управление и Бюро по разработке научно-технической политики. СНБ выполняет функции главного консультативного органа, координируя вопросы военно-экономического планирования, оснащения вооруженных сил и распределения ассигнований на закупку ВВСТ. В свою очередь Бюро по научно-технической политике обеспечивает интеграцию президентских структур с академической средой. Основным субъектом реализации данной политики и ключевым бенефициаром оборонных программ является Минобороны США². Отличительной особенностью ВПК США является определяющая роль рыночных отношений в распределении заказов.

Финансовое обеспечение оборонного сектора базируется на методологии программно-целевого планирования и концепции «Бюджетирования, ориентированного на результат», внедренной в 1960-х гг. Данный подход смещает фокус с формального контроля за расходованием средств на оценку конечной эффективности и целевой результативности программ. Технологический суверенитет государства и независимость в производстве всех классов ВВСТ поддерживаются за счет формирования масштабного научно-технического задела. Эта деятельность консолидирует потенциал агентства DARPA, корпорации RAND, университетских центров, военных лабораторий и высокотехнологичного малого бизнеса [21; 22].

Ключевые успешные практики:

1. *Автономное агентство DARPA.* Функционирует с высокой толерантностью к риску, управляя портфелем из сотен краткосрочных (3-5 лет) программ. Ключевой принцип – «управляемый провал», где неудача считается извлекаемым уроком [23]. Эта культура укоренена в американской правовой системе, где, как отмечает статья из Forbes³, «предприниматель может заявить о банкротстве согласно 11-й статье соответствующего кодекса и начать все заново. При этом он считается человеком, который по крайней мере попытался изменить мир» [21; 22]. За годы своего существования DARPA сыграло важную роль одного из основных драйверов технологических инноваций в США.

Эффективность проектной деятельности DARPA обусловлена синергией программно-целевого подхода и адаптивной организационной структуры. Минимизация административных барьеров обеспечивает агентству высокую оперативность при реагировании на вызовы национальной безопасности США. Обладая ограниченным штатом (около 240 сотрудников), ведомство использует четкую методологию отбора направлений исследовательских векторов. Применение инструментария технологического прогнозирования позволяет формировать задел перспективных решений, превентивно обеспечивая военно-политическое руководство страны необходимыми компетенциями.

2. *Многоуровневое финансирование и вовлечение бизнеса.* Развитие военно-технологического сектора в США характеризуется многоуровневой системой поддержки инноваций. Ключевыми институтами выступают:

- ранее упоминаемое агентство DARPA, обеспечивающее финансирование прорывных проектов;

² Асатрян А. Трамп переименовал министерство обороны США в министерство войны // Forbes.ru. 2025. 06 сентября. URL: <https://www.forbes.ru/society/545423-tramp-pereimenoval-ministerstvo-oborony-ssa-v-ministerstvo-voyny>

³ Виттиг М. Почему США остаются самой изобретательной экономикой планеты // Forbes.ru. 2013. 09 января. URL: <https://www.forbes.ru/sobytiya-column/231824-pochemu-ssha-ostayutsya-samoi-izobretatelnoi-ekonomikoi-planety>

- исследовательская корпорация RAND⁴, выполняющая роль аналитического центра в сфере национальной безопасности;
- специализированные лаборатории родов войск (AFRL, ONR);
- управление по внедрению инноваций (DIU), фокусирующееся на адаптации коммерческих технологий;
- федеральные программы SBIR/STTR, предоставляющие ускоренное финансирование малым инновационным компаниям.

Важным фактором коммерциализации технологий двойного назначения является развитая система защиты интеллектуальной собственности.

3. *Университетские кластеры как источник талантов.* В системе выполнения прорывных проектов военной направленности в США важное место отводится научно-исследовательским лабораториям и центрам Минобороны США, которые осуществляют свою деятельность в сотрудничестве с рядом национальных университетов через сеть так называемых Научно-исследовательских центров при университетах. Это обеспечивает гарантированный контроль над фундаментальными и прикладными исследованиями, ведущимися в гражданском секторе, что дает возможность использовать научную и лабораторную базу университетов и выявлять наиболее талантливых студентов, которые по окончании обучения могут получить гарантированное трудоустройство в научно-исследовательских учреждениях Минобороны США.

Так, теснейшая связь таких ведущих вузов, как Массачусетский технологический институт, Стэнфордский университет и др. с оборонными и технологическими компаниями создаёт постоянный приток «умственного капитала». При этом, как отмечают аналитики Центра стратегических и международных исследований (CSIS), существует острая конкуренция за таланты с гражданским сектором (IT-технологии, биотехнологии), что создаёт проблему сохранения критических компетенций в оборонном комплексе [21; 24; 25].

4. *Модульный открытый системный подход* (Modular Open Systems Approach, MOSA) – стратегическая инициатива Минобороны США по созданию модульных открытых систем. Ее ключевые преимущества: гибкость, масштабируемость, совместимость и экономическая эффективность. Стандартизация интерфейсов сокращает затраты на жизненный цикл, упрощает модернизацию и стимулирует конкуренцию, ограничивая монополию системных интеграторов.

1.3 Китайская модель: стратегия слияния военных и гражданского секторов как тотальная мобилизация

Развитие ОПК в Китае осуществляется под руководством высшего политического руководства и характеризуется сложной системой управления, реформами и стратегическим планированием.

Вопросы ОПК курирует Государственное управление оборонной науки, техники и промышленности (ГУОНТП), которое входит в структуру Министерства промышленности и информатизации. На него возложена задача координации работы промышленности и научных центров по выполнению поступающих от Главного управления вооружений и военной техники (ГУВВТ) заказов на проведение НИОКР и выпуск продукции военного назначения. Это ведомство непосредственно распределяет работы по выполнению этих заказов между конкретными предприятиями, при этом в некоторых случаях используются конкурсные механизмы [26-28]. ГУОНТП также осуществляет планирование развития отрасли, разрабатывает правовую базу для работы предприятий, ведёт работу по контролю качества, безопасности на предприятиях отрасли и соблюдению стандартов, отвечает за международные контакты в сфере оборонной промышленности.

⁴ В числе методологических достижений RAND – система программного планирования и бюджетирования (PPBS) и метод сравнительной эффективности, впоследствии интегрированные в практику Минобороны США.

Важным аспектом деятельности ГУОНТП является организация подготовки инженерных кадров для оборонной промышленности.

Мощным инструментом, превращающим Китай в военно-технологическую державу, является военно-гражданская интеграция. Технологические возможности Китая резко выросли в последние годы за счет значительных усилий по реформированию оборонного научно-технологического сектора, построенного на основе советского опыта.

В период «холодной войны» оборонный сектор Китая находился в привилегированном положении и развивался практически автономно, с начала 2000-х гг. его технологическое развитие осуществляется в рамках реализации Стратегии слияния военных и гражданского секторов (Military-Civil Fusion – MCF). На замену модели «догоняющего развития», которая предполагала широкое использование иностранных технологий, пришла и в настоящее время реализуется новая стратегия китайского технологического развития, в рамках которой развитие Китая осуществляется в направлении создания инновационной системы в сфере науки и технологий, интегрирующей военные и гражданские научно-технологические ресурсы, включая фундаментальные научные исследования, НИОКР, проектирование и производство военной и гражданской продукции [21; 25-28].

Как отмечает М.Раска, MCF представляет собой концептуальную рамку для тотальной интеграции технологических, промышленных и человеческих ресурсов нации в интересах военной модернизации [29]. Эта стратегия характеризуется масштабом, широтой охвата, системным подходом и предполагает: интеграцию предприятий ОПК и гражданских технологических компаний; встраивание требований военного заказчика в гражданскую инфраструктуру и использование этой инфраструктуры в военных целях. Это дает возможность Китаю наращивать военную мощь, как отмечают эксперты, «с непревзойденной скоростью».

В реализации стратегии MCF задействованы такие научно-исследовательские учреждения как Академия наук КНР, Инженерная академия Китая, которые также вносят вклад в военные исследования и разработки. При вузах созданы государственные ключевые лаборатории, которые выступают в качестве научно-исследовательских центров, отвечающих за проведение исследований по конкретному узкоспециальному направлению, внедрению инновационных технологий. На решение задач инновационного лидерства в области технологий двойного назначения в рамках военно-гражданской интеграции нацелены также частные инвестиционные компании, находящиеся под государственным контролем [26].

Ниже в табличном виде представлены ключевые институты, механизмы (таблица 1), системные преимущества и системные риски (таблица 2) стратегии MCF.

Важным фактором военно-технологического подъема Китая, превратившего его в одного из главных лидеров в области создания и использования искусственного интеллекта и квантовых технологий, является то, что правительство Китая в свое время приняло меры, направленные на то, чтобы обеспечить беспроцентные займы оборонным корпорациям, оптимизировать сектор оборонной промышленности, сократить издержки, разработать общие стандарты промышленности и вооруженных сил для продукции двойного назначения и используемых для ее производства технологий. Для обмена знаниями, участия в совместных исследовательских проектах поощряется создание совместных китайских и иностранных предприятий, университетов и исследовательских учреждений.

Значительное влияние на эффективность выполняемых оборонных НИОКР оказали реализованные реформы в области прав интеллектуальной собственности и патентного регулирования, практика привлечения передовых иностранных технологий в гражданский сектор в силу его якобы «невоенного статуса», поддержка выезда талантливых студентов для обучения за рубежом западным технологическим достижениям с обязательным возвращением в Китай для работы в организуемых для них лабораториях.

Также стоит отметить, что с начала 2000 года директивное планирование, начиная с Национального среднесрочного и долгосрочного плана развития науки и техники (2006-2020 гг.), стало постепенно уступать свои позиции целевому планированию. Современные планы, такие как план «Сделано в Китае 2025», принятый в мае 2015 года, и план «Интернет плюс», принятый в июле 2015 года, являются в полной мере документами целевого планирования.

Таблица 1 – Ключевые институты и механизмы стратегии MCF

Ключевые институты		Ключевые механизмы	
Институт	Функция	Механизм	Эффект
Партийные комитеты в частных компаниях	Партийный контроль. Проведение единой политики на всех уровнях	Использование рыночных преимуществ	Гражданские компании обеспечивают скорость масштабирования и снижения затрат
MCF-кластеры и специальные зоны	Территории с льготным режимом для интеграции оборонных и гражданских производств и обеспечения беспрепятственного потока технологий, данных и кадров	Централизованное преодоление «узких мест»	Концентрация ресурсов на ликвидации критических зависимостей (например, в микроэлектронике и программном обеспечении)
Единые пятилетние планы	Сквозное планирование развития оборонного и гражданского производств	Двунаправленный трансфер технологий	Не только из оборонного сектора в гражданский, но и активный импорт инноваций в «оборонку»
Госкорпорации и «национальные чемпионы» (Huawei, DJI Baidu)	Прямое вовлечение гражданских гигантов в решение оборонных задач	Единые стандарты	Сближение военных и гражданских стандартов в MCF-кластерах
Государство	Приоритетное развитие науки, мотивация научных кадров		

Таблица 2 – Системные преимущества и системные риски стратегии MCF

Системные преимущества		Системные риски	
Беспрецедентная скорость масштабирования	Гражданские производственные мощности мгновенно переключаются на оборонные задачи	Избыточный партийный контроль	Может подавлять творческую свободу, критическую для фундаментальных инноваций
Снижение затрат	Эффект масштаба гражданского рынка удешевляет оборонные разработки	Политическая цена провала	Высокий карьерный риск при неудачах снижает готовность к экспериментам
Сквозная кооперация	Отсутствие «китайской стены» между секторами	Закрытость информации	Ограничивает кросс-отраслевое обучение и диффузию лучших практик

План «Сделано в Китае 2025» акцентирован на расширении возможности китайской промышленности и ее переходу к стадии четвертой промышленной революции. Его значение для обеспечения обороны и безопасности заключается в том, что новые производственные возможности, открывающиеся перед страной, позволяют значительно увеличить оснащенность китайской армии [21; 25; 26].

Основной идеей плана «Интернет плюс» является перенос опыта эффективного использования интернета в потребительском секторе на промышленный комплекс, в том числе на «оборонку», что позволяет ускорить технологическое развитие.

Таким образом, сильные стороны китайской системы управления прорывными оборонными проектами в мобилизационной связке «цель-ресурсы-интеграция». В рамках этой системы проще концентрировать ресурсы на выбранных направлениях, интеграция с гражданским сектором экономики обеспечивает масштабный переток технологий/кадров/производственных компетенций в оборонные цепочки, реализуется системная промышленная политика: согласование НИОКР-производство-экспорт/внутренний спрос.

1.4 Интегральные оценки сравнительного анализа моделей управления сложными оборонными проектами

Таблица 3 – Сравнительный анализ систем управления прорывными оборонными проектами

Критерий	СССР (историческая модель)	США (экосистемная модель)	Китай (модель MCF)	Россия (современная модель)
Базовый принцип	Центр. планирование, мобилизация на ключевые проекты (атомный, космос)	Рыночная конкуренция, гос-во как катализатор рисков идей	Гос. стратегия стирания границ между секторами (MCF)	ГПВ/ГОЗ, программно-целевое планирование
Ключевой институт	Головные НИИ и КБ («школы»), Госплан	DARPA, DIU, сеть лабораторий родов войск, SBIR/STTR	Комиссия ЦК КПК, MCF-кластеры, госкорпорации	Минобороны (заказчик), корпорации ОПК, ФПИ
Финансирование НИОКР	100% госбюджет, целевое финансирование проектов	80% – корпорации, 20% – госбюджет. Гибкие контракты (OTA, SBIR)	70%+ – госфонды и госкорпорации. Прямое инвестирование в приоритеты	90%+ – госбюджет через ГОЗ. Модель «затраты +»
Культура отношения к риску	Неприемлем. Провал = срыв госплана, ответственность	Управляемый риск. Провал = извлекаемый урок (до 50% проектов DARPA)	Политически неприемлем. Провал = карьерный риск. Высокий оперативный риск	Неприемлем. Провал = финансовые и репутационные потери, уголовная ответственность
Интеграция с гражданским сектором	Жёстко разделены. Технологический трансфер сверху вниз	Dual-use через рынок. Гибкие правила ИС, коммерциализация	Полное слияние (MCF). Гражданские компании – часть оборонной цепочки	Фрагментированная, точечная. Слабые правовые механизмы dual-use
Стандартизация	Ведомственные стандарты, закрытые архитектуры	Открытые стандарты (MOSA), обязательные для новых систем	Сближение военных и гражданских стандартов в MCF-кластерах	Разрозненные, корпоративные стандарты. Отсутствие аналога MOSA
Мотивация кадров	Идеология и престиж: служение национальной идее, высокий соцстатус, полный пакет соцгарантий	Меритократия и вознаграждение: высокие зарплаты, культура «второго шанса», статус успеха, глобальные возможности	Патриотизм и карьера: идеология «возрождения нации», быстрый карьерный рост в системе, масштаб ресурсов	Кризисная: наследие советской школы (ослабело), мобилизация под давлением, дисбаланс между ответственностью и вознаграждением

2 Диагностика системных проблем российской модели и ограниченность текущих инструментов

Анализ показывает, что современная российская система управления прорывными оборонными проектами не лишена недостатков и комплекса взаимосвязанных проблем. Как отмечает Дж.Купер, несмотря на значительные инвестиции и амбициозные программы, российская оборонная промышленность сталкивается с фундаментальными вызовами в области управления инновациями и кадрами [8].

- *Роль заказчика*: требуется переход от роли формального макрозаказчика к роли активного «соавтора» и интегратора на всех этапах жизненного цикла.

- *Финансовые стимулы*: Жёсткая модель ГОЗ несовместима с финансированием высокорисковых прорывов. Необходимы новые механизмы, сочетающие риск-ориентированное финансирование с возможностью сверхприбыли от успеха и гражданской коммерциализации.

- *Стандарты*: Отсутствие отечественного аналога MOSA приводит к фрагментации, несовместимости решений и росту стоимости жизненного цикла.

2.1 Консолидированная экспертная критика в трудах отечественных специалистов

Проблемы российской системы управления оборонными проектами не являются новыми и отражены в научных статьях ученых, работающих по военной тематике, и ключевых российских экспертов. Их критические оценки отражаются в диагностике ключевых дисфункций:

1. *Несо согласованность стратегического планирования*. Фундаментальная проблема разрыва между амбициозными целями ГПВ и реальными производственными, финансовыми и кадровыми возможностями ОПК была выявлена авторами работы [11] ещё в начале 2000-х гг. Последующие работы В.Буренка, Г.Лавринова, А.Рахманова [3; 5; 7] и других исследователей подтверждают, что проблема системного несоответствия между ГПВ и госпрограммами развития ОПК остаётся актуальной.

2. *Комплекс системных болезней ОПК*. Один из авторов настоящей статьи в более поздних работах, таких как «8 проблем российского ОПК ...» [7], а также в других статьях, посвященных реструктуризации ОПК, даёт развёрнутый анализ хронических проблем комплекса, включая технологическое отставание от США и Китая, неэффективное управление и низкую инновационную активность.

3. *На операционную неэффективность исполнения ГОЗ* указывается в работах [4; 9]: корень многих проблем в архаичной организации производства и управления внутри самой системы исполнения заказов. Это порой приводит к срывам сроков, перерасходу средств и демотивации персонала.

Эта консолидированная экспертиза доказывает⁵, что системные вызовы носят глубокий и устойчивый характер, а не являются следствием временных трудностей.

2.2 ФПИ и DARPA: принципиальные отличия

Особого внимания заслуживает анализ деятельности Фонда перспективных исследований (ФПИ), созданного в 2012 году для содействия осуществлению научных исследований и разработок, связанных с высокой степенью риска, в интересах модернизации Вооруженных Сил РФ, разработки и создания инновационных технологий и производства высокотехнологичной продукции, в т.ч. ВВСТ. Несмотря на декларируемую миссию, ФПИ принципиально отличается от DARPA. Если DARPA, как подробно описано Р.Ван Атта, является «встроенным в магистраль» органом с прямыми каналами влияния на закупки Пентагона и

⁵ Аналогичные соображения высказывали и иностранные специалисты. Так, американский ведущий историк российской и советской науки Л.Грэхэм писал, что советская система, хотя и создавала «закрытые», привилегированные сообщества (атомграды), которые компенсировали отсутствие рыночных стимулов идеологией, имели особый статус, и в конечном итоге столкнулась с проблемами инновационной гибкости [16].

отраслевые стандарты [23], то ФПИ остаётся скорее «фондом проектов». Это делает его эффективность, как нам представляется, ограниченной в рамках существующей системы, что согласуется с общей критикой отсутствия «инновационного контура», интегрированного в основной процесс планирования и закупок [7].

2.3 Вопрос заимствования

Завершая сравнительный анализ моделей управления, заметим, что механическое перенесение зарубежных моделей управления оборонными проектами в российские условия представляется методологически некорректным. Российская экономика в настоящее время находится в стадии структурной трансформации, характеризуется сочетанием рыночных и административных механизмов регулирования, высокой ролью государства в стратегических секторах и продолжающимся процессом адаптации к санкционным ограничениям. В этих условиях институциональная среда функционирования предприятий ОПК существенно отличается от экономической среды США и Китая.

Следовательно, заимствование отдельных организационно-экономических механизмов должно осуществляться с учетом специфики отечественной бюджетной системы, уровня развития финансового рынка, структуры собственности интегрированных холдингов и особенностей взаимодействия государства и бизнеса. Речь может идти не о копировании моделей, а об адаптации их отдельных элементов в рамках национальной правовой и экономической архитектуры.

3 Предложения по совершенствованию управления ГОЗ

Проведённый анализ исторического опыта управления сложными оборонными проектами в СССР в работе [15] и в настоящей статье, а также сопоставление с современными зарубежными моделями показывают, что результативность прорывных программ/проектов определяется согласованностью стратегического задания, финансового обеспечения, институциональной архитектуры и научно-технологического обеспечения [1; 16; 17]. Советская система программно-целевого управления развитием ВВСТ обеспечивала высокую степень взаимосвязи военной науки, промышленности и органов стратегического планирования [6; 11; 15]. В современных условиях данная взаимосвязь частично ослаблена, что фиксируется в ряде исследований по проблемам формирования ГПВ, ГОЗ, функционирования ОПК [4; 7].

Модернизация системы управления государственным оборонным заказом должна носить эволюционный характер и быть направлена на восстановление стратегической согласованности без разрушения действующих институтов. В этой связи представляется целесообразным рассмотреть возможность организации государственной координационной надстройки в форме надведомственного центра механизма, ориентированного на координацию и контроль прорывных направлений развития вооружения. Данный механизм должен функционировать в связке с постоянной действующей дискуссионной площадкой, например, на базе Российской академии ракетных и артиллерийских наук (РАРАН), обеспечивающей научно-экспертное обоснование принимаемых решений [5].

Как подчёркивается в исследованиях В.Буренка, Г.Лавринова и их соавторов, эффективное управление оборонными проектами требует системной интеграции научного потенциала, промышленной кооперации на механизмах стратегического планирования [5; 10].

Следовательно, ключевым элементом модернизации является восстановление связности этих контуров на основе профессионального экспертного сопровождения. Предлагаемый комплекс мер формирует четырёхуровневую архитектуру модернизации.

Первый уровень – стратегическое планирование. Он предполагает усиление роли развития программно-целевого планирования при формировании ГПВ с учётом изменившегося характера вооружённой борьбы [1-3].

Второй уровень – институциональная координация. Он направлен на восстановление и развитие научно-координационных механизмов и межотраслевого согласования [6; 10].

Третий уровень – наука и кадры. Он предусматривает развитие системы подготовки научных кадров высшей квалификации и укрепление военно-научного сопровождения процессов выполнения проектов создания систем и образцов ВВСТ [19].

Четвёртый уровень – экономические и организационные механизмы. Он включает совершенствование финансовых инструментов и механизмов стимулирования инновационной активности предприятий [12; 13].

Сопоставление с зарубежным опытом показывает, что эффективность американской модели во многом обеспечивается правилами портфельного риска и поддержкой инновационной экосистемы [23; 24], тогда как китайский подход опирается на военно-гражданскую интеграцию и централизованную координацию технологического развития [29-31]. Однако прямое воспроизведение этих моделей в российских условиях представляется ограниченным, требуется адаптация отдельных инструментов к национальной экономической и институциональной специфике [5].

Таким образом, предложенная четырёхуровневая архитектура модернизации процессов управления оборонными проектами нацелена на институциональную настройку действующей системы ГОЗ и усиление стратегической координации реализации прорывных программ. Стержневым условием является развитие координационно-контрольного надстроечного механизма в связке с организацией постоянной профессиональной дискуссии на площадке РАРАН, обеспечивающей научно-экспертное обоснование модернизации.

4 Механизмы реализации преобразований

Если в предыдущем разделе была сформулирована архитектура модернизации системы управления ГОЗ, то её практическая реализация требует выстраивания последовательного институционального механизма, охватывающего стратегический, научный, организационный и финансово-цифровой контуры.

1. *Процедурная реализация стратегического уровня.* Усиление роли генерального заказчика и адаптивность программно-целевого планирования предполагают внедрение регулярной процедуры стратегической верификации исходных требований и параметров ГПВ с участием профильных научно-исследовательских организаций (НИО) Минобороны России и ОПК, экспертного сообщества [1; 3]. Такая процедура в обязательном порядке должна включать:

- оценку реализуемости целевых тактико-технических характеристик систем и образцов ВВСТ;
- анализ ресурсной обеспеченности программ и проектов;
- сопоставление стратегических сценариев с текущими технологическими возможностями.

2. *Механизм институциональной координации.* Координационная надстройка, предложенная в предыдущем разделе 3, должна функционировать как надведомственный механизм стратегического мониторинга прорывных программ. Её задачами являются:

- выявление межотраслевых узких мест;
- синхронизация решений по НИОКР, стандартизации и серийному производству;
- ускоренное продолжение практики оперативной корректировки приоритетов по результатам эксплуатации образцов ВВСТ и анализа боевого опыта их применения [2; 4].

При этом предлагаемый механизм реализации предложений в части совершенствования управления проектами не подменяет существующие органы управления, а обеспечивает согласование их решений.

3. *Научно-аналитическое сопровождение.* Ключевым элементом устойчивости реформ является формирование постоянного научно-экспертного контура посредством организации дискуссионной площадки на базе РАРАН в кооперации с профильными НИО, что должно обеспечивать:

- научную экспертизу стратегических решений;
- оценку реализуемости программ и технологических рисков;
- подготовку аналитических заключений по корректировке требований;
- формирование предложений по развитию оборонных компетенций [5; 6].

Таким образом, РАРАН и профильные НИО выступают не только как консультативный орган, но и как постоянный аналитический инструмент модернизации, совершенствования процессов управления прорывными проектами.

4. *Кадрово-мотивационный контур.* Реализация преобразований невозможна без воспроизводства научных и инженерных кадров [19]. В этой связи механизм модернизации должен включать:

- программы подготовки специалистов по управлению сложными проектами;
- совершенствование мотивационной модели персонала высокотехнологичных предприятий [12];
- формирование карьерных траекторий для исследователей и конструкторов.

5. *Финансово-цифровая поддержка.* Инструментальной основой механизма является совершенствование процедур финансирования НИОКР и внедрение цифровых инструментов управления жизненным циклом продукции [9; 10]. Это позволяет обеспечить прозрачность исполнения ГОЗ и оперативность управленческих решений.

Таким образом, механизм реализации модернизации системы управления прорывными оборонными проектами представляет собой взаимосвязанную систему процедур: стратегическая верификация требований, межведомственная координация, постоянное научно-аналитическое сопровождение, кадровое обеспечение и цифровая поддержка. Именно процедурная устойчивость данного механизма обеспечивает практическую реализуемость предложенной архитектуры преобразований.

Заключение

Проведённый анализ позволяет сформулировать несколько принципиальных выводов. *Во-первых*, современная система управления государственным оборонным заказом во многом утратила преимущества советской модели программно-целевого управления, основанной на стратегической целостности, опоре на военную науку и институциональной ответственности заказчика [6; 11]. Сильными сторонами данной системы являлись развитое военно-научное сопровождение, устойчивые конструкторские школы, преемственность поколений инженеров и системных аналитиков, а также тесная интеграция научных институтов с промышленностью. Ослабление этих элементов привело к снижению стратегической связности и управляемости при реализации сложных проектов [1; 4].

Во-вторых, зарубежные модели управления оборонными программами (США и Китая) демонстрируют высокую результативность устойчивых экономических и институциональных систем в условиях специфики этих стран. Российская экономика сохраняет черты переходной структуры, что ограничивает возможность прямого заимствования внешних моделей. Следовательно, модернизация должна опираться на восстановление и развитие собственных сильных сторон – прежде всего научного, кадрового и конструкторского потенциала – с адаптацией современных инструментов управления [5].

В-третьих, ключевым условием результативности реформ является формирование устойчивого кадрово-научного контура. Без системного воспроизводства научных кадров высшей квалификации, укрепления профильных НИО Минобороны России, развития отраслевых НИО ОПК и сохранения конструкторских школ невозможно обеспечить ни стратегическую верификацию требований, ни реалистичность программно-целевых решений [19]. Конструкторская школа – это не только технологический опыт, но и культура системного мышления, способность к интеграции разнородных решений и управлению рисками сложных проектов. В этой связи модернизация системы управления ГОЗ должна включать:

- восстановление полноценного военно-научного сопровождения стратегических программ;
- институционализацию постоянного научно-аналитического контура на базе РАРАН в кооперации с профильными НИО с целью экспертной оценки реализуемости решений;
- формирование механизмов поддержки и воспроизводства конструкторских школ, включая целевую подготовку кадров и передачу компетенций следующему поколению;
- совершенствование мотивационных и организационных условий деятельности инженерного и исследовательского персонала [12].

Таким образом, основой модернизации управления ГОЗ является не отказ от отечественной традиции программно-целевого управления, а её развитие через усиление научного и кадрового фундамента. Устойчивость сложных оборонных проектов определяется не только институциональной координацией, но и наличием сильных научных школ, профессионального инженерного сообщества и постоянного аналитического сопровождения принимаемых решений.

Авторы приглашают представителей военной науки, органов стратегического планирования, промышленности и научного сообщества включиться в профессиональное обсуждение путей модернизации системы управления сложными оборонными проектами на базе РАРАН.

Список источников

1. Волков В.И., Быстров Е.Н. Гособоронзаказ: состояние с выполнением и проблемные вопросы развития предприятий ОПК // Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России. 2020. №2. С.41-54.
2. Буренок В.М. О перспективах развития вооружения, военной и специальной техники на основе опыта специальной военной операции // Вооружение и экономика. 2024. №2(68). С. 5-9.
3. Буренок В.М. Проблемы программно-целевого планирования в современных условиях // Вооружение и экономика. 2025. №2(72). С. 5-8.
4. Волков В.И., Богатырева Э.М. Оборонно-промышленная политика и ее влияние на экономическую безопасность // Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России. 2018. №4. С.13-19.
5. 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.
6. Ачасов О.Б., Бабкин Г.В., Буренок В.М., Лавринов Г.А. Основные вехи отечественной истории программного управления развитием вооружения // Вооружение и экономика. 2022. №3(61). С. 7-27.
7. Рахманов А.А. 8 проблем российского оборонно-промышленного комплекса и пути их решения // Воздушно-космическая сфера. 2016. №2(87). С. 106-111.
8. Cooper J. The Russian defence industry: Challenges and reform prospects. London: Chatham House, 2016. 40 p.
9. Гудкова О.Е. Практика применения концепций организации производства по выполнению государственного оборонного заказа // Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России. 2020. №1. С. 62-73.
10. Буренок В.М., Лавринов Г.А. Механизм технического оснащения ВС РФ: новым условиям функционирования – новое свойство // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2021. №3(118). С. 3-12.
11. Рахманов А.А., Буренок В.М., Лавринов Г.А. Оценка реализуемости Государственной программы вооружения // Военная мысль. 2001. №4. С. 12-19.
12. Адамов А.А., Бабкин Г.В., Лавринов Г.А. К вопросу о мотивационной модели персонала высокотехнологичных оборонных предприятий среднего бизнеса // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2021. №1(116). С. 13-23.
13. Адамов А.А., Бабкин Г.В., Лавринов Г.А. Инновационная деятельность высокотехнологичных оборонных предприятий среднего бизнеса в условиях интенсификации научно-технического прогресса // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2020. №2(112). С. 17-21.
14. Буренок В.М. Концептуальный тупик // Вооружение и экономика. 2019. №3(49). С. 4-10.
15. Рахманов А.А., Волков В.И., Гаврилин Е.В., Бавижев М.Д. Анализ факторов успеха советской системы управления созданием сложных оборонных проектов // Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России. 2026. №1. С.40-50.
16. Graham L. R. The Ghost of the Executed Engineer: Technology and the Fall of the Soviet Union. Cambridge: Harvard University Press, 1993. 128 p.
17. Черток Б.Е. Ракеты и люди: в 4 кн. 2-е изд. М.: Машиностроение, 1999. 4 кн.
18. Буренок В.В. Проблемы программно-целевого планирования в современных условиях // Вооружение и экономика. 2025. №2(72). С. 5-8.

19. Рахманов А.А. Проблемы военной науки и подготовки научных кадров высшей квалификации // Вооружение и экономика. 2017. №4(41). С. 81-89.
20. Гаврилин Е.В. Не отверженные: 60 лет в РКО. М.: Техносфера, 2021. 353 с.
21. Губинский А.М. Управление технологическим развитием в сфере обороны и безопасности России, США и Китая: исторические аспекты и современный опыт: в 3 т. Т.II: США. М.: Издательские решения, 2021. 710 с.
22. Суворов А.Е., Бочаров Л.Ю., Корчак В.Ю., Тужиков Е.З., Реулов Р.В., Волковский Н.Л. DARPA и наука Третьего рейха: оборонные исследования США и Германии / Под общ. ред. А.Е. Суворова. М.: Техносфера, 2015. 208 с.
23. Van Atta R.H. Fifty Years of Innovation and Discovery // DARPA: 50 Years of Bridging the Gap. Arlington: DARPA, 2008. P. 20-29.
24. Jones S.G. Empty Bins in a Wartime Environment: The Challenge to the U.S. Defense Industrial Base. Washington: CSIS, 2023. 44 p.
25. Губинский А.М. Оборонная промышленная база США и Китая: монография. М.: Издательские решения, 2026. 312 с.
26. Губинский А.М. Управление технологическим развитием в сфере обороны и безопасности России, США и Китая: исторические аспекты и современный опыт: в 3 т. Т.III: Китай. М.: Издательские решения, 2021. 652 с.
27. Каменнов П.Б. Стратегия военно-гражданской интеграции Китая // Азия и Африка сегодня. 2025. №1. С. 14-21.
28. Каменнов П.Б. Китайский военно-промышленный комплекс при Си Цзиньпине // Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право. 2017. Т.10. №5. С. 135-151.
29. Raska M. The PLA's Military-Civil Fusion strategy: A conceptual framework // RSIS Commentary. 2021. No.054. 4 p.
30. Cheung T.M. The Chinese defense economy's long march from imitation to innovation // Journal of Strategic Studies. 2011. Vol.34. No.3. P. 325-354.
31. Kania E.B., Laskai L. Myths and Realities of China's Military-Civil Fusion Strategy. CNAS Report. Washington: Center for a New American Security, 2021. 48 p.

Информация об авторах

- А.А. Рахманов – доктор технических наук, профессор, SPIN 2237-9170.
В.И. Волков – доктор экономических наук, профессор, SPIN 9557-6318.
Е.В. Гаврилин – доктор технических наук, профессор.
М.Д. Бавижев – доктор физико-математических наук, профессор, SPIN 9409-0418.

Научная статья
УДК 331

Экономико-математическая модель прогнозирования полной себестоимости производства воздушных судов и их компонентов

Александр Геннадьевич Подольский, Павел Евгеньевич Данилин,
Дмитрий Вадимович Кондратьев

Аннотация. Показана практическая важность учета эффекта обучения при планировании производства и разработке стратегии снижения издержек предприятий отечественного авиастроения, и приводятся принципы, которыми при этом следует руководствоваться на практике. Предложен методический подход к прогнозированию себестоимости летательных аппаратов и их компонентов, основанный на эффекте обучения на производстве, позволяющий повысить обоснованность прогнозной себестоимости. Приводятся результаты ретроспективного анализа термина «эффект обучения» от первых наблюдений Т. Райта в авиастроении до современных исследований.

Ключевые слова: авиастроение; воздушное судно; кривая обучения; прогнозирование; себестоимость; трудоемкость; эффект обучения

Для цитирования: Подольский А.Г., Данилин П.Е., Кондратьев Д.В. Экономико-математическая модель прогнозирования полной себестоимости производства воздушных судов и их компонентов // Вооружение и экономика. 2026. №1(75). С. 83-94.

Original article

Economic and Mathematical Forecasting Model of the Aircrafts and Their Components Total Cost Production

Aleksandr G. Podolskii, Pavel E. Danilin, Dmitrii V. Kondratev

Abstract. The article demonstrates the practical importance of the learning aspect appreciation in the course of production planning and cost reduction strategy development for domestic aircraft manufacturing companies, and outlines certain principles for practical application. A methodological approach to the cost forecast of aircrafts and their components is proposed, based on the learning aspect value in production that provides improved validity of forecasted costs. The results of a «learning trajectory measurement effect» term retrospective analysis are presented, spanning from T. Wright's first observations in aircraft manufacturing to modern research.

Keywords: aircraft manufacturing; aircraft; learning curve; forecasting; cost; labor intensity; learning effect

For citation: Podolskii A.G., Danilin P.E., Kondratev D.V. Economic and Mathematical Forecasting Model of the Aircrafts and Their Components Total Cost Production. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2026;75(1): 83-94. (In Russ.).

В настоящее время перед российским авиастроением поставлены стратегические цели, направленные на обеспечение военной безопасности страны, авиатранспортной доступности и связанности регионов страны, мобильности населения и безопасности полетов, а также на достижение технологического суверенитета в авиастроении.

Достижение стратегических целей осуществляется посредством разработки и изготовления военной и специальной техники, в том числе авиационной, поставляемой в рамках государственного оборонного заказа, а также гражданской техники, создаваемой в рамках реализации Комплексной программы развития авиатранспортной отрасли Российской Федерации до 2030 года (КПГА), утвержденной распоряжением Правительства РФ¹. Программами государственного оборонного заказа (ГОЗ) и КПГА предусмотрены значительные объемы производства самолетов различных типов для нужд военной и гражданской авиации, а также широкой номенклатуры компонентов на всех уровнях кооперации изготовления воздушных судов.

Это обуславливает актуальность решения задачи эффективного использования бюджетных средств, выделяемых на производство как военной, так и гражданской техники

¹ Распоряжение Правительства РФ от 25 июня 2022 г. №1693-р «Об утверждении комплексной программы развития авиационной отрасли Российской Федерации до 2030 года».

в условиях дефицита бюджетных средств, а также обеспечения привлекательности закупки авиационной техники для российских авиакомпаний.

В этой связи одним из целевых ориентиров КПГА является снижение цены гражданских самолетов на 2% ежегодно в течение 5 лет относительно базовой цены 2025 года по мере освоения производства воздушных судов. Однако отсутствие методического аппарата, позволяющего вырабатывать обоснованные управленческие решения, направленные на достижение указанного целевого ориентира, не позволяет объективно формировать цены на воздушные суда и их компоненты.

При этом еще во времена существования СССР специалистами в области научной организации труда было выявлено, что совершенствование процессов труда по мере роста объемов выпускаемой продукции ведет к уменьшению затрат времени на выполнение операций трудового процесса за счет эффекта обучения на производстве [1]. Так, в работах К.Джурабаева показано влияние масштабов производства, величины и повторяемости партии деталей на затраты рабочего времени [2; 3].

На отраслевом уровне Министерством авиационной промышленности СССР разрабатывались нормативные модели с использованием кривых обучения. Впоследствии данные компетенции в отечественном авиастроении были фактически утрачены, в то время как обучение является одним из важнейших факторов, оказывающих влияние на себестоимость авиационной техники.

Результаты исследований в области учета фактора обучения на производстве и его экономической интерпретации опубликованы в работах зарубежных ученых, к которым прежде всего следует отнести [4-8]. В статье [9] отмечен универсальный характер кривой обучения и продемонстрировано ее проявление в различных отраслях промышленности, а в публикации [10] проведен сравнительный анализ различных математических моделей кривых обучения.

Среди российских исследований по данной тематике следует выделить публикацию [11], в которой описана линейная динамическая модель обучения в процессе производства; статью [12], в которой решена задача определения регрессионных функций кривых обучения в серийном производстве автомобилей; публикацию [13], содержащую описание применения методики кривой освоения в отрасли железнодорожного машиностроения; монографию [14], посвященную экономическому и математическому анализу эффекта обучения на производстве; публикации [15; 16], посвященные рассмотрению методики построения кривой обучения как инструмента планирования в решении производственных задач.

В то же время вопросу взаимосвязи объемов выпуска и затрат, соответствующих отдельным статьям калькуляции и отражающих сложные кооперационные цепочки и особенности экономики авиастроительных предприятий, уделено недостаточное внимание.

В промышленных условиях эффект обучения на производстве впервые был выявлен в 1936 году Т.Райтом в авиастроении. Согласно результатам его исследований, средние трудозатраты на производство самолетов снижаются по мере роста объема их производства нарастающим итогом [17]. При этом двукратное увеличение объема выпущенной продукции ведет к уменьшению трудоемкости производства единицы продукции на определенный процент от предыдущего значения, что графически выражается в виде кривой обучения (рисунок 1).

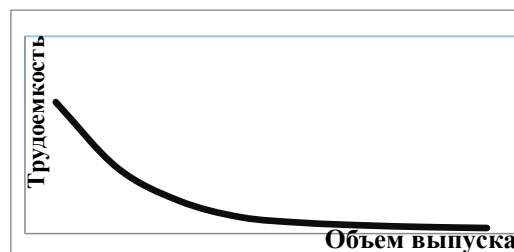


Рисунок 1 – Кривая обучения на основе экономической модели Т. Райта
Источник: составлено авторами на основе [17]

Кривая обучения в общем виде отражает зависимость трудоемкости производства от накопленного объема выпуска продукции. При этом с экономической точки зрения эффект обучения трактовался как феномен повышения производительности труда при повторных выполнениях идентичного задания [18]. Анализ прогнозных оценок трудоемкости производства воздушных судов, полученных с использованием кривой обучения, показал достаточно высокую их точность [5].

В 1960-1970-е гг. учет фактора обучения получил свое развитие в западной экономической литературе. В работах К.Эрроу, П.Ромера, Э.Шешински были предложены эндогенные модели экономического роста, согласно которым устойчивый экономический рост возможен на основе технического прогресса и обучения работников в процессе производственной деятельности [6; 7], а производительность труда определялась как функция времени и накопленного производственного опыта [8]. Предложенные модели не только отражали экономическую интерпретацию эффекта обучения, но и использовались в качестве инструмента внутрифирменного прогнозирования и планирования.

В этот же период времени специалистами Бостонской консалтинговой группы (BCG) концепция кривых обучения была расширена до «кривых опыта» в рамках стратегического менеджмента. Модель Б.Хендерсона, основателя BCG, имеет сходство с законом Т.Райта: каждое удвоение объема выпущенной продукции приводит к уменьшению затрат на определенный процент [4]. Данную модель отличает универсальность, а также применимость к производству любых товаров или услуг. Модель кривой опыта была использована BCG в стратегических рекомендациях General Instrument Corporation для моделирования и прогнозирования издержек.

В отечественной практике промышленного производства кривые обучения широко применялись и использовались для разработки экономически обоснованных норм времени. Учеными СССР проводились интенсивные научные исследования в области разработки закономерностей освоения производственных процессов, основ их высокоэффективного применения в разнообразных сферах трудовой деятельности, производства и управления².

К современным исследованиям по данной тематике относится разработанная Л.Варшавским динамическая модель затрат на производство продукции, отражающая связь между величиной экономии затрат, вызванной обучением и объемами производства в текущий и предыдущие моменты времени [11]. Данная модель может использоваться применительно к производству продукции в различных отраслях промышленности, например, для моделирования затрат на производство военных или гражданских воздушных судов. Вопросы взаимодействия оборонного и гражданского секторов экономики, требуемого для обеспечения военной безопасности страны и укрепления технологического суверенитета, рассмотрены в статье [19].

Постепенно эффект обучения на производстве был выявлен практически во всех отраслях промышленности [20]. Для авиастроения данный эффект является типичным, что обусловлено высокой трудоемкостью первых изделий и длительностью серийного производства. При этом он характерен и для других *трудоемких отраслей*, таких как аэрокосмическая промышленность, автомобилестроение, судостроение, станкостроение, приборостроение [9]. По мере накопления опыта практически все производственные организации демонстрируют рост производительности труда, однако скорости обучения различаются существенно. Одни предприятия достигают резкого снижения трудоемкости с увеличением объема выпуска, тогда как другие показывают слабое влияние эффекта обучения.

Причинами различий в «наклоне» кривых обучения могут быть уровень зрелости технологий, специализация поставщиков, особенности, специфика и сложность производственного процесса, в том числе повторяемость операций и эффективность передачи опыта [21]. Также влияние на кривые обучения оказывают эффекты масштаба производства, переход на новые продукты или технологии, оптимизация и стандартизация бизнес-процессов, а также реорганизация предприятий.

² Джурабаев К.Т. Научная организация и нормирование труда в электротехнической промышленности: учеб. пособие. М.: Высшая школа. 1985. 175 с.

Так как большинство предприятий авиационной промышленности относится к оборонно-промышленному комплексу, состав затрат и порядок их включения в себестоимость определяется приказом Минпромторга России 2019 года №334³ и Постановлением Правительства РФ 2017 года №1465⁴. Кроме того, Методические рекомендации по определению состава затрат, включаемых в себестоимость производства отечественной гражданской авиационной техники, также сформированы с учетом положений Приказа Минпромторга России №334.

Как правило, при определении цены продукции предприятиями авиационной промышленности используется затратный метод без стимулирующих экономических механизмов снижения затрат [22]. Данный метод предполагает, что цена, с одной стороны, должна покрывать все издержки производства и реализации продукции, обладающей определенными потребительскими свойствами, и приносить прибыль, представляющую собой надбавку к себестоимости, а с другой стороны, цена продукции зависит от особенностей экономики производящего ее предприятия, в том числе установившегося на нем уровня накладных расходов [23].

Учет эффекта обучения целесообразно осуществлять не после формирования себестоимости продукции, а путем первоначальной корректировки значений отдельных статей структуры цены, зависящих от фактора обучения, и последующего их суммирования для определения величины себестоимости. Такой подход будет способствовать росту обоснованности прогнозной цены и повышению эффективности расходования бюджетных средств.

Действие эффекта обучения на производстве обусловлено увеличением повторяемости одинаковых операций по мере роста объемов выпущенной продукции за счет накопления работниками специализированных навыков. Данный эффект проявляется в снижении удельных затрат на очередную единицу выпуска (прежде всего затрат на оплату труда, поскольку по мере накопления опыта сокращается удельная трудоемкость выпуска каждой последующей единицы продукции) [24]. Это, в свою очередь, ведет к снижению собственных затрат на производство продукции.

В серийном производстве процесс обучения происходит непрерывно, однако при наличии перерывов в производстве, устойчивом снижении объемов выпуска или высокой текучести кадров приобретенные работниками навыки теряются частично или полностью, что выражается в так называемом «*эффекте забывания*» [25], который ведет к росту трудоемкости и себестоимости производства в целом.

Учет фактора обучения в производстве дает значимый экономический эффект благодаря внедрению более точных норм времени и затрат, реалистичных производственных планов, выявлению резервов повышения производительности труда, улучшению бюджетирования и ценообразования в долгосрочных контрактах на производство продукции [26]. В сфере планирования трудовых ресурсов кривые обучения можно использовать для обоснования динамики потребного количества рабочих. В начальный период освоения, когда трудоемкость высока, может требоваться больше персонала, затем, по мере снижения трудоемкости, часть работников может быть перепрофилирована.

В указанных выше работах, посвященных рассмотрению различных аспектов эффекта обучения, не учитывается ряд положений, которые целесообразно рассматривать как принципы. Их игнорирование, особенно при прогнозировании себестоимости производства воздушных судов и их компонентов, приводит, во-первых, к созданию экономико-математических моделей, неадекватно учитывающих фактор обучения, во-вторых, к формированию прогнозных цен, необъективно отражающих издержки производства, что, в свою очередь, приводит к неэффективному использованию трудовых ресурсов и расходованию бюджетных средств. Основными принципами являются:

³ Приказ Минпромторга России от 08 февраля 2019 г. №334 «Об утверждении порядка определения состава затрат, включаемых в цену продукции, поставляемой в рамках государственного оборонного заказа».

⁴ Постановление Правительства РФ от 02 декабря 2017 г. №1465 «О государственном регулировании цен на продукцию, поставляемую по государственному оборонному заказу, а также о внесении изменений и признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации» (вместе с «Положением о государственном регулировании цен на продукцию, поставляемую по государственному оборонному заказу»).

Кривые обучения являются не средством уменьшения затрат на производство, а инструментом прогнозирования снижения затрат при определенном уровне и способе производства.

При осуществлении производственной деятельности включаются сложные внутрифирменные процессы обучения на разных уровнях функционирования предприятия, такие как рост навыков работников, повышение производительности труда, стандартизация, унификация бизнес-процессов, рост специализации, повышение качества ресурсного обеспечения и т.д. Все это, при правильной организации труда, позволяет снижать издержки от основной деятельности. Кривые обучения, как правило, действуют на микроуровне и мезоуровне, то есть в экономике конкретного предприятия и отрасли в целом, а процессы, происходящие на макроуровне, такие как инфляция, геополитические факторы и экономические санкции, могут способствовать не снижению, а повышению себестоимости продукции.

Кроме того, необходимо учитывать, что реальный процесс освоения и серийного производства воздушных судов носит стохастический характер, так как на производство каждого экземпляра изделия оказывают влияние следующие факторы: различие в квалификации смен, неритмичность поставок, разный уровень дефектов и переделок, что в комплексе приводит к случайному отклонению реальной трудоёмкости от ее прогнозной величины. Поэтому при учете влияния фактора обучения в экономико-математической модели (ЭММ) используются усредненные показатели.

Эффект обучения на производстве действует по отношению к серийной продукции, рабочей конструкторской документации которой присвоена литера О1.

В процессе освоения той или иной операции время ее выполнения уменьшается из-за роста специализированных навыков рабочего в результате многократного повторения одних и тех же трудовых движений, что со временем дает возможность отбирать наиболее рациональные приемы выполнения операций и обеспечивать оптимальный темп с минимальными физическими затратами.

В ходе проведения научно-исследовательских и опытно конструкторских работ, а также опытного производства возможны доработки как конструкторской, так и технологической документации. Это, в свою очередь, может привести к изменениям в производственном процессе, таким как введение или исключение ряда операций, а также и к доработке уже произведенных изделий.

Необходимость освоения рабочими новых элементов трудового процесса приводит к «перезапуску» кривой обучения. Такая же ситуация складывается при модернизации воздушного судна, которая предусматривает изменение его конструкции, а, следовательно, к указанному «перезапуску» кривой обучения.

Существует предел эффекта обучения, при достижении которого он перестает проявляться.

При долгосрочном планировании на основе эффекта обучения важно понимать, что сокращение затрат не может происходить долговременно, так как по мере приобретения работниками опыта кривая обучения выходит на «плато», достигая своего предела, что сокращает для фирмы возможности снижения затрат на производство данных изделий. То есть нельзя ожидать, что с каждой дополнительной партией воздушных судов трудозатраты будут снижаться.

Это обусловлено тем, что в ходе производственного процесса наступает момент времени, когда большинство улучшений уже реализовано и дальнейшее снижение трудоёмкости сначала идёт незначительными темпами, а затем достигается предел кривой обучения, то есть в процессе стратегического планирования необходимо учитывать не только стадии жизненного цикла, на которых находится продукция, но и то, что после определённого временного порога эффект обучения себя исчерпывает. Таким образом, наступает момент времени, когда для снижения себестоимости продукции предприятию необходимо внедрять инновации, повышать квалификацию работников и совершенствовать организацию труда, что требует финансовых ресурсов [27].

Необходимо учитывать различия в кривых обучения для производства воздушного судна и его компонентов.

На практике различные поставщики и даже цеха в рамках одного предприятия осваивают процесс учета эффекта обучения отдельно, а значит, для них будут характерны различные виды кривых обучения. Изготовление узлов, деталей и компонентов может характеризоваться пологими кривыми обучения, тогда как финальная сборка показывает крутое снижение трудоёмкости [28]. Причиной этого может являться эффект синергии: ускорение поставок комплектующих, отработанная ритмичность работы конвейера, улучшение сотрудничества между подразделениями – всё это особенно влияет на трудоёмкость сборки, а следовательно, и на себестоимость финального изделия.

При этом отличие в темпах обучения может наблюдаться между поставщиками комплектующих изделий ввиду различий в производственном процессе и уровне их специализации. Дело в том, что «энтропия задачи» (информационная мера сложности) статистически значимо влияет на рост производительности труда, то есть простые повторяющиеся производственные задачи решаются быстрее, а сложные информационно насыщенные производственные задачи требуют большего числа итераций для их решения и более высокого уровня умелости (мастерства), что ведет к более пологим кривым обучения [21]. Следовательно, на научно-производственных предприятиях, производящих сложную технику, к которой относится продукция авиастроения, эффект обучения будет менее выражен, чем на предприятиях, в производственном процессе которых преобладают более типизированные и стандартизированные операции.

Эффект обучения проявляется при стабильном росте объема выпускаемой продукции и достигается только при ритмичном размещении новых заказов по всей кооперации воздушного судна.

В серийном производстве процесс обучения происходит непрерывно, однако при наличии перерывов в производстве, устойчивом снижении объемов выпуска или высокой текучести кадров приобретенные навыки теряются частично или полностью, что выражается в так называемом «эффекте забывания» [25], который приводит к росту трудоёмкости и себестоимости производства в целом.

При небольших перерывах в производстве приобретенные навыки утрачиваются частично, что выражается в разрыве кривой обучения (ее «скачке» вверх), то есть средняя трудоёмкость изделий в последующей партии становится выше, чем в предыдущей (рисунок 2). При стабильном снижении объемов выпускаемой продукции или прекращении ее выпуска процессы забывания носят более выраженный характер, что проявляется в виде кривой забывания, по сути являющейся «зеркальным отражением» кривой обучения. Отсутствие регулярных заказов может усугубляться задержками в финансировании фирмы, что ведет к росту текучести кадров и еще более ярко выраженному эффекту забывания.

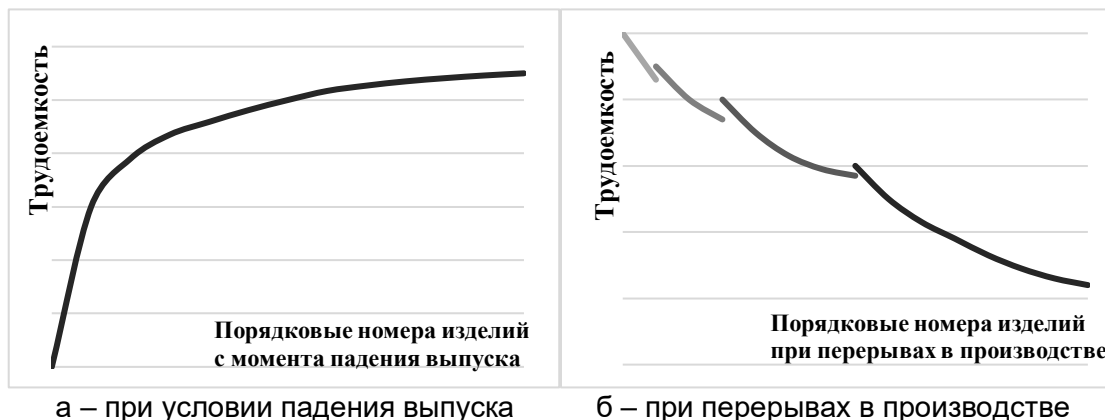


Рисунок 2 – «Эффект забывания» на производстве
Источник: составлено авторами

Эффект обучения положен в основу предлагаемой ЭММ, в которой реализован методический подход к прогнозированию себестоимости воздушных судов и их компонентов, учитывающий динамику значений статей структуры цены, характеризующих материальные и трудовые затраты. ЭММ определения себестоимости производства воздушного судна включает в себя частные модели как для отдельных видов техники, так и их компонентов, что позволяет получить объективные оценки себестоимости и ее составляющих как в целом по воздушному судну, так и по его компонентам, в зависимости от объема их производства [29].

Учет динамичности позволяет сформировать обоснованную величину себестоимости в зависимости от объема производства [16], что особенно важно в авиастроении. Указанный методический подход может быть встроен в такие бизнес-процессы фирмы, как бюджетирование, планирование себестоимости, ценообразование, нормирование труда, разработка экономических нормативов, производственное планирование, управление процессом освоения новой продукции и т.д.

Следование указанным принципам при использовании кривых обучения в отечественной авиационной промышленности является весьма актуальным с учетом ужесточения требований к эффективности использования ограниченных бюджетных средств и требований, предъявляемым к авиационным программам.

Использование кривых обучения позволяет в процессе управления производственным предприятием авиастроения опираться на научно обоснованный подход к прогнозированию трудоемкости и себестоимости с учетом эффекта накопленного опыта, что, в свою очередь, повышает уровень обоснованности ресурсного обеспечения изготовления изделий при заданных планом темпах и объемах производства, графиках поставок, размерах партий, распределении ресурсов между проектами.

Рассмотрим *содержание экономико-математической модели прогнозирования себестоимости производства воздушного судна и его компонентов*, которая реализует приведенные выше принципы и позволяет оценить влияние эффекта обучения на трудоемкость и материальные затраты, используя совокупность взаимосвязанных между собой частных моделей, отражающих различные аспекты процесса формирования себестоимости продукции. Принимается, что все стоимостные показатели определяются в постоянных ценах.

Первая частная модель представляет собой модель обучения Т. Райта, которая позволяет оценивать кумулятивную среднюю трудоемкость производства партии из n единиц воздушных судов.

С математической точки зрения указанная модель представляет собой убывающую степенную функцию одной переменной:

$$\bar{T}(n) = T_1 n^{\log_2 b}, \quad (1)$$

где: n – размер партии воздушных судов;

$\bar{T}(n)$ – кумулятивная средняя трудоемкость производства партии из n единиц воздушных судов;

T_1 – трудоемкость производства первой единицы воздушного судна в партии;

b – показатель обучения для воздушного судна, $0 < b \leq 1$.

Логарифм показателя обучения ($\log_2 b$) называется коэффициентом обучения. Показатель обучения b характеризует скорость обучения, то есть снижение трудоемкости изготовления единицы продукции при каждом удвоении суммарного объема выпуска.

Результат, получаемый при применении формулы $100\% (1 - b)$ можно трактовать как процент обучения. Например, так называемая 80% кривая обучения соответствует 20% снижению трудоемкости при каждом удвоении произведенных единиц, а 90% кривая обучения – 10% снижению трудоемкости.

Для краткости кривые обучения будем называть в терминах соответствующих показателей обучения. 100% кривая обучения не подразумевает снижения трудоемкости. Иными словами, чем выше % значение показателя обучения, тем меньше ее «крутизна». В таблице 1 приведены значения коэффициента обучения ($\log_2 b$) для различных значений показателя обучения.

Таблица 1 – Характеристики кривых обучения

Процентность кривых обучения, %	80	83	85	88	90	93	95	98
Показатель обучения b	0,8	0,83	0,85	0,88	0,9	0,93	0,95	0,98
Коэффициент обучения	-0,32	-0,27	-0,23	-0,18	-0,15	-0,10	-0,07	-0,03

Источник: составлено авторами

Значение показателя обучения определяется с учетом особенностей производственного процесса, объема выпускаемой продукции и на основании ретроспективного анализа статистических данных, в том числе с использованием результатов хронометража оперативного времени выполнения соответствующих видов работ.

Вторая частная модель расчета себестоимости собственных работ представляет собой аддитивную функцию, включающую три слагаемых:

$$\bar{C}_c(n) = \bar{C}_{30T}(n) + \bar{C}_{OCB}(n) + \bar{C}_{НР}(n), \quad (2)$$

где: $\bar{C}_{30T}(n)$ – кумулятивные средние (приходящиеся на одно воздушное судно) затраты на оплату труда основных производственных рабочих, занятых в изготовлении партии воздушных судов из n единиц;

$\bar{C}_{OCB}(n)$ – кумулятивные средние (приходящиеся на одно воздушное судно) отчисления на страховые взносы, соответствующие партии воздушных судов из n единиц;

$\bar{C}_{НР}(n)$ – кумулятивные средние (приходящиеся на одно воздушное судно) накладные расходы, соответствующие партии воздушных судов из n единиц.

Так как ОСВ и НР рассчитываются на основании нормативов, используемых для формирования контрактных (договорных) цен на воздушное судно, утверждаемых на предприятиях на плановый период, формула (2) принимает вид:

$$\bar{C}_c(n) = \bar{C}_{30T}(n) + N_{OCB} \bar{C}_{30T}(n) + N_{НР} \bar{C}_{30T}(n) = \bar{C}_{30T}(n)(1 + N_{OCB} + N_{НР}), \quad (3)$$

где: N_{OCB} – норматив отчислений на страховые взносы;

$N_{НР}$ – норматив накладных расходов.

Третья частная модель предназначена для определения кумулятивных средних (приходящихся на одно воздушное судно) затрат на оплату труда основных производственных рабочих исходя из кумулятивной средней трудоемкости производства партии воздушных судов из n единиц и норматива стоимости человеко-часа работы:

$$\bar{C}_{30T}(n) = N_{ч/ч} \bar{T}(n), \quad (4)$$

где $N_{ч/ч}$ – норматив стоимости человеко-часа;

$\bar{T}(n)$ – кумулятивная средняя трудоемкость производства.

Подставив формулу (1) в формулу (4), получаем:

$$\bar{C}_{30T}(n) = N_{ч/ч} T_1 n^{\log_2 b}. \quad (5)$$

Подставив формулу (5) в формулу (3), получим аналитическое выражение для определения кумулятивной средней (приходящейся на одно воздушное судно) себестоимости собственных работ в партии воздушных судов из n единиц в зависимости от трудоемкости:

$$\bar{C}_c(n) = N_{ч/ч} T_1 n^{\log_2 b} (1 + N_{OCB} + N_{НР}). \quad (6)$$

Из формулы (6) следует, что себестоимость собственных работ по изготовлению первого по порядку воздушного судна определяется по формуле:

$$C_c(1) = N_{ч/ч} T_1 (1 + N_{OCB} + N_{НР}). \quad (7)$$

Осуществляя подстановку формулы (7) в формулу (6), получаем:

$$\bar{C}_c(n) = C_c(1) n^{\log_2 b}.$$

Для определения кумулятивной средней (приходящейся на одно воздушное судно) себестоимости изготовления i -го компонента воздушного судна (выполнения i -го вида работ) используется формула:

$$\bar{C}_{ci}(n_i) = \frac{\bar{d}_{Ai}(n)}{100} C_c(1) n^{\log_2 b_i},$$

где: $\bar{d}_{Ai}(n)$ – кумулятивная средняя (приходящаяся на одно воздушное судно) доля собственных затрат на изготовление i -го компонента воздушного судна (выполнения i -го вида работ) в общей кумулятивной средней собственной себестоимости изготовления воздушного судна-аналога в партии из n единиц, %;

b_i – показатель обучения для i -й компоненты воздушного судна, $0 < b_i \leq 1$.

Важной составной частью ЭММ прогнозирования себестоимости воздушного судна и его компонентов является *четвертая частная модель определения затрат по статье калькуляции «Материальные затраты»*, в которой учитываются расходы на приобретение материалов, сырья и вспомогательных материалов, полуфабрикатов, комплектующих изделий и ряд других затрат, относящихся на себестоимость продукции в качестве прямых затрат. При этом важно учесть, что часть материальных затрат подвержена действию эффекта обучения, а часть – нет.

Эффект обучения действует в отношении покупных комплектующих воздушных судов, являющихся технически сложными изделиями. При построении частной модели определения материальных затрат необходимо учитывать индивидуальные кривые обучения для различных узлов и компонентов воздушного судна, что позволяет повысить точность прогнозирования его полной себестоимости.

Формула для определения (на основе конструкторской документации) кумулятивных средних (приходящихся на одно воздушное судно) материальных затрат в партии из n воздушных судов имеет вид:

$$\bar{C}_{мз}(n) = \sum_{i=1}^M C_{Ki}(n, 1) r_i^{\log_2 b_i} + \bar{C}_м,$$

где: $C_{Ki}(n, 1)$ – стоимость изготовления первого по порядку комплектующего изделия i -го типа в интересах производства партии из n воздушных судов;

M – количество типов комплектующих изделий;

r_i – количество комплектующих изделий i -го типа, изготавливаемых для производства партии из n единиц воздушных судов;

b_i – показатель обучения для комплектующего изделия i -го типа;

$\bar{C}_м$ – кумулятивная средняя (приходящаяся на одно воздушное судно) суммарная стоимость материалов, на которые не распространяется эффект обучения.

Вышеприведенные частные модели позволяют сформировать модель прогнозирования кумулятивной средней (приходящейся на одно воздушное судно) полной себестоимости собственных работ при изготовлении партии воздушных судов из n единиц, которая имеет вид:

$$\begin{aligned} \bar{C}_{пс}(n) &= \bar{C}_c(n) + \bar{C}_{мз}(n) = N_{ч/ч} T_1 n^{\log_2 b} (1 + N_{ОСВ} + N_{НР}) + \sum_{i=1}^M C_{Ki}(n, 1) r_i^{\log_2 b_i} + \bar{C}_м = \\ &= C_c(1) n^{\log_2 b} + \sum_{i=1}^M C_{Ki}(n, 1) r_i^{\log_2 b_i} + \bar{C}_м. \end{aligned}$$

Полная себестоимость производства партии воздушных судов из n единиц определяется по формуле:

$$C_{псп}(n) = n \bar{C}_{пс}(n).$$

Таким образом, изложенная ЭММ позволяет представить суммарную полную себестоимость собственных работ при изготовлении партии воздушных судов из n единиц как произведение кумулятивной средней (приходящейся на одно воздушное судно) полной себестоимости собственных работ в партии воздушных судов из n единиц на количество воздушных судов в партии.

Проиллюстрируем применение метода прогнозирования полной себестоимости воздушных судов и их компонентов с практической точки зрения. Построим кривые обучения для гражданских самолетов на основании КПГА в редакции распоряжения Правительства РФ 2023 года №2259-р⁵ и с учетом актуальной производственной программы выпуска данных воздушных судов.

На рисунке 3 представлены 90-98% кривые снижения себестоимости собственных работ по финальной сборке воздушных судов Ту-214, Ил-114, SJ-100 и MC-21, производство которых планируется осуществить в рамках указанной программы, при условии непрерывного размещения заказов на их серийное производство и своевременного финансирования (авансов и окончательных расчетов).

Из графиков на рисунке 3 видно, что кривые обучения воздушных судов Ту-214, Ил-114, SJ-100 и MC-21 к 2030 году выходят на плато, что свидетельствует о том, что эффект обучения проявляется на приблизительно пятилетнем периоде времени.

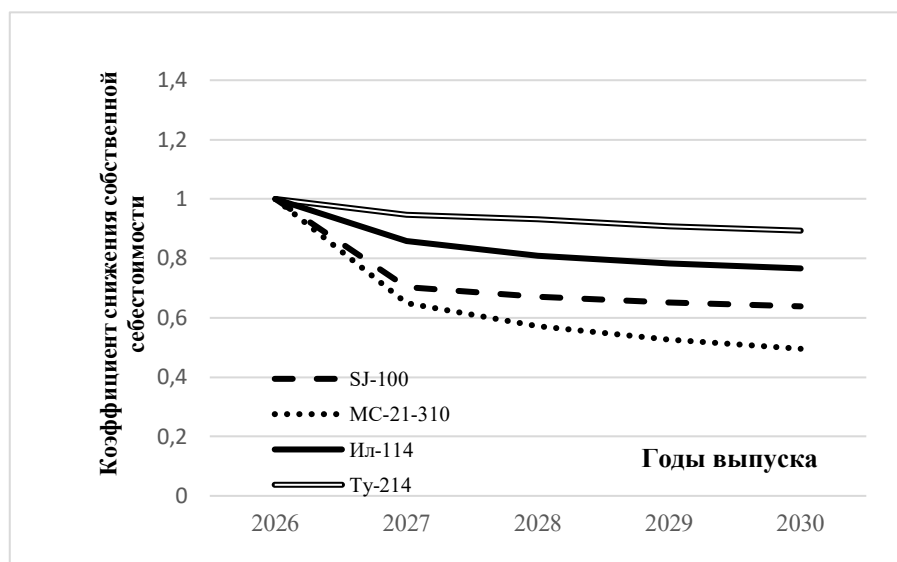


Рисунок 3 – 90-98% кривые обучения в рамках КПГА

Источник: составлено авторами

Учет эффекта обучения на указанном отрезке времени при производстве воздушных судов, реализованный в изложенной ЭММ, позволит повысить обоснованность принимаемых плановых решений как на уровне предприятий авиастроения, так и на общеотраслевом уровне, а также будет способствовать повышению эффективности расходования бюджетных средств, выделяемых в значительных объемах на развитие авиационной отрасли.

⁵ Распоряжение Правительства РФ от 22 августа 2023 г. №2259-р «О внесении изменений в распоряжение Правительства РФ от 25.06.2022 N 1693-р».

Список источников

1. Шапиро И.И. Технический прогресс и нормирование труда: монография. М.: Машиностроение, 1968. 242 с.
2. Джурабаев К.Т. Механизм учета фактора освоения производства при разработке и пересмотре норм // Актуальные проблемы организации и нормирования труда в условиях НТП: межвуз. сб. науч. тр. М.: МАИ, 1985. С. 11-13.
3. Джурабаев К.Т. Зависимость норм времени от величины и повторяемости партии деталей. Л.: ЛДНТП, 1965. 36 с.
4. Хендерсон Б.Д. Рассмотрение кривой опыта: почему это работает? // Стратегии, которые работают: Подход BCG: сб. статей. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2005. С. 37-42.
5. Alchian A. Reliability of progress curves in airframe production // *Econometrica*. 1963. Vol.31. No.4. P. 679-693.
6. Arrow K.J. The economic implications of learning by doing // *Review of economic studies*. 1962. Vol.29. No.3. P. 155-173.
7. Romer P.M. Increasing Returns and Long-Time Growth // *Journal of Political Economy*. 1986. Vol.94. No.5. P. 1002-1037.
8. Sheshinsky E. Tests of the «learning by doing» hypothesis // *Review of economics and statistics*. 1967. Vol.49. No.4. P. 568-578.
9. Yelle L.E. The learning curve: Historical review and comprehensive survey // *Decision Sciences*. 1979. Vol.10. No.2. P. 302-328.
10. Badiru A. Computational survey of univariate and multivariate learning curve models // *IEEE Transactions on Engineering Management*. 1992. Vol.39. No.2. P. 176-188.
11. Варшавский Л.Е. Методологические основы моделирования развития олигополистических рынков продукции с длительным жизненным циклом (на примере рынка гражданской авиационной техники) // *Прикладная эконометрика*. 2010. №4(20). С. 53-74.
12. Павлов О.В. Определение регрессионных функций кривых обучения в серийном производстве автомобилей // *Вестник Самарского университета. Экономика и управление*. 2021. Т.12. №4. С. 212-222.
13. Миронова М.А. Методика «кривой освоения» как инструмента планирования и нормирования труда на предприятии // *Аудит и финансовый анализ*. 2015. №5. С. 322-326.
14. Моргунов В.М. Эффект обучения на производстве: экономический и математический анализ. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2012. 128 с.
15. Павлов В.П., Талипова Л.Ф. Концепция «кривой обучения» в решении производственных задач // *Вестник экономики, права и социологии*. 2016. №1. С. 52-54.
16. Павлов О.В. Динамическая оптимизация производственной деятельности предприятия с учетом эффекта кривой обучения // *Вестник Самарского государственного экономического университета*. 2015. №3(125). С. 87-92.
17. Wright T.P. Factors affecting the cost of airplanes // *Journal of the aeronautical sciences*. 1936. Vol.3. No.4. P. 122-128.
18. Alchian A. Uncertainty, evolution, and economic theory // *Journal of Political Economy*. 1950. Vol.58. No.3. P. 211-221.
19. Байдаров Д.Ю., Иванов В.В., Файков Д.Ю. Взаимодействие оборонного и гражданского секторов – подход с позиций мезоэкономики // *Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России*. 2025. №1. С. 13-22.
20. Argote L., Epple D. Learning curves in manufacturing // *Science*. 1990. Vol. 247. No.4945. P. 920-924.
21. Verna E., Genta G., Galetto M. Effects of product complexity on human learning in assembly and disassembly operations // *Journal of Manufacturing Technology Management*. 2023. Vol.34. No.9. P. 139-162.
22. Лавринов Г.А., Подольский А.Г. Управление ценообразованием на продукцию военного назначения при реализации ценностной концепции // *Инновации*. 2013. №8(178). С. 31-38.
23. Кондратьев Д.В. Проблема управления накладными расходами на предприятиях авиационной промышленности и меры по ее решению // *Стратегическое планирование и развитие предприятий: материалы XXII всерос. симпозиума (г.Москва, 2021, 13-14 апреля)*. М.: ЦЭМИ РАН, 2021. С. 238-241.
24. Ключков В.В., Вдовенков В.А., Критская С.С. Анализ эффективности и оптимизация уровня мощностей опытного производства в наукоемкой промышленности // *Финансовая аналитика: проблемы и решения*. 2014. №42(228). С. 2-14.

25. Globerson S., Levin N., Shtub A. The impact of breaks on forgetting when performing a repetitive task // IIE Transactions. 1989. Vol. 21. No.4. P. 376-381.
26. Glock C.H., Grosse E.H., Jaber M.Y., Smunt T.L. Applications of learning curves in production and operations management: a systematic literature review // Computers & Industrial Engineering. 2019. Vol.131. P. 422-441.
27. Трубицын А. В. К истории экономической концепции «Learning by doing» // Вопросы новой экономики. 2012. №4(24). С. 34-38.
28. Larsen H.T. Theory of complex work // Journal of Cost Analysis and Parametrics. 2022. Vol.10. No.3. P. 90-104.
29. Кондратьев Д.В. Формирование концепции «обучения действием» на производстве // Научные исследования и разработки. Экономика фирмы. 2022. Т.11. №3. С. 77-81.

Информация об авторах

- А.Г. Подольский – доктор экономических наук, профессор, SPIN 4731-0270.
П.Е. Данилин – кандидат технических наук, доцент.
Д.В. Кондратьев – кандидат экономических наук.

МЕНЕДЖМЕНТ

Научная статья
УДК 65.016.4

Кластерная классификация и прогнозирование финансовой устойчивости интегрированных корпоративных структур оборонно-промышленного комплекса: комплексный подход стратегического менеджмента

Эдуард Евгеньевич Галеев

Аннотация. В статье рассматривается актуальная проблема оценки финансовой устойчивости интегрированных корпоративных структур в оборонно-промышленном комплексе (ОПК) в условиях высокой волатильности внешней среды и санкционного давления. Стратегия консолидации предприятий ОПК через создание интегрированных корпоративных структур рассматривается как ответ на вызовы глобальной конкуренции и технологических санкций, направленный на преодоление структурных проблем отрасли. В исследовании разработана комплексная модель оценки финансовой устойчивости, объединяющая методологию кластерного анализа интегрированных корпоративных структур, стохастическое моделирование на основе Марковских цепей, модель Du Pont и имитационное моделирование по методу Монте-Карло. На основе анализа финансовых показателей ведущих отечественных интегрированных корпоративных структур ОПК определены референсные значения рентабельности собственного капитала по чистой прибыли и проведен анализ факторной чувствительности. Практическая значимость работы заключается в разработке конкретных рекомендаций по повышению обоснованности принятия стратегических управленческих решений в интегрированных корпоративных структурах ОПК, включая выбор оптимальной формы интеграции, управление ключевыми факторами рентабельности и оценку рисков.

Ключевые слова: интегрированные корпоративные структуры; финансовая устойчивость; модель Du Pont; метод Монте-Карло; марковские цепи; кластерный анализ; управленческие решения

Для цитирования: Галеев Э.Е. Кластерная классификация и прогнозирование финансовой устойчивости интегрированных корпоративных структур оборонно-промышленного комплекса: комплексный подход стратегического менеджмента // Вооружение и экономика. 2026. №1(75). С. 96-113.

Original article

Cluster Classification and Financial Stability Prediction of Integrated Corporate Structure in the Defense Industrial Complex: Comprehensive Approach to Strategic Management

Eduard E. Galeev

Abstract. The article considers the current problem of the financial stability assessment of integrated corporate structures in the defense-industrial complex under high volatility of the external environment and sanctions pressure. The strategy of defense-industrial complex enterprises consolidation through the integrated corporate structures creation is viewed as a response to the challenges of global competition and technological sanctions, aimed at overcoming the industry structural problems. This study develops a comprehensive model for financial stability assessment, the methodology of cluster analysis of integrated corporate structures integration, stochastic modeling based on Markov chains, the Du Pont model, and simulation modeling according to the Monte Carlo method. Based on the analysis of financial indicators of leading domestic integrated corporate structures of the defense-industrial complex reference values of return on equity based on net profit are determined, and a factor sensitivity analysis is conducted. The practical significance of the work lies in specific recommendations for improvement development of strategic management decisions validity in the frame of defense-industrial complex integrated corporate structures, including the optimal form of integration selection, management of key profitability factors, and risk assessment.

Keywords: integrated corporate structures; financial stability; Du Pont model; Monte Carlo method; Markov chains; cluster analysis; management decisions

For citation: Galeev E.E. Cluster Classification and Financial Stability Prediction of Integrated Corporate Structure in the Defense Industrial Complex: Comprehensive Approach to Strategic Management. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2026;75(1): 96-113. (In Russ.).

Введение

Стратегия консолидации предприятий оборонно-промышленного комплекса (ОПК) через интегрированные корпоративные структуры (ИКС) рассматривается как системный ответ на вызовы глобальной конкуренции и технологических санкций [1]. Ключевая цель такой консолидации – преодоление структурных проблем отрасли, включая разрозненность предприятий и устаревшие технологии, через создание ИКС, способных эффективно

реализовывать национальные проекты в сфере обороны. В условиях напряженности международных отношений и санкционного давления обеспечение финансовой устойчивости ИКС становится критически важным фактором не только для выполнения государственного оборонного заказа (ГОЗ), но и для устойчивого развития в долгосрочной перспективе.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки современных аналитических инструментов стратегического менеджмента, позволяющих осуществлять прогнозирование финансовой устойчивости в условиях неопределенности. Такая неопределенность связана с динамикой рынка, изменениями спроса, кредитными рисками и внутренней эффективностью бизнеса. Традиционные методы финансового анализа, подробно рассмотренные в работах Г.Савицкой, А.Шеремета [2; 3], оказываются недостаточно эффективными в условиях санкционных ограничений и растущей волатильности рынков и не в полной мере учитывают специфику ИКС в ОПК и вероятностную природу факторов, влияющих на их финансовую устойчивость.

Целью исследования является разработка метода оценки финансовой устойчивости ИКС в ОПК и на его основе комплексной модели адаптированной к специфике отрасли, которая способна обеспечить не только глубокий анализ текущего состояния, но и предиктивную аналитику. Полученные результаты открывают перспективы для внедрения разработанного алгоритма в практику финансового анализа и построения систем поддержки принятия управленческих решений.

1 Специфика предприятий ОПК как объекта интеграции

Оборонно-промышленный комплекс как совокупность научно-исследовательских, проектно-конструкторских, испытательных организаций и производственных предприятий, выполняющих разработку и производство вооружения, военной и специальной техники, имеет ряд особенностей [4], определяющие подходы к интеграции и оценке финансовой устойчивости. К наиболее значимым особенностям относятся:

- Специализация производства – продукция ОПК производится на промышленных ИКС ОПК с применением специально созданного или приобретенного технологического оборудования и специализированного технологического процесса.
- Производство вооружения и военной техники осуществляется на основании предоставляемой государством лицензии и с использованием охраняемых государством результатов интеллектуальной деятельности.
- Высокий уровень наукоемкости производства – на долю российского ОПК приходится свыше 70% всей научной продукции в России, в нем занято более 50% всех научных сотрудников [5].
- Персоналозависимость – ИКС ОПК характеризуются высоким уровнем требований к квалификации персонала, которую невозможно приобрести на рынке труда готовых специалистов.
- Длительные сроки разработки сложной продукции и ее эксплуатации, составляющий несколько десятилетий, создаваемой в соответствии с государственной программы вооружения (ГПВ) и ГОЗ.
- Повышенный уровень требований к качеству продукции, обеспечиваемый системой менеджмента качества.
- Ориентированность на исполнение заданий.
- Регламентируемое ценообразование на военную продукцию.
- Высокое санкционное давление и отсутствие трансфера высокоинновационных технологий.
- Наличие конструкторских, технологических, научно-исследовательских подразделений, испытательной базы и большого количества производственных объектов специального назначения.

Эти особенности обуславливают значительные отличия предприятий ОПК от предприятий гражданских машиностроительных и иных отраслей. Главное отличие заключается в том, что технический уровень производства в ОПК, как правило, заметно выше, чем в других отраслях, поскольку основные материально-технические, трудовые и финансовые ресурсы ранее направлялись в первую очередь на оборонные предприятия.

2 Кластеризация интегрированных корпоративных структур в ОПК

В мировой практике сложились различные формы интеграции компаний [6]: стратегические альянсы, консорциумы, картели, ассоциации, конгломераты, концерны, холдинги, промышленные кластеры, экосистемы. В России дополнительно существуют такие формы как Госкорпорации, госкомпании, НПО. Все эти формы условно можно разделить на две группы: жесткие и мягкие организационные формы интеграции.

К жестким формам относятся концерны, НПО, характеризующиеся высокой степенью централизации управления. К мягким формам относятся холдинги, ассоциации, консорциумы, стратегические альянсы, конгломераты, кластеры, экосистемы, отличающиеся большей автономией участников.

При исследовании ИКС приходится постоянно сталкиваться с проблемой структуризации, классификации, типизации, агрегирования разнообразных данных. Неоднозначность используемых терминов при определении интеграции хозяйствующих субъектов (ИБГ, ИЭС, ИКС, корпорации и пр.) является причиной того, что в литературе не существует единой устойчивой классификации ИКС. Каждый трактует их по-своему, используя те признаки, которые отвечают выбранному им направлению исследования. В работе А.Бабкина [7] подробно рассмотрены основные классификационные признаки ИКС. В данной статье с целью анализа и систематического изучения возможности структурирования имеющейся информации об ИКС автор предлагает свой подход к классификации (рисунок 1), фокусирующийся на практико-ориентированных критериях, таких как вид деятельности, способ построения, централизация бизнес-процессов, устойчивость связей, форма интеграции, степень юридической самостоятельности, которые не были системно рассмотрены в исследованиях других авторов.

Это позволило выбрать 13 основных видов ИКС¹ [8] и сделать классификацию более прикладной и релевантной для современных управленческих решений. Для формализации признаков, характеризующих принадлежность к ИКС, предложена совокупность 15 признаков, описывающих разные сферы деятельности ИКС. Каждый признак характеризуется наличием 5 конкретных параметров, описанных в рамках нечеткой Байесовской классификации (таблица 1). Таким образом, мы получаем возможность представить каждую ИКС как 15-мерный вектор, элементами которого являются численные значения параметров.

Таблица 1 (фрагмент) – Признаки, характеризующие принадлежность к ИКС

1. Степень централизации производства в ИКС 1). Полная производственная самостоятельность предприятий ИКС 2). Предприятия сохраняют свою производственную самостоятельность, за исключением определенной части деятельности, которая связана с достижением конкретных целей 3). Предприятия финансово самостоятельны, но существует косвенное регулирование производственной деятельности подразделений со стороны стоящей во главе ИКС управленческой структуры 4). Предприятия имеют производственные подразделения, но общая производственная политика определяется централизованно головным производственным департаментом 5). Централизованное управление производственными мощностями предприятий ИКС
2. Степень централизации маркетинговой и сбытовой политики в ИКС 1). Полная самостоятельность маркетинговой и сбытовой политики предприятий ИКС 2). Предприятия сохраняют свою коммерческую самостоятельность, за исключением определенной части деятельности, которая связана с достижением конкретных целей 3). Предприятия коммерчески самостоятельны, но существует косвенное регулирование коммерческой деятельности подразделений со стороны стоящей во главе ИКС управленческой структуры 4). Предприятия имеют коммерческие службы, но общая маркетинговая политика определяется централизованно головным коммерческим департаментом 5). Единый орган управления маркетинговой и сбытовой политикой

¹ Галеев Э.Е. Кластерный анализ интегрированных корпоративных структур // Инновации и инвестиции. 2023. №2. С. 139-142.

3. Степень централизации управления финансами в ИКС 1). Полная финансовая самостоятельность предприятий ИКС 2). Предприятия сохраняют свою финансово-экономическую самостоятельность, за исключением определенной части деятельности, которая связана с достижением конкретных целей 3). Предприятия финансово самостоятельные, но существует косвенное регулирование финансово-экономической деятельности подразделений со стороны стоящей во главе ИКС управленческой структуры 4). Предприятия имеют финансово-экономические службы, но общая финансовая политика определяется централизованно головным финансово-экономическим департаментом 5). Предприятия финансово несамостоятельные, существует единый орган управления экономикой и финансами
4. Степень централизации процесса учета в ИКС 1). Свой учет у каждого предприятия ИКС 2). Свой учет у каждого предприятия ИКС, за исключением учета определенной части деятельности, которая связана с достижением конкретных целей; 3). Свой учет у каждого предприятия, но существует косвенное регулирование учета со стороны стоящей во главе ИКС управленческой структуры 4). Свой учет у каждого предприятия, но общие правила устанавливает головная структура 5). Единая система учета в ИКС
5. Степень централизации процессов бизнес планирования в ИКС 1). Свой учет у каждого предприятия ИКС 2). Своя система бизнес планирования у каждого предприятия ИКС, за исключением бизнес планирования определенной части деятельности, которая связана с достижением конкретных целей; 3). Своя система бизнес планирования у каждого предприятия, но существует косвенное регулирование бизнес-планирования со стороны стоящей во главе ИКС управленческой структуры 4). Своя система бизнес планирования у каждого предприятия, но общие правила устанавливает головная структура 5). Единая система бизнес планирования в ИКС
6. Степень юридической самостоятельности объединяемых компаний 1). Полная потеря юридической самостоятельности 2). Образование отдельного юридического лица для достижения конкретных целей 3). Образование отдельного юридического лица на временной основе 4). Номинальная юридическая самостоятельность 5). Сохранение юридической самостоятельности
7. Наличие производственной общности объединяемых компаний 1). Отсутствие производственной общности 2). Производственная общность не является обязательной 3). Незначительная производственная общность 4). Значительная производственная общность 5). Наличие производственной общности
8. Степень объединения хозяйственной деятельности 1). Самостоятельная хозяйственная деятельность 2). Объединение хозяйственной деятельности для достижения конкретных целей 3). Объединение хозяйственной деятельности на временной основе 4). Свой хозяйственная деятельность у каждого предприятия, но общее управление ведет головная структура 5). Единое хозяйственное управление
9. Географический охват объединяемых компаний 1). Транснациональные 2). Межгосударственные 3). Национальные 4). Отраслевые 5). Региональные
10. Возможность разработки КД на продукцию, проведение НИР и ОКР 1). Полное отсутствие соответствующих служб и технических возможностей 2). Возможность использования аутсорсинга соответствующих служб, но отсутствие технических возможностей (испытательного оборудования, помещений)

3). Наличие соответствующих служб, но отсутствие технических возможностей (испытательного оборудования, помещений) 4). Наличие соответствующих служб имеется возможность использование технических возможностей (испытательного оборудования, помещений) по аутсорсингу 5). Наличие соответствующих служб и технических возможностей
11. Полнота жизненного цикла продукции 1). Только продажа 2). Производство и продажа 3). Производство, продажа, эксплуатация, утилизация 4). Проектирование, производство, продажа, эксплуатация, утилизация 5). Научные исследования, проектирование, производство, продажа, эксплуатация, утилизация
12. Степень единства представления и интерпретации данных в процессах информационного обмена между участниками 1). Единая информационная среда отсутствует 2). Объединение части процессов в единой информационной среде для достижения конкретных целей 3). Объединение части процессов в единой информационной среде на временной основе 4). Своя информационная среда у каждого предприятия, но общее управление ведется в единой информационной среде 5). Единая информационная среда
13. Степень предметной и технологической однородности изготавливаемой продукции 1). Неоднородность изготавливаемой продукции 2). Однородность изготавливаемой продукции при выполнении конкретных целей 3). Однородность изготавливаемой продукции на временной основе 4). Однородность изготавливаемой продукции до 80% 5). Однородность изготавливаемой продукции
14. Степень государственного регулирования корпорации 1). Государственное регулирование отсутствует 2). Государственное регулирование для достижения конкретных целей 3). Государственное регулирование на временной основе 4). Государственное регулирование основных процессов 5). Полное государственное регулирование
15. Степень возможности участия иностранного капитала в корпорации 1). Иностранный капитал отсутствует 2). Незначительная доля иностранного капитала, меньше 10% 3). Умеренная доля иностранного капитала от 10 до 30% 4). Значительная доля иностранного капитала от 30 до 50% 5). Контрольный пакет акций может быть у иностранного капитала

Будем полагать введенное таким образом 15-мерное векторное пространство евклидовым и определим на нем расстояние между объектами – исследуемыми ИКС как:

$$d_{ij} = \sqrt{(x_{1i} - x_{1j})^2 + (x_{2i} - x_{2j})^2 + \dots + (x_{ki} - x_{kj})^2}, \quad (1)$$

где: x_{ab} – значение a -го параметра, характеризующего признак по b -й ИКС, что позволяет представить ИКС ОПК как точки в n -мерном пространстве с заданной на нем евклидовой метрикой. В соответствии с указанным выражением построим матрицу расстояний между объектами – исследуемыми ИКС. Инструментом исследования в статье является метод ближайших соседей.

Введем дополнительное условие для отнесения той или иной ИКС к кластеру: расстояние d_{ij} между объектами не должно превышать 4,0 по евклидовой метрике. Выбор данного порогового значения обусловлен эмпирическим анализом распределения расстояний в матрице: оно позволяет обеспечить достаточную компактность кластеров при сохранении

их содержательной интерпретируемости. Учитывая, что все признаки измеряются по 5-ти бальной шкале, максимально возможное расстояние между двумя объектами в 15-мерном пространстве составляет 15,5 по евклидовой метрике. Порог 4,0 соответствует примерно 25% от этого максимума, что является разумным компромиссом между слишком дробным разбиением (при меньших значениях) и объединением разнородных структур (при больших). Из матрицы расстояний (рисунок 2) ищем наименьшее расстояние между объектами. Это расстояние равно 2 по евклидовой метрике – расстояние между «конгломератом» и «производственным кластером». Объединяем их в один кластер. При формировании новой матрицы расстояний выбираем наименьшее значение из расстояний. Это расстояние равно 2,24 между «картелем» и «синдикатом». Также объединяем их в один кластер. По такому же алгоритму ищем наименьшие расстояния между другими ИКС.

Объединяем ИКС в кластеры и получаем 4 кластера, которые не могли быть выявлены ранее. Для двумерной иллюстрации результатов кластерного анализа (рисунок 3) разместим все 13 рассматриваемых ИКС в полярной системе координат, выделив в ней четыре квадранта с наиболее ярко выраженными свойствами ИКС: два – по степени централизации бизнес-процессов: жесткая централизация либо децентрализация; отсутствие производственной общности; полнота жизненного цикла продукции. Расстояния между центрами кружков соответствуют (пропорциональны) вычисленным расстояниям между ИКС внутри кластера. Обратим внимание, что экосистема и ассоциация не попадают ни в один кластер.

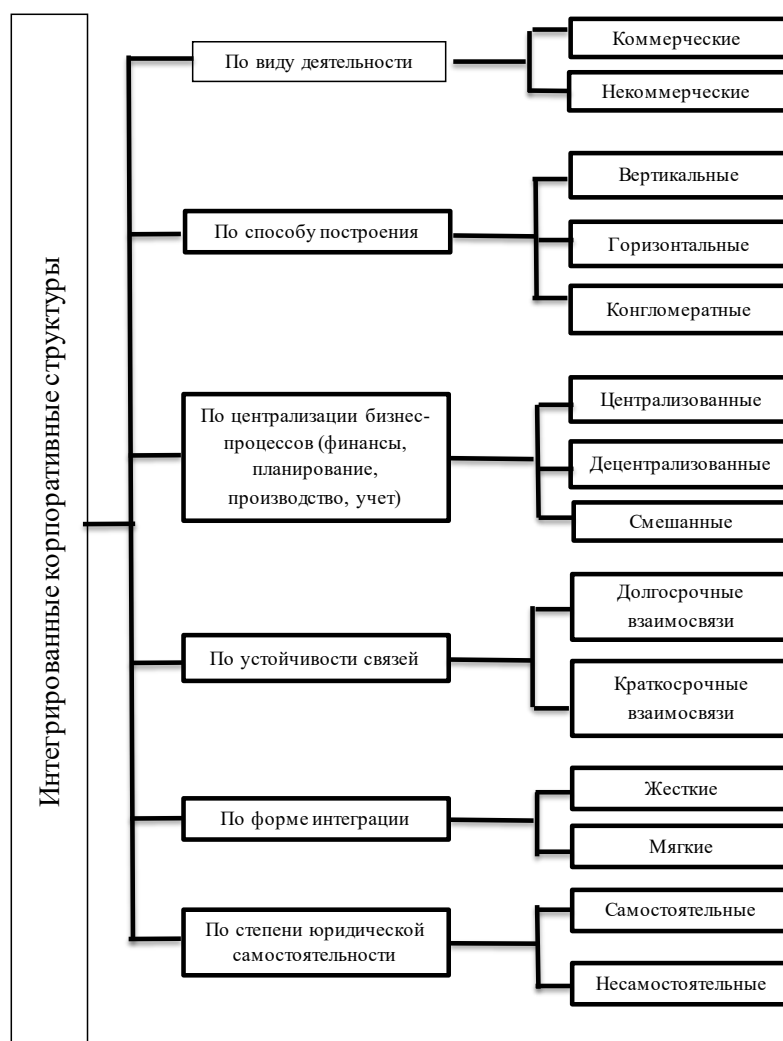


Рисунок 1 – Классификация ИКС

Трест	Концерн	НПО	Госкорпорация	Синдикат	Картель	Конгломерат	Холдинг	Производственный кластер	Экосистема	Стратегический альянс	Консорциум	Ассоциация	ИКС
0	3,46	3,46	9,22	10,91	10,68	9,43	9,00	9,85	10,10	9,90	9,59	11,75	Трест
	0	3,46	7,42	9,75	9,49	8,31	7,55	8,31	8,49	8,72	7,62	10,86	Концерн
		0	8,77	12,37	11,92	9,75	9,33	9,54	10,86	10,95	9,38	12,49	НПО
			0	7,87	7,00	5,29	3,46	4,90	7,28	5,92	1,73	8,31	Госкорпорация
				0	2,24	8,00	6,16	8,72	7,42	3,87	7,14	7,14	Синдикат
					0	7,28	5,39	7,81	7,48	3,16	6,16	6,63	Картель
						0	5,48	2,00	5,74	5,20	5,74	6,08	Конгломерат
							0	5,48	6,24	4,12	3,00	7,55	Холдинг
								0	6,08	5,92	5,39	6,71	Производственный кластер
									0	5,83	6,93	8,72	Экосистема
										0	5,48	5,10	Стратегический альянс
											0	8,60	Консорциум
												0	Ассоциация

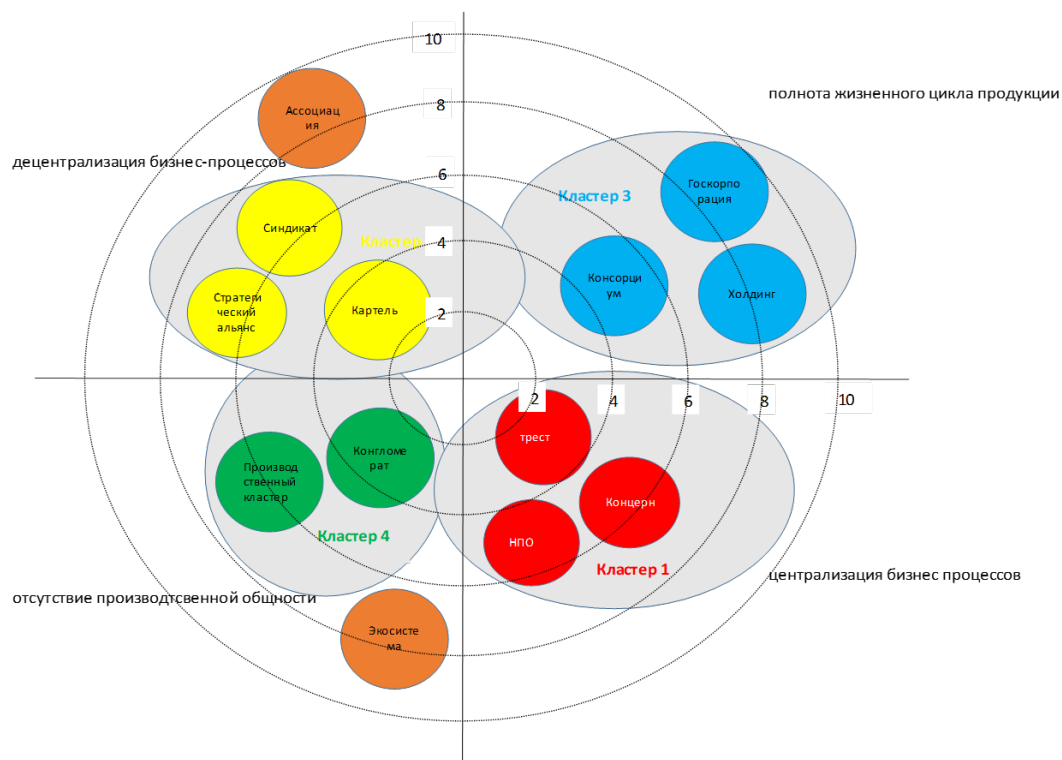
Рисунок 2 – Матрица расстояний между исследуемыми ИКС со значением d_{ij}


Рисунок 3 – Визуализация результатов кластерного анализа

Результаты кластеризации могут быть использованы при разработке дифференцированных мер государственной промышленной политики, выборе адекватных моделей корпоративного управления, а также при проектировании новых интегрированных структур, оптимизации состава и конфигурации существующих объединений. Адекватная типологизация интегрированных структур на основе объективных количественных критериев является необходимым условием эффективности как государственного регулирования, так и внутрикорпоративного менеджмента в ОПК.

3 Теоретические подходы к оценке финансовой устойчивости

В рамках исследования задачи прогнозирования финансовой устойчивости ИКС ОПК разработан алгоритм (рисунок 4), объединяющий стохастическое моделирование на основе Марковских цепей, модели Du Pont и имитационное моделирование по методу Монте-Карло. Алгоритм включает в себя двойное обращение к генератору случайных чисел для получения случайной величины $\hat{a}$, характеризующей вероятность наступления объективных и субъективных событий. Под объективными событиями понимается переход ИКС ОПК из «стабильного (позитивного) состояния» в «негативное» вследствие случайного возникновения рисков, а под субъективными – возвращение из «негативного» состояния в «стабильное (позитивное)» в результате компенсирующих мероприятий стратегического менеджмента. Объективные события инициируются преимущественно внешними или внутренними факторами, не зависящими от воли менеджмента в краткосрочном периоде: макроэкономические шоки, изменение Гособоронзаказа, форс-мажор. Эти события носят стохастический характер и не могут быть предотвращены управленческим воздействием в момент их возникновения. Субъективные события являются следствием реализации управленческих решений, направленных на компенсацию негативных явлений: реструктуризация задолженности, обновление портфеля заказов, оптимизация издержек, запуск программ импортозамещения и т.д.

Для реализации данного алгоритма были разработаны взаимосвязанные математическая модель, формализующая переходы между состояниями через стохастические матрицы, и программное обеспечение, обеспечивающие прогнозирование финансовой устойчивости². Моделирование в том числе позволяет оценить влияние какого фактора трехфакторной мультипликативной модели на рентабельность собственного капитала имеет наибольшее значение, что позволяет руководству ИКС ОПК принимать управленческие решения.

На первом этапе моделирования формируется временной горизонт прогнозирования. Зададим в алгоритме количество этапов прогнозируемого периода как N . Каждый этап обозначим индексом n , где:

$$n \in \{1, 2, \dots, N\}. \quad (2)$$

В статье предлагается, без потери общности, прогнозируемый период разделить на пять этапов, продолжительностью один год каждый.

Далее менеджментом ИКС ОПК на основе экспертных оценок определяются возможные риски, способные существенно повлиять на ее текущее состояние. В данной статье в качестве рисков деятельности ИКС ОПК будем рассматривать существенное изменение факторов $K_{обА}$, P_{Qp} , μ_{Kcob} , при этом целесообразно обозначить следующие шесть возможных состояний:

S_1 – ИКС работает стабильно, реализованных рисков нет;

S_2 – на ИКС реализован один риск существенного снижения объема Гособоронзаказа и существенное изменение показателя объема выручки (Q_p);

S_3 – в результате неудачной инвестиционной деятельности ИКС реализован риск существенного изменения показателя коэффициента оборачиваемости активов $K_{обА}$;

S_4 – для осуществления инвестиционной деятельности ИКС привлечено значительное количество заемных средств, тем самым реализован риск существенного изменения показателя финансового левериджа μ_{Kcob} ;

S_5 – реализованы два риска в любых сочетаниях;

S_6 – реализованы три риска одновременно.

Матрица переходных вероятностей состояний в рамках модели Марковских цепей формализуется как квадратная матрица:

$$\Pi_{[6,6]}(g) = \left\| P_{ij}(g) \right\|_6^6, \quad (3)$$

где: P_{ij} – вероятность перехода ИКС из состояния i в состояние j на следующей итерации « g ».

² Галеев Э.Е., Петухов П.Н. Программа оценивания рентабельности собственного капитала по чистой прибыли интегрированной корпоративной структуры на основе Марковской модели: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №RU2024612317 Российская Федерация; правообладатель Галеев Э.Е. Заявл. 22.11.2023; опублик. 31.01.2024.

На этапе построения математической модели матрица задается структурно, без конкретных числовых значений. Матрица позволяет смоделировать траекторию изменения состояний ИКС на несколько периодов вперед. Таким образом матрица переходных вероятностей служит математическим «каркасом» математической модели, который заполняется содержанием на этапе анализа данных и сценарного планирования, осуществляемого стратегическим менеджментом.

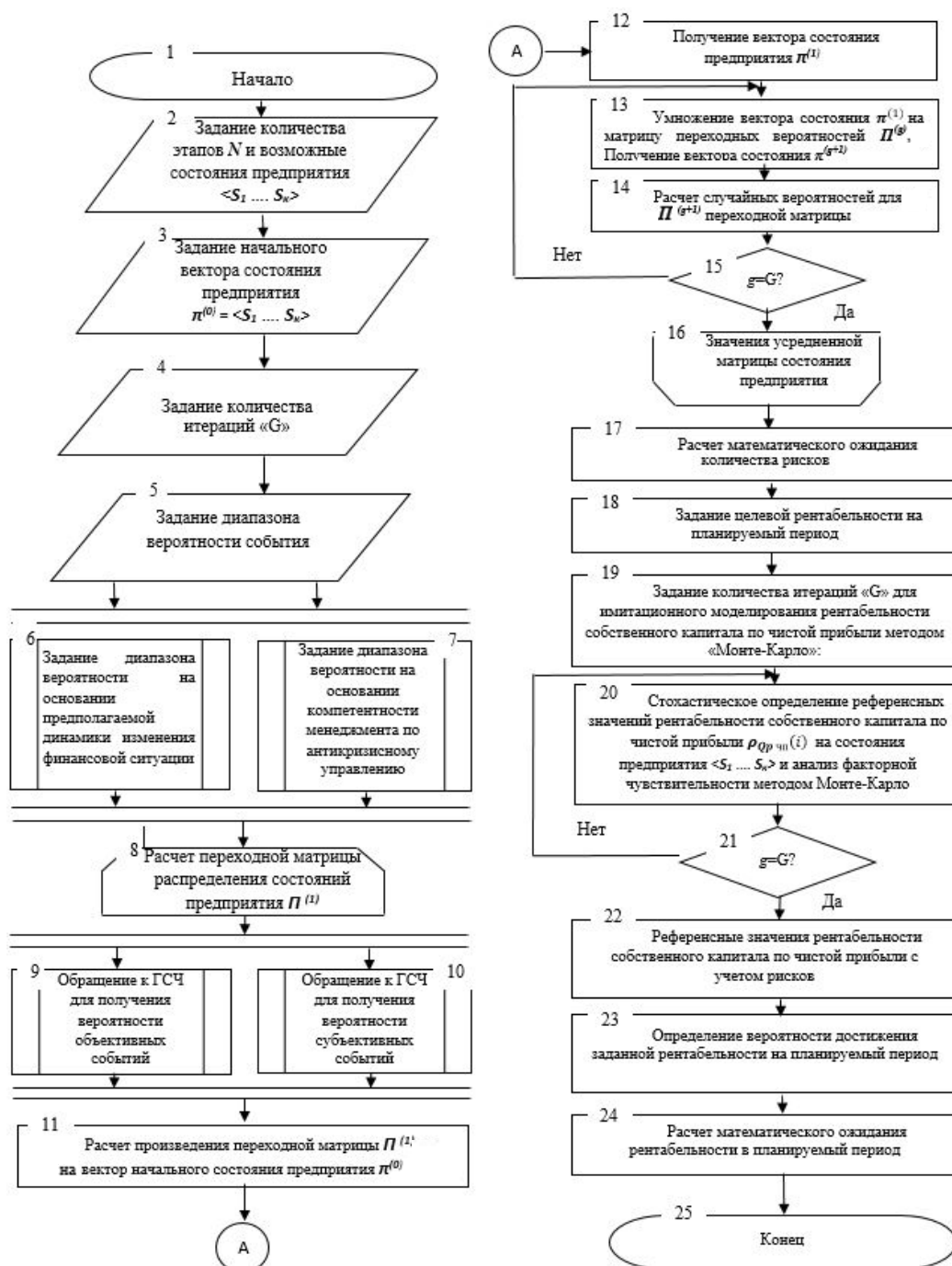


Рисунок 4 – Алгоритм с двухконтурным обращением к ГСЧ, объединяющий стохастическое моделирование на основе Марковских цепей, модель Du Pont и имитационное моделирование по методу Монте-Карло

Размеченный граф состояний ИКС, отображающий возможные состояния системы, представлен на рисунке 5.

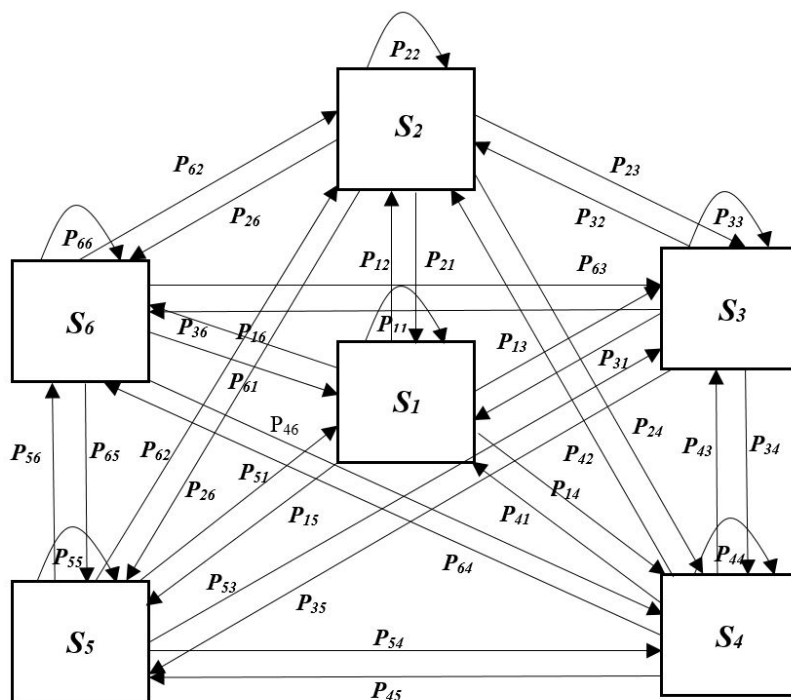


Рисунок 5 – Размеченный граф состояний ИКС ОПК

Зададим начальное состояние как вектор $\pi^{(0)} = \langle 1, 0, 0, 0, 0, 0 \rangle$, где элементы соответствуют вероятностям нахождения ИКС в состояниях $S_1, S_2, \dots, S_6$ на начальный момент времени ($g = 0$), то есть находится в устойчивом состоянии, реализовавшиеся риски отсутствуют.

В соответствии с теорией Марковских цепей для того, чтобы получить вектор последующего состояния ИКС, необходимо вектор текущего состояния перемножить на матрицу переходных вероятностей.

В условиях неопределенности, когда получить точечные оценки значений переходных вероятностей не представляется возможным, исследователи переходят к использованию случайных переходных матриц $\Pi^{(g)}$, где на каждой итерации « g » генерируется новая матрица переходов. Для этого используется имитационное моделирование с многократным (10 000 итераций) повторением процедур расчета случайных вероятностей для $g + 1$ переходной матрицы и умножения последующего вектора состояния $\pi^{(g+1)}$ на матрицу переходных вероятностей $\Pi^{(g)}$:

$$\pi^{(g+1)} = \pi^{(g)} \cdot \Pi^{(g)}. \quad (4)$$

События переходов в негативные состояния S_2, S_3, S_4 являются взаимозависимыми, так как вероятность перехода в одно состояние влияет на вероятность перехода в другое, так как сумма вероятностей в строке матрицы должна равняться 1. К примеру: вероятность перехода из состояния S_1 в S_2 , то есть уменьшению объема выручки, снизит вероятность перехода в события S_3, S_4 , то есть изменению коэффициента оборачиваемости активов или увеличению финансового левериджа за счет увеличения доли заемных средств, так как при наступлении этого риска менеджмент ИКС ОПК вероятнее всего не будет принимать решения о покупке активов или получения кредита.

Основными событиями являются состояния S_2, S_3, S_4 , каждое из которых соответствует реализации одного уникального риска. Событие S_5 моделирует комбинацию двух

рисков, а S_6 – одновременное наступление трех рисков. Для упрощения моделирования граф из шести состояний декомпозируется на три независимых аналитических блока, где каждый блок (рисунок 6) оценивает исходное состояние S_1 (стабильное состояние) в сочетании с одним из рисков: Блок 1 (S_1 и S_2), Блок 2 (S_1 и S_3), Блок 3 (S_1 и S_4).

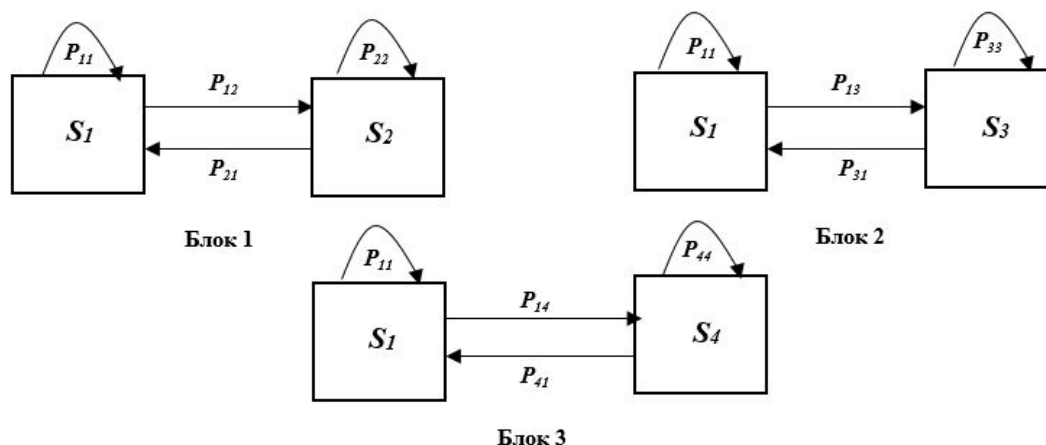


Рисунок 6 – Совокупность из трех независимых аналитических блоков

Каждый блок функционирует в рамках четырех альтернативных сценариев:

- Риск не реализован (сохранение состояния S_1).
- Риск реализован (переход в состояние S_i , где $i = 2,3,4$).
- Риск нейтрализован (переход из состояния S_i , где $i = 2,3,4$, в состояние S_1).
- Риск не нейтрализован (сохранение состояния S_i , где $i = 2,3,4$).

При оценке финансовой устойчивости менеджмент ИКС ОПК оперирует историческими и прогнозными значениями рентабельности продаж по чистой прибыли, оборачиваемости активов, финансового левериджа, а также множеством управляющих воздействий, направленных на коррекцию этих параметров, и должен стремиться к максимизации рентабельности собственного капитала на весь прогнозируемый период.

При реализации элементов 6 и 7 алгоритма менеджменту ИКС ОПК необходимо оценить вероятность наступления событий P_{11} , P_{21} , P_{31} , P_{41} , используя предлагаемые варианты интервалов значений вероятности события (таблица 2). Такая категоризация позволяет стандартизировать оценку рисков, упрощает сравнение событий и принятие решений на основе их вероятностного воздействия. Например, вероятность наступления риска с категорией «Наверняка» требуют неотлагательной разработки компенсирующих воздействий, тогда как «Невероятно» могут быть отложены в приоритете.

При реализации элементов 9 и 10 алгоритма выполняется следующий процесс:

1. Задание вероятностей ключевых событий и использование ГСЧ:

- вероятности событий P_{11} , P_{21} , P_{31} , P_{41} генерируются как случайная величина $\hat{a}$, подчиненная равномерному закону распределения, в соответствии с заданными менеджментом интервалами (таблица 3). Например, для P_{11} используется равномерное распределение в диапазоне $(0,9; 1,0]$, принадлежащей категории «Наверняка», утвержденная методом экспертной оценки (таблица 2).

2. Расчет вероятностей противоположных событий:

- вероятности событий альтернативных P_{11} , P_{21} , P_{31} , P_{41} определяются как $1 - P_{11}$, $1 - P_{21}$, $1 - P_{31}$, $1 - P_{41}$ (таблица 3).

После занесения данных в программу оценивания рентабельности собственного капитала по чистой прибыли ИКС на основе Марковской модели, реализующей предложенный алгоритм (таблица 4), пользователю необходимо задать количество итераций G и начать симуляцию. Результат в виде усредненной матрицы распределения вероятности состояний ИКС ОПК автоматически заносится в таблицу 5.

Таблица 2 – Интервалы вероятностей для категоризации событий

Вариант предлагаемого интервала, k	Категория вероятности наступления события	Интервал значений вероятности события
		$[x_k; y_k]$
1	Невероятно	$[0; 0,1]$
2	Низкая вероятность	$(0,1; 0,3]$
3	Вероятно	$(0,3; 0,5]$
4	Высокая вероятность	$(0,5; 0,7]$
5	Почти наверняка	$(0,7; 0,9]$
6	Наверняка	$(0,9; 1,0]$

Таблица 3 – Вероятности событий в аналитических блоках

Блок 1 ($S_1 - S_2$)		Блок 2 ($S_1 - S_3$)		Блок 3 ($S_1 - S_4$)	
P_{11}	$\hat{a} \in [x_k; y_k]$	P_{11}	$\hat{a} \in [x_k; y_k]$	P_{11}	$\hat{a} \in [x_k; y_k]$
P_{12}	$1 - P_{11}$	P_{13}	$1 - P_{11}$	P_{14}	$1 - P_{11}$
P_{21}	$\hat{a} \in [x_k; y_k]$	P_{31}	$\hat{a} \in [x_k; y_k]$	P_{41}	$\hat{a} \in [x_k; y_k]$
P_{22}	$1 - P_{21}$	P_{33}	$1 - P_{31}$	P_{44}	$1 - P_{41}$

Таблица 4 – Пример заполнения данных в программном комплексе

Блок 1 ($S_1 - S_2$)	
Этап прогнозируемого периода, n	Категория вероятности наступления события P_{11} , задаваемая менеджментом на каждый этап прогнозируемого периода
1	Наверняка
2	Высокая вероятность
3	Высокая вероятность
4	Высокая вероятность
5	Почти наверняка
Этап прогнозируемого периода, n	Категория вероятности наступления события P_{21} , задаваемая менеджментом на каждый этап прогнозируемого периода
1	Наверняка
2	Высокая вероятность
3	Высокая вероятность
4	Высокая вероятность
5	Почти наверняка

Таблица 5 – Пример усредненной матрицы распределения вероятности состояний

Этап прогнозируемого периода, n	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6
1	0,85	0,05	0,05	0,04	0,01	0
2	0,56	0,34	0,03	0,03	0,03	0
3	0,27	0,14	0,36	0,01	0,20	0,01
4	0,09	0,04	0,05	0,35	0,38	0,09
5	0,01	0	0,03	0,11	0,69	0,16

4 Определение референсных значений рентабельности собственного капитала по чистой прибыли и анализ факторной чувствительности методом Монте-Карло

При реализации элемента 18 алгоритма менеджмент ИКС ОПК должен установить целевые значения рентабельности собственного капитала по чистой прибыли (таблица 6) на все этапы прогнозируемого периода.

Таблица 6 – Пример целевых значений рентабельности собственного капитала по чистой прибыли на прогнозируемый период

Этап прогнозируемого периода, n	1	2	3	4	5
$\mu_{K_{\text{соб}}}$	10,3	8,1	9,1	9,4	9,6

Для оценки возможности ИКС ОПК достигать целевых значений рентабельности необходимо рассчитать (реализация элементов 19-22 алгоритма) референсные значения рентабельности собственного капитала по чистой прибыли для состояний $S_1 \dots S_6$ с учетом возможных рисков и их влияния на рентабельность. Референсные значения в данном исследовании носят рекомендательный характер и могут быть адаптированы под специфику конкретного ИКС ОПК.

Для определения референсных значений $\mu_{K_{\text{соб}}}$ в стабильном состоянии S_1 разработан метод, сочетающий экспертные оценки и стохастическое моделирование на основе модели Du Pont и метода Монте-Карло. Каждый из трех факторов моделируется с использованием различных распределений, что отражает специфику их поведения и уровень неопределённости.

1) Рентабельность продаж по чистой прибыли ($P_{Qp \text{ чп}}$).

Распределение нормальное (таблица 7). Обоснование выбора:

- нормальное распределение применяется для показателей, которые группируются вокруг среднего значения с симметричными отклонениями;
- среднее значение 10% установлено экспертно на основе типичной рентабельности предприятий ОПК в стабильных условиях;
- стандартное отклонение 2% отражает умеренную волатильность, характерную для предприятий с устоявшимся портфелем заказов. К примеру, для предприятий другого типа (высокотехнологичный сектор) среднее значение может быть скорректировано до 15-20%.

2) Коэффициент оборачиваемости активов ($K_{\text{об.А}}$).

Распределение равномерное (таблица 7). Обоснование выбора:

- равномерное распределение предполагает, что все значения в заданном диапазоне равновероятны, что соответствует высокой неопределенности в оценке оборачиваемости;
- диапазон определен экспертно, как типичный для предприятий ИКС ОПК, где активы могут включать как высоколиквидное оборудование, так и специфические производственные линии. Для предприятий с высокой долей нематериальных активов диапазон может быть смещен в сторону меньших значений.

3) Финансовый леверидж ($\mu_{K_{\text{соб}}}$).

Распределение треугольное (таблица 7). Обоснование выбора:

- треугольное распределение используется, когда есть минимальное, максимальное и наиболее вероятное значение (мода);
- экспертные оценки показали, что для стабильных предприятий ОПК минимальный леверидж соответствует низкой долговой нагрузке, максимальный – предельно допустимому уровню заимствований, мода – оптимальному значению, балансирующему между риском и доходностью. Для предприятий в фазе активного роста мода может быть смещена к 2,0.

Процесс моделирования для стабильного состояния S_1 :

1) Генерация сценариев: для каждого фактора модели Du Pont методом Монте-Карло генерируется $G = 10\,000$ значений в соответствии с заданными распределениями.

Таблица 7 – Параметры распределения для состояния S_1

Фактор модели Du Pont	Распределение $\hat{a}$ при моделировании	Диапазон/параметры
P_{Qp} чп	Нормальное	Среднее = 10%; отклонение = 2%
$K_{обл}$	Равномерное	min = 0,4; max = 1,0
$\mu_{Ксобр}$	Треугольное	min = 1,2; max = 2,0; mode = 1,6

2) Расчет рентабельности: для каждого сценария вычисляется рентабельность собственного капитала по чистой прибыли.

3) Определение референсных значений:

- среднее значение, используемое в расчетах;
- 95 перцентиль, как целевой показатель для менеджмента;
- 5 перцентиль, как минимально допустимый показатель рентабельности.

Процесс моделирования для состояний $S_1 \dots S_6$.

Для оценки влияния рисков на рентабельность собственного капитала по чистой прибыли в состояниях S_2, S_3, S_4 используется метод Монте-Карло, каждое состояние связано с изменением одного из факторов модели Du Pont:

S_2 – риск снижения рентабельности продаж по чистой прибыли из-за падения выручки на 10-30%;

S_3 – риск снижения оборачиваемости активов из-за увеличения стоимости активов на 10-30%;

S_4 – риск роста финансового левериджа на 10-70% вследствие увеличения долговой нагрузки.

Обоснование выбора равномерного распределения при моделировании:

- высокая неопределенность: в условиях отсутствия исторических данных о предпочтительных значениях рисков равномерное распределение предполагает, что все значения в заданном менеджментом ИКС ОПК диапазонах равновероятны;
- отсутствие априорных знаний: для состояний S_2, S_3, S_4 нет информации о том, какие значения факторов (например, снижение выручки на 15% или 25%) более вероятны;
- упрощение модели: равномерное распределение минимизирует субъективность на этапе задания параметров.

Шаги моделирования:

1) Генерация $G = 10\,000$ случайных значений для каждого фактора:

- для S_2 снижение объема выручки моделируется через равномерное распределение в диапазоне [-30%; -10%] относительно базового значения;
- для S_3 снижение коэффициента оборачиваемости активов моделируется через равномерное распределение в диапазоне [-30%; -10%] относительно базового значения;
- для S_4 рост финансового левериджа моделируется через равномерное распределение в диапазоне [+10%; +70%] относительно базового значения;

2) Расчет рентабельности: для каждого из 10 000 сценариев вычисляется рентабельность собственного капитала по чистой прибыли.

3) Определение референсных значений:

- среднее значение, используемое в расчетах;
- 95 перцентиль, как целевой показатель для менеджмента;
- 5 перцентиль, как минимально допустимый показатель рентабельности.

4) Полученные значения (таблица 8):

- для состояния S_2 : среднее значение рентабельности=1,84%, 5 перцентиль=0,14%, 95 перцентиль =3,71%;
- для состояния S_3 : среднее значение рентабельности=7,35%, 5 перцентиль=5,41%, 95 перцентиль =15,03%;
- для состояния S_4 : среднее значение рентабельности=10,48%, 5 перцентиль=9,15%, 95 перцентиль =11,73%;
- для состояния S_5 : вариативное перемножение рентабельности для состояний S_2, S_3, S_4 ;
- для состояния S_6 : перемножение рентабельностей для состояний S_2, S_3, S_4 .

Таблица 8 – Референсные значения рентабельности собственного капитала по чистой прибыли с учетом рисков

Состояние	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6
Рентабельность собственного капитала по чистой прибыли с учетом рисков	11,2%	1,8%	7,4%	10,5%	0,769%	0,014%

5 Анализ факторной чувствительности

Анализ факторной чувствительности показывает, как изменение каждого фактора влияет на рентабельность капитала по чистой прибыли (таблица 9).

Таблица 9 – Анализ факторной чувствительности

Состояние ИКС ОПК	Фактор	Диапазон изменения	Влияние на рентабельность собственного капитала по чистой прибыли
S_2	Рентабельность продаж по чистой прибыли	[-30%; -10%]	Снижение на 9,4%
S_3	Коэффициент оборачиваемости активов	[-30%; -10%]	Снижение на 3,8%
S_4	Финансовый леверидж	[+10%; +70%]	Снижение на 0,7%

Интерпретация результатов:

S_2 : Наиболее чувствительный фактор – рентабельность продаж. Снижение объема выручки приводит к падению рентабельности собственного капитала по чистой прибыли до 1,8%, что критично для финансовой устойчивости ИКС ОПК, требует срочных мер по восстановлению продаж;

S_3 : Снижение оборачиваемости активов оказывает умеренное влияние, приводит к незначительному снижению рентабельности собственного капитала по чистой прибыли до 7,4%, что не критично для финансовой устойчивости ИКС ОПК, может быть компенсировано снижением издержек;

S_4 : Рост левериджа оказывает наименьшее влияние на рентабельность собственного капитала по чистой прибыли, но сопряжен с рисками банкротства, при превышении допустимого уровня долга, необходим контроль за соотношением заемного и собственного капитала;

S_5 : Сочетание двух рисков приводит к критическому падению рентабельности;

S_6 : Реализация трех рисков одновременно – высокая вероятность банкротства.

6 Определение вероятности достижения целевой рентабельности по этапам прогнозируемого периода

При реализации элементов 23 и 24 алгоритма проводится вероятностная оценка достижения целевой рентабельности на каждом этапе прогнозируемого периода (таблица 10).

Для этапа n вероятность достижения целевой рентабельности определяется как:

$$P(R \geq R_{\text{заданное}}) = \sum_{n=1}^N R_i^n \geq R_{\text{заданное}} \cdot P(S_i^n), \quad (6)$$

где: R_i^n – рентабельность в состоянии S_i на этапе n ;

$P(S_i^n)$ – вероятность состояния S_i на этапе n .

Вероятность достижения целевой рентабельности $\geq 10,3$ на первом этапе прогнозируемого периода, для данной усредненной матрицы распределения состояний ИКС ОПК:

$$P(R \geq 10,3) = P(S_1^1) + P(S_4^1) = 0,85 + 0,04 = 0,89.$$

Таблица 10 – Вероятность достижения целевой рентабельности по этапам прогнозируемого периода

Этап прогнозируемого периода, n	$R \geq$	$P(S_i^n)$
1	10,3	0,89
2	8,1	0,59
3	9,1	0,28
4	9,4	0,44
5	9,6	0,12

Математическое ожидание рентабельности в планируемый период (таблица 11):

$$M^n = \sum_{i=1}^6 R_i^n \cdot P(S_i^n). \quad (7)$$

Таблица 11 – Математическое ожидание рентабельности по этапам прогнозируемого периода

Этап прогнозируемого периода, n	$R_1 S_1$	$R_2 S_2$	$R_3 S_3$	$R_4 S_4$	$R_5 S_5$	$R_6 S_6$	M^n
1	9,5%	0,1%	0,4%	0,4%	0%	0%	10,4%
2	6,3%	0,6%	0,2%	0,3%	0%	0%	7,5%
3	3,0%	0,3%	2,6%	0,1%	0,2%	0,0001%	6,2%
4	1,0%	0,1%	0,4%	3,7%	0,3%	0,001%	5,4%
5	0,1%	0,0%	0,2%	1,2%	0,5%	0,002%	2,0%

7 Практические рекомендации по повышению обоснованности принятия стратегических управленческих решений в ИКС ОПК РФ

В данном исследовании разработаны практические рекомендации для руководства предприятий ОПК (таблица 12), включающие выбор оптимальной формы консолидации, с учетом выявленных детерминирующих факторов и предпосылок, применение разработанной методологии кластерного анализа для классификации ИКС, использование алгоритма комплексного моделирования для оценки эффектов и рисков интеграции, а также управление рентабельностью собственного капитала по чистой прибыли на основе референсных значений и анализа факторной чувствительности, с целью повышения эффективности стратегического управления ИКС.

В практических рекомендациях особое значение уделяется прогнозированию долгосрочной финансовой устойчивости, что позволяет произвести оценку рисков и возможностей в условиях неопределенности, предоставив менеджменту ИКС ОПК данные для реалистичного стратегического планирования. Дополнительно акцентируется внимание для менеджмента ИКС ОПК:

- определение приоритетов при оптимизации факторов модели Du Pont для снижения волатильности рентабельности;
- использование стационарных распределений для долгосрочного планирования для инвесторов;
- оценка рисков через вероятности наступления рисков и перехода в «негативное» состояние и перцентили рентабельности собственного капитала.

Таблица 12 – Практические рекомендации для руководства предприятий ОПК

№ п/п	Рекомендации	Описание	Ожидаемый результат
1	Выбор формы интеграции	Определение предпосылок для интеграции предприятий ОПК в жесткие и мягкие формы	Соотнесение формируемой ИКС к одной из организационных форм интеграции компаний
2	Определение основных эффектов интеграции	Определение потребности структурного реформирования предприятий	Определение и формализация основных элементов синергетического эффекта интеграции
3	Определение основных рисков формирования ИКС	Выявление ключевых рисков, позволяющие менеджменту нивелировать их на этапе принятия решения об интеграции. Для минимизации этих рисков необходимы тщательное планирование интеграционных процессов и разработка механизмов управления рисками	Разработка компенсирующих мероприятий стратегического менеджмента для нивелирования рисков и отладки бизнес-процессов интеграции
4	Определение временного горизонта прогнозирования финансовой устойчивости	На первом этапе моделирования формируется временной горизонт прогнозирования	Количество этапов прогнозируемого периода N
5	Определение возможных рисков	Определение ключевых рисков, способных существенно повлиять на текущее финансовое состояние ИКС	Факторы, изменение которых влияет на финансовое состояние ИКС и приводит к возникновению рисков
6	Определение начального вектора состояния и возможных состояний ИКС	Создается граф состояний ИКС ОПК, отображающий возможные состояния системы	Начальный вектор $\pi^{(0)}$ и матрица переходных вероятностей состояний ИКС ОПК в рамках модели Марковских цепей $\Pi_{[x,y]}(g) = P_{ij}(g) _y^x$
7	Интерпретация рисков	Проводится менеджментом ИКС на основе экспертной оценки влияния рисков на финансовую устойчивость и заданного количества рисков	Расчет математического ожидания рисков
8	Установление целевых значений рентабельности собственного капитала по чистой прибыли на прогнозируемый период	Определение необходимых значений плановой рентабельности на прогнозируемый период	Целевые значения рентабельности собственного капитала по чистой прибыли на прогнозируемый период для моделирования
9	Определение референсных значений рентабельности собственного капитала по чистой прибыли	Для оценки возможности ИКС достигать целевых значений рентабельности, необходимо рассчитать референсные значения рентабельности собственного капитала по чистой прибыли для всех назначенных возможных состояний. Референсные значения должны быть адаптированы под специфику конкретной ИКС	Референсные значения рентабельности собственного капитала по чистой прибыли для всех назначенных возможных состояний с учетом возможных рисков и их влияния на рентабельность
10	Анализ факторной чувствительности	Анализ факторной чувствительности показывает, как изменение каждого фактора влияет на рентабельность капитала по чистой прибыли	Интерпретация результатов и принятие превентивных мер при угрозах
11	Определение вероятности достижения целевой рентабельности по этапам прогнозируемого периода	Расчет вероятности достижения целевой рентабельности по этапам прогнозируемого периода	Математическое ожидание рентабельности в планируемый период
12	Создание матрицы ответственности	Определение ответственных менеджеров за принятие решений о компенсирующих мерах	Установление KPI для исполнителей

Заключение

1. В ходе исследования установлен и систематизирован комплекс ключевых факторов, оказывающих детерминирующее влияние на выбор стратегии консолидации предприятий ОПК. Установлено, что доминирующее влияние на выбор стратегии оказывают факторы синергии. Выявление и ранжирование этих факторов создает основу для обоснованного формирования интеграционной политики.

2. Проведено научное обоснование предпосылок для выбора между жесткими (холдинги, концерны, НПО) и мягкими (консорциумы, стратегические альянсы) формами интеграции предприятий ОПК.

3. Разработана и апробирована оригинальная методология классификации ИКС ОПК, основанная на применении кластерного анализа. Методология предполагает формирование системы релевантных классификационных признаков. В результате апробации на данных российских ИКС ОПК выделены устойчивые кластеры (типы ИКС), характеризующиеся специфическими профилями по выбранным признакам. Данная классификация позволяет типизировать ИКС, выявлять общие черты и различия, что необходимо для разработки дифференцированных подходов к их управлению и оценке эффективности.

4. В результате проведенного исследования был разработан и программно реализован алгоритм прогнозирования финансовой устойчивости с двухконтурным использованием генератора случайных чисел.

5. На основе анализа финансовых показателей ведущих отечественных ИКС ОПК, а также с использованием разработанного алгоритма моделирования, определены научно обоснованные референсные (ориентировочные) значения рентабельности собственного капитала. Проведен детальный анализ факторной чувствительности рентабельности собственного капитала. Установлена степень влияния и направленность воздействия ключевых факторов (оборачиваемость активов, рентабельность продаж, финансовый рычаг, стоимость капитала) на рентабельность собственного капитала в условиях неопределенности. Результаты анализа позволяют выявить «критические» факторы, управление которыми наиболее существенно влияет на финансовую результативность ИКС.

6. На базе всех полученных результатов исследования разработан комплекс адресных практических рекомендаций. Рекомендации направлены на повышение обоснованности управленческих решений на различных этапах жизненного цикла ИКС ОПК.

Список источников

1. Баушев С.В., Бабкин А.В., Волокитина И.Н., Галеев Э.Е. Формирование интегрированных корпоративных структур в оборонно-промышленном комплексе России в условиях глобальных вызовов // *π-Economy*. 2025. Т.18. №2. С. 134-149.
2. Савицкая Г.В. Показатели финансовой эффективности предпринимательской деятельности: обоснование и методика расчета // *Экономический анализ: теория и практика*. 2012. №39. С. 14-22.
3. Шеремет А.Д. Комплексный анализ показателей устойчивого развития предприятия // *Экономический анализ: теория и практика*. 2014. №45(396). С. 2-10.
4. Бабурина И.А., Губайдуллина Э.Э., Юрковская Г.И. Основные особенности предприятий оборонно-промышленного комплекса // *Актуальные проблемы авиации и космонавтики*. 2010. Т.2. №6. С. 8-9.
5. Голубев С.С., Чеботарев С.С. Информационные технологии как ключевой механизм устойчивого развития оборонных промышленных предприятий в современных условиях // *Экономические стратегии*. 2018. Т.20. №3(153). С. 68-81.
6. Ливчин С.В., Цветных А.В. Интегрированная корпоративная структура оборонно-промышленного комплекса: понятие и классификация // *Менеджмент социальных и экономических систем*. 2017. №4. С. 5-10.
7. Бабкин А.В. Интегрированные промышленные структуры как экономический субъект рынка: сущность, принципы, классификация. Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Экономика. 2014. №4. С. 7-23.

Информация об авторе

Э.Е. Галеев – SPIN 3498-2110.

Дополнительные материалы

Правила предоставления авторами рукописей

1. Для опубликования в журнале «Вооружение и экономика» (Журнал) принимаются научные статьи и рецензии преимущественно по тематике военно-технической политики, экономики военного строительства, программно-целевого планирования вооружения, военной и специальной техники и государственного оборонного заказа, экономической и военно-экономической безопасности, военных финансов, военно-социальной политики, правовых основ экономики военного строительства, подготовки научных кадров.

Статья должна соответствовать одной из следующих научных специальностей:

Вооружение и военная техника (Военные науки)

Военная экономика, оборонно-промышленный потенциал (Военные науки)

Менеджмент (Социальные и гуманитарные науки, Экономика, 5.2.6. Менеджмент)

2. Файл статьи и сканы (файлы) прилагаемых документов (материалов) направляются авторами по электронной почте в адрес редакции – rk@viek.ru. Одновременно экземпляр рукописи, подписанный авторами, и оригиналы прилагаемых документов и материалов высылаются на почтовый адрес:

129327, г. Москва, Чукотский проезд, д. 10, ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России.

В редакцию журнала «Вооружение и экономика»

(не следует указывать в почтовом адресе фамилии получателей – это осложняет получение корреспонденции установленным порядком).

Рассмотрение статьи начинается с момента получения полного комплекта материалов в электронном виде. Принятие окончательного решения об опубликовании возможно не ранее получения редакцией оригиналов сопроводительных документов статьи (см. п.5).

3. Текст статьи должен быть набран на русском языке в файле одного из следующих форматов – docx (предпочтительнее), odt, doc, rtf. Параметры оформления:

- размер листа – А4; ориентация – книжная;
- поля – верхнее и нижнее по 30 мм, левое и правое по 20 мм;
- отступ первой строки абзацев – 1,25 см;
- выравнивание – «по ширине»; интервал – 1,0-1,15 («одинарный» предпочтительнее);
- расстановка переносов – автоматическая или без переноса. Не рекомендуется использовать спецсимволы «мягкого переноса»;
- шрифт – Arial (предпочтительнее), Times New Roman, Helvetica, Pt Sans. Выбранный шрифт, как правило, должен быть единственным в основном тексте статьи, в т.ч. использоваться в заголовках, надписях, текстовых элементах рисунков и схем, ячейках таблиц, за исключением формул и их элементов внутри абзацев, где, как правило, должен использоваться шрифт Cambria Math (только для формул);
- размер шрифта основного текста статьи – 11-12 пт («11 пт» предпочтительнее);
- для выделения по смыслу текстовых элементов внутри абзацев статьи следует использовать *курсив* (предпочтительно) или *разрядку* (в исключительных случаях);
- не рекомендуется использовать в основном тексте статьи такие способы форматирования как подчеркивание, **полужирный** шрифт, кернинг (разреженный или уплотненный шрифт). Подстрочные/надстрочные символы не следует применять вне формул;
- списки и разного рода перечни следует оформлять «обычным текстом», при необходимости добавив в начале абзаца порядковый номер или дефис. Например, в файле не рекомендуется использовать «маркированный/нумерованный список» Microsoft Word;
- ссылки на интернет-ресурсы (например, в сносках) следует оформлять «обычным текстом» без возможности непосредственного перехода по ссылке из файла статьи;
- не рекомендуется использовать в файле такие специальные символы как «неразрывный пробел», «неразрывный дефис», «мягкий перенос», вместо «условно длинных/коротких» тире рекомендуется использовать стандартный символ «дефис» («минус»).

Структура файла статьи:

- код и наименование научной специальности;
- тип статьи – указать «*Научная статья*»;
- индекс Универсальной десятичной классификации (УДК);
- заглавие (тема) статьи без сокращений/аббревиатур;
- имя, отчество, фамилия каждого автора – как правило, не более трёх авторов;
- *аннотация* (резюме) – как правило, не менее 50, не более 250 слов;
- *ключевые слова* (словосочетания) – не менее 3, не более 15 – должны соответствовать теме статьи и отражать её предметную, терминологическую область без использования обобщённых и многозначных слов, а также словосочетаний с причастными оборотами;
- заглавие, *аннотация*, *ключевые слова на английском языке*;
- благодарности и/или сведения о финансировании (при необходимости) – благодарности организациям, научным руководителям, другим лицам, оказавшим помощь в подготовке статьи; сведения о финансировании подготовки и публикации статьи, грантах, проектах, научно-исследовательских работах, в рамках или по результатам которых подготовлена статья (также и *на английском языке*);
- основной текст статьи – может быть структурирован и состоять из введения, текста статьи (например, с выделением разделов «Материалы и методы», «Результаты», «Обсуждение» и др.) и заключения, также допускается деление основного текста статьи на тематические рубрики и подрубрики;
- перечень затекстовых библиографических ссылок с заголовком «Список источников» – как правило, не менее пяти источников.

В файле статьи допускается наличие формул, рисунков и таблиц (размер шрифта внутри – не менее 9 пт). При их наличии обязательна сквозная нумерация (отдельно формул, отдельно рисунков, отдельно таблиц) и ссылки на них из текста статьи.

Математические формулы, в т.ч. их элементы, должны быть редактируемы и вставлены в файл статьи как «уравнение» (не «рисунок») Microsoft Word или как «объект MathType» либо как «объект Math» OpenOffice.org (LibreOffice.org).

Рисунки (иллюстрации, схемы, графики, диаграммы и т.п.) должны быть вставлены в файл статьи отдельными объектами «изображение» (или «рисунок»).

Таблицы должны быть набраны средствами того же текстового редактора, который использовался для набора текста файла статьи. Ячейки таблицы должны быть редактируемы (не должны быть вставлены в текст файла статьи как «рисунок»).

Обозначения математических формул, подписи рисунков, заголовки таблиц, а также сноски и ссылки на литературу оформляются в текстовом виде в соответствии с ГОСТом.

4. Статья должна оканчиваться списком источников (как правило, не менее 5 наименований), в котором указываются только авторские научные произведения (опубликованные статьи, монографии, материалы очных конференций, а также патенты), подлежащие включению в систему Российского индекса научного цитирования (более подробную информацию см. <http://www.elibrary.ru>). Объём самоцитирования, если авторы ссылаются на собственные работы, как правило, не должен превышать 20% от общего количества источников в списке.

Список составляется в том порядке, в котором источники упоминаются в тексте статьи, и оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Национальный стандарт Российской Федерации. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления».

Ссылки на другие источники (любые электронные ресурсы, нормативные документы, статистические сборники, учебная литература, любые справочники, авторефераты и диссертации, ненаучные публикации и т.п.) оформляются только в формате подстрочных библиографических ссылок – сносок внизу страницы.

5. Среди авторского коллектива определяется ответственное контактное лицо, которое непосредственно будет взаимодействовать с редакцией журнала по всем вопросам опубликования статьи, с чьего личного адреса (как электронного, так и почтового) должны быть отправлены в редакцию журнала следующие материалы:

на почтовый адрес редакции (либо нарочным) – оригиналы документов:

- распечатка (рукопись) статьи с личными подписями авторов;
- заключение о возможности открытого опубликования статьи, подготовленное в соответствии с требованиями приложения № 2 к приказу Министра обороны РФ от 5 июня 2015 г. № 320дсп (для авторов-представителей Минобороны России) или в соответствии с требованиями решения Межведомственной комиссии по защите государственной тайны от 30 октября 2014 г. № 293 (для авторов-представителей других ведомств);
- рецензия на статью, подписанная, как правило, доктором наук, подпись которого заверена установленным порядком;

на электронную почту редакции – файлы:

- файл статьи, соответствующий п.п.3,4 настоящих Правил;
- файл с карточками авторов (отдельная карточка на каждого автора);
- исходные файлы рисунков, имеющих в тексте статьи;
- файлы фотографий каждого автора в одном из общепринятых графических форматов: портретная, без посторонних людей в кадре, размер фотографии не менее 300 пикселей по горизонтали и 400 пикселей по вертикали (предоставляется по желанию).

Карточка автора

Имя	
Отчество	
Фамилия	
Ученая степень	
Ученое звание	
Детализация личного вклада автора в написание статьи	
Указание об отсутствии или наличии конфликта интересов и детализация такого конфликта в случае его наличия	
Основное место работы автора, в т.ч. адрес	
Должность	
Контактный телефон	
Адрес электронной почты	
<u>SPIN</u> -код автора	
<u>ORCID</u> -идентификатор автора	
Дополнительная информация	

Особенности распространения журнала

Доступ ко всем номерам электронного научного журнала «Вооружение и экономика» осуществляется на его сайте (<https://www.viek.ru>), в Российском индексе научного цитирования (<https://www.elibrary.ru>), а также на сайте Минобороны России.

Порядок рецензирования рукописей

1. Рукописи, поступающие в редакцию журнала «Вооружение и экономика» (Журнал), подлежат обязательному рецензированию (экспертной оценке).

2. Перечень специалистов, привлекаемых к рецензированию, утверждается главным редактором Журнала. В рецензировании рукописей вправе участвовать члены редакционной коллегии и научно-редакционного совета Журнала. По решению редакционной коллегии для рецензирования могут привлекаться также иные специалисты, если среди перечисленных лиц отсутствуют эксперты по проблематике данной статьи.

3. В течение десяти рабочих дней с момента получения рукописи и прилагаемых материалов, оформленных в соответствии с требованиями Правил предоставления авторами рукописей, редакция направляет статью на рецензирование одному или нескольким экспертам, указанным в п.2 настоящего Порядка. При направлении статьи на рецензирование из нее удаляется информация об авторе.

4. Рецензент проводит рецензирование работы в течение одного месяца с момента поступления к нему рукописи. Если по каким-либо причинам рецензент не в состоянии провести экспертную оценку рукописи в установленный срок, он должен сообщить об этом главному редактору (заместителю главного редактора). Главный редактор (заместитель главного редактора) в этом случае вправе продлить срок рецензирования работы либо передать рукопись на рецензирование другому рецензенту.

5. Если рецензент полагает, что он не может объективно оценить рукопись (вследствие конфликта интересов или по иным причинам), он в течение пяти рабочих дней с момента получения рукописи возвращает ее в редакцию с указанием причины, по которой он не может выступить рецензентом.

6. После получения рецензии главный редактор (заместитель главного редактора) вправе направить рукопись на дополнительное рецензирование другому рецензенту.

7. Основные положения отрицательной рецензии доводятся авторам рукописи без указания лица, проводившего рецензирование, вместе с решением редакционной коллегии об отклонении статьи, как правило, на указанные в карточках авторов адреса электронной почты. При опубликовании статьи в Журнале редакция вправе указать информацию о лице, давшем на нее положительную рецензию.

8. Рецензии представляются редакцией по запросам Минобрнауки России.

9. Авторы отклонённой статьи вправе в тридцатидневный срок с момента доведения им основных положений отрицательной рецензии сообщить свои возражения по данному поводу либо уведомить редакцию о намерении переработки отклонённой статьи, что предполагает подготовку нового комплекта материалов, указанных в п.5 Правил предоставления авторами рукописей.

10. После получения рецензии рукопись представляется ученым секретарем на ближайшем заседании редакционной коллегии для планирования сроков опубликования статьи. В случае если рецензия не является положительной (содержит замечания, указания на необходимость переработки, вывод о нецелесообразности опубликования в текущем виде и т.п.), представление статьи на заседании редакционной коллегии производится не раньше, чем по истечении срока, указанного в п.9 настоящего Порядка.

Сведения о членах редакционной коллегии

АЛЕКСАНДРОВ Анатолий Александрович

доктор технических наук, профессор

АЧАСОВ Олег Борисович

кандидат технических наук, доцент

БАБЕНКОВ Валерий Иванович

доктор военных наук, профессор

БАТЬКОВСКИЙ Александр Михайлович

доктор экономических наук, старший научный сотрудник

БОКОВ Сергей Иванович

доктор экономических наук, профессор

БРАЙТКРАЙЦ Сергей Гарриевич

доктор технических наук, старший научный сотрудник

БУРАВЛЕВ Александр Иванович

доктор технических наук, профессор

БУРЕНОК Василий Михайлович

доктор технических наук, профессор – *главный редактор*

ГЛАДЫШЕВСКИЙ Владимир Леонидович

доктор экономических наук, доцент – *заместитель главного редактора*

ГОРГОЛА Евгений Викторович

доктор экономических наук, профессор

ДРОГОВОЗ Павел Анатольевич

доктор экономических наук, профессор

ДУРНЕВ Роман Александрович

доктор технических наук, доцент

ИЗОНОВ Виктор Владимирович

доктор исторических наук, профессор

КОРЧАК Владимир Юрьевич

доктор экономических наук, профессор – *заместитель главного редактора*

ЛАВРИНОВ Геннадий Алексеевич

доктор экономических наук, профессор – *заместитель главного редактора*

ЛЕОНОВ Александр Васильевич

доктор экономических наук, профессор

НАЙДЕНОВ Владимир Герасимович

доктор технических наук, старший научный сотрудник

ПОДОЛЬСКИЙ Александр Геннадьевич

доктор экономических наук, профессор

СИВКОВ Константин Валентинович

доктор военных наук, профессор

ХРУСТАЛЕВ Евгений Юрьевич

доктор экономических наук, профессор

ХУДЯКОВ Дмитрий Владимирович

кандидат экономических наук, доцент – *заместитель главного редактора – ученый секретарь*

ЦЕЛЫКОВСКИХ Александр Александрович

доктор военных наук, профессор

ЧИСТОВ Игорь Вадимович

доктор экономических наук, профессор

2026

№1 (75)

В номере:

46 Центральный научно-исследовательский институт
Министерства обороны
Российской Федерации

Российская академия
ракетных и артиллерийских
наук

Академия проблем военной
экономики и финансов

Издается с 2008 года

Журнал «Вооружение
и экономика» включен
в Перечень ведущих
рецензируемых научных
изданий, в которых должны
быть опубликованы
основные научные
результаты диссертаций на
соискание ученых степеней
доктора и кандидата наук

Св-во о рег. СМИ
от 07.12.2012 г.
№ФС77-52083

ISSN 2071-0151

Главный редактор
Буренко В.М.

Заместители гл. ред.
Гладышевский В.Л.
Корчак В.Ю.
Лавринов Г.А.

Ученый секретарь
Худяков Д.В.

Редактор
Молчанова Т.М.

Перевод
Криворучко О.В.

ВООРУЖЕНИЕ И ВОЕННАЯ ТЕХНИКА

Буренко В.М., Дурнев Р.А., Груздинский А.В., Кудряшов А.С.

Комплексная защита объектов инфраструктуры страны от атак беспилотных летательных аппаратов: суть и состояние проблемы

Лавринов Г.А.

Программно-ситуационное управление развитием системы вооружения в условиях неопределенности

Брайткрайц С.Г., Ильин Е.М., Корчак В.Ю., Полубехин А.И.

Навигационное обеспечение в России – пример эффективного внедрения научно-технических и технологических достижений в области навигации

Буравлев А.И.

Унифицированная методика оценки эффективности поражения наземных целей боеприпасами

Найденев В.Г.

Методика проектирования траекторных измерительных комплексов с использованием интервального показателя точности оценки параметров движения летательных аппаратов

Козлов В.В., Лагун А.В., Сыров А.Д.

Методика оценивания уязвимости стартового комплекса на этапах его функционирования

Воронцов П.С.

Методика отбора программных мероприятий по развитию навигационных технологий для вооружения, военной и специальной техники

Антохин Е.А.

Методический подход к оценке экзоскелетов военного назначения в рамках военно-технических экспериментов

ВОЕННАЯ ЭКОНОМИКА

Рахманов А.А., Волков В.И., Гаврилин Е.В., Бавижев М.Д.

Ключевые проблемы управления прорывными проектами и направления их решения

Подольский А.Г., Данилин П.Е., Кондратьев Д.В.

Экономико-математическая модель прогнозирования полной себестоимости производства воздушных судов и их компонентов

МЕНЕДЖМЕНТ

Галеев Э.Е.

Кластерная классификация и прогнозирование финансовой устойчивости интегрированных корпоративных структур оборонно-промышленного комплекса: комплексный подход стратегического менеджмента

Вооружение и экономика