2025
№4(74)

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. 2025. №4(74)

электронный научный журнал

http://www.viek.ru

Содержание

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

Свидетельство о регистрации СМИ от 7 декабря 2012 г. № ФС77-52083

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

Буравлев А.И.
Аналитическая модель связи военно-технических характеристик образцов вооружения и военной техники с их боевым потенциалом 5-18

Тимошенко А.В., Ромахин В.А., Шнегельбергер А.В.
Об изменении вектора развития программы гиперзвукового оружия воздушного базирования в Соединенных Штатах Америки 19-28

Гладышевский В.Л., Антохин Е.А., Губар А.С.
Основные направления применения комплексов с FPV-дронами в ходе современных боевых действий 29-36

Конради Д.С.
Метод прогнозирования среднерыночной стоимости разрабатываемого образца вооружения, военной и специальной техники на примере комплекса противодронной защиты 37-47

Изонов В.В., Шептура В.Н.
Опыт работы военной приемки по увеличению поставок и обеспечению надежности средств связи в 1944-1945 годах 48-53

Главный редактор
В.М. Буренок

Редакционная коллегия
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.Ю. Корчак
(зам. гл. ред.)
Г.А. Лавринов
(зам. гл. ред.)
А.В. Леонов
В.Г. Найденов
А.Г. Подольский
К.В. Сивков
Е.Ю. Хрусталев
Д.В. Худяков
(зам. гл. ред. – уч. секр.)
А.А. Целыковских
И.В. Чистов

Оформление, верстка
Д.В. Худяков

Редактор
Т.М. Молчанова

Перевод
О.В. Криворучко

ВОЕННАЯ ЭКОНОМИКА

Леонов А.В., Брайткрайц С.Г., Пронин А.Ю.
Технологическое прогнозирование на этапах создания перспективного вооружения.....55-67

Фиров Н.В.
Методика оперативной оценки военно-экономической целесообразности разработки образцов вооружения, военной и специальной техники с заданными тактико-техническими характеристиками.....68-76

Николаев А.Е., Абрамов И.А.
Модель оценивания военно-экономической эффективности применения технологий искусственного интеллекта в информационно-аналитической деятельности органов военного управления 77-86

МЕНЕДЖМЕНТ

Голубев С.С., Афанасьев А.Л., Петров Ю.А.
Применение цифровых технологий и искусственного интеллекта при испытаниях военной продукции 88-105

Дополнительные материалы

Правила предоставления авторами рукописей.....107

Карточка автора 109

Особенности распространения журнала.....109

Порядок рецензирования рукописей 110

Сведения о членах редакционной коллегии..... 111

ВООРУЖЕНИЕ И ВОЕННАЯ ТЕХНИКА

Научная статья
УДК 623.5

Аналитическая модель связи военно-технических характеристик образцов вооружения и военной техники с их боевым потенциалом

Александр Иванович Буравлев

Аннотация. В статье рассмотрена аналитическая модель, описывающая процесс боевого цикла ударного авиационного комплекса, включающего в себя этапы: подготовки к вылету, выхода в район боевых действий, поиск и обнаружение целей, атаку целей и выход из боя и возвращение на аэродром базирования. Каждый этап моделируется с использованием ключевых тактико-технических характеристик комплекса, отражающих его боевые возможности. Модель учитывает действие противовоздушной обороны противника на всех этапах боевого применения ударного авиационного комплекса. В качестве показателя боевого потенциала ударного авиационного комплекса рассматривается среднее число пораженных элементарных целей за время существования ударного авиационного комплекса (среднее число совершенных боевых вылетов). Сравнительная оценка боевых возможностей ударного авиационного комплекса осуществляется по отношению их боевых потенциалов. В качестве эталонного ударного авиационного комплекса рассматривается типовой зарубежный образец, который может быть использован в боевых действиях. Проверка разработанной модели на тестовых задачах свидетельствует о высоком уровне ее адекватности. Предлагаемая аналитическая модель может быть использована для оперативной оценки боевых возможностей ударных образцов вооружения и военной техники в различных задачах военного планирования.

Ключевые слова: ключевые тактико-технические характеристики ударного авиационного комплекса; модель цикла боевого применения ударного авиационного комплекса; мультипликативная свертка тактико-технических характеристик в интегральный показатель военно-технического уровня

Для цитирования: Буравлев А.И. Аналитическая модель связи военно-технических характеристик образцов вооружения и военной техники с их боевым потенциалом // Вооружение и экономика. 2025. №4(74). С. 5-18.

Original article

Analytical Model of the Performance Characteristics Interrelationship of Military Equipment Samples and Their Combat Potential

Aleksandr I. Buravlev

Abstract. The article considers an analytical model that describes the combat cycle process of a strike aviation complex, which includes the stages: preparation for departure, entry into the combat area, target search and detection, target attack and exit from combat, and return to the home airfield. Each stage is modeled using the key tactical and technical characteristics of the complex that reflect its combat capabilities. The model takes into account the of the enemy's air defense actions at all combat stages of the strike aviation complex. The average number of elementary targets hitting during the existence of the strike aviation complex (the average number of completed sorties) is considered as its combat potential indicator. A comparative assessment of the complex combat capabilities is carried out in relation to their combat potentials. A typical foreign model that can be used in combat operations is being considered as a reference strike aircraft complex. The verification of the developed model on test tasks points at a high level of its adequacy. The proposed analytical model can be used for an operational assessment of the strike weapons and military equipment samples combat capabilities in various military planning tasks.

Keywords: key tactical and technical characteristics of the strike aviation complex; combat cycle model of the strike aviation complex employment; a multiplicative convolution of tactical and technical characteristics into an integral indicator of the military-tech

For citation: Buravlev A.I. Analytical Model of the Performance Characteristics Interrelationship of Military Equipment Samples and Their Combat Potential. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2025; 74(4): 5-18. (In Russ.).

Введение

Боевые возможности различных образцов вооружения и военной техники (ВВТ) характеризуются совокупностью решаемых боевых задач, условиями боевого применения и тактико-техническими характеристиками, отражающих их функциональные свойства. Эту

© Буравлев А.И., 2025

совокупность целесообразно обозначить одним системным термином – *военно-технические характеристики*, учитывая их взаимосвязь и взаимовлияние на боевые возможности ВВТ и оснащаемые ими воинские формирования (ВФ).

Большинству образцов ВВТ, находящихся на вооружении сухопутных войск, авиации и флота, присущи следующие функциональные свойства [1]:
- огневая (ударная) мощь;
- подвижность (маневренность);
- разведывательные возможности;
- автономность действия;
- защищенность (живучесть);
- надежность.

Огневая (ударная) мощь характеризует способность образца ВВТ поражать объекты противника с заданной степенью. Количественно-качественными характеристиками огневой мощи выступают:
- боевая нагрузка, номенклатура и количество средств поражения (СП) в составе его боекомплекта;
- могущество СП, которое определяется размерами приведенной зоны поражения для заданной вероятности поражения объекта по определенному типу (A, B, C, D) и потребным нарядом СП;
- условия применения СП, максимальная и минимальная дальности, ракурсы и точность стрельбы;
-скорострельность (темп стрельбы) и количество каналов стрельбы.

Подвижность (маневренность) характеризует способность образца ВВТ изменять свое положение в пространстве и определяется такими показателями, как:
- средняя (крейсерская) скорость прямолинейного и равномерного движения;
- предельное линейное ускорение (перегрузка);
- минимальный радиус разворота.

Разведывательные возможности – это способность образца ВВТ самостоятельно или посредством внешнего целеуказания обнаруживать, распознавать и определять координаты местоположения целей и параметры их движения. Они характеризуются:
- числом каналов обнаружения целей в различных диапазонах спектров электромагнитных и звуковых колебаний;
- максимальной дальностью обнаружения объектов противника;
- точностью измерения координат местоположения обнаруженных целей;
- достоверностью распознавания типа целей;
- надежностью каналов управления.

Автономность характеризует способность образца ВВТ самостоятельно выполнять боевые задачи в течение определенного времени. Автономность определяется:
- максимальным запасом хода (дальностью полета);
- величиной (численностью и массой) боекомплекта СП;
- максимальной продолжительностью цикла автономной боевой работы.

Защищенность (боевая живучесть) определяет способность образца защищать и сохранять свой боевой потенциал от поражающих действий противника. Основными характеристиками защищенности образца ВВТ являются:
- заметность, характеризуемая эффективной площадью рассеяния (поглощения) излучения в оптическом, радиолокационном, радиационном диапазонах;
- помехозащищенность каналов управления;
-уязвимость, характеризуемая размерами приведенной зоны поражения (ПЗП) образца определенным типом СП.

Надежность характеризует способность образца ВВТ сохранять технические параметры функциональных свойств во времени в различных условиях эксплуатации. В зависимости от назначения образца ВВТ и условий его эксплуатации надежность может включать

в себя свойства безотказности, долговечности, ремонтопригодности и сохраняемости, а также определенные сочетания этих свойств[1].

Перечисленные выше свойства количественно выражаются посредством военно-технических характеристик (ВТХ). В совокупности ВТХ отражают *качество и пригодность образца* ВВТ для решения боевых и специальных задач [2; 3].

Применение образца ВВТ для решения боевой задачи дает определенный результат (*эффект*). Этот эффект с учетом случайно изменяющихся условий, а также характера и содержания боевой задачи, способов ее выполнения и выделяемых ресурсов, оценивается вероятностными показателями (вероятностью поражения цели, средним числом пораженных целей за период выполнения боевой задачи, средним временем восстановления боеспособности пораженного объекта и др.). Максимальный эффект, получаемый в расчетных условиях при полном (необходимом) объеме выделяемых ресурсов, характеризует предельные функциональные возможности образца ВВТ при выполнении боевой задачи. Эти предельные возможности принято называть *боевым потенциалом* образца ВВТ [1; 2; 4-6].

Термин *боевой потенциал* в отличие от *показателя качества* характеризует максимально возможную реализацию качества образца в его использовании по предназначению при обеспечении его всеми необходимыми ресурсами. Таким образом боевой потенциал отражает не только качество, но и потенциальный эффект применения образца ВВТ, т.е. его *эффективность* применения. Для оценки эффективности применения образец ВВТ должен быть «погружен» в некоторую «внешнюю» среду, характеризующую типовые условия функционирования объекта. Такой «внешней» средой являются математические и имитационные модели применения образцов ВВТ, полунатурные и натурные их испытания, войсковые учения и эксплуатация ВВТ.

В настоящее время существуют различного уровня сложности математические и имитационные модели, позволяющие достаточно адекватно описать весь процесс боевого применения как единичного образца ВВТ, так и их совокупности в составе ВФ различного уровня в различных сценариях вооруженного противоборства [1-9; др.]. Однако для оперативной оценки и прогнозирования результатов боевого применения ВВТ полезно иметь упрощенные аналитические зависимости боевого потенциала ВВТ от их ВТХ, а также их влияние на боевые потенциалы оснащаемых ВФ.

Для решения данной задачи используется методологический подход, изложенный работах [1; 8]. Основными научно-методическими приемами данного подхода являются:
- *декомпозиция* исходной совокупности ВТХ на функциональные кластеры;
- *агрегирование* показателей внутри функционального кластера путем применения определенных сверток (агрегатов);
- *масштабирование* функциональных агрегатов относительно принятых норм (эталонов), в качестве которых выступают достигаемые предельные и/или реализованные в отечественных и зарубежных образцах ВТХ;
- *моделирование* процесса боевого применения образца ВВТ в заданных условиях боевого применения;
- *анализ* эффективности боевого применения образца ВВТ относительно отечественного или зарубежного образца-аналога.

Реализацию данного методологического подхода рассмотрим на примере ударных авиационных комплексов (УАК) тактического назначения, как типичных представителей современных высокотехнологичных образцов вооружения, способных решать широкий круг боевых задач в различных условиях.

[1] ГОСТ Р 27.102-2021. Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2021. 40 с.

1 Система агрегированных показателей военно-технического уровня ударного авиационного комплекса

Основываясь на работах [1-6; 9], рассмотрим следующий перечень агрегированных функциональных показателей УАК.

1. Транспортные возможности УАК характеризуются:

- грузоподъемностью $G_{БК}/G$, как отношение массы боекомплекта $G_{БК}$ к общей массе комплекса G;
- топливоемкостью $G_Т/G$, как отношение массы топлива $G_Т$ к общей массе комплекса G;
- километровым $q_L = G_Т/L$ и часовым $q_t = G_Т V_{КР}/L$ расходом топлива, где L, км – дальность полета, $V_{КР}$, м/с – крейсерская скорость полета.

Указанные показатели связаны между собой уравнениями баланса массы и сохранения количества движения:

$$G = G_0 + G_Э + G_Т + G_{БК}; \quad GV_{КР} = F_{СУ}L; P_{СУ} = F_{СУ}V_{КР},$$

где $F_{СУ}$, кГс – сила тяги; $P_{СУ}$, кВт – мощность силовой установки.

2. *Маневренные (динамические) возможности* УАК характеризуются следующим набором показателей:

- тяговооруженностью $F_{СУ}/G$, кГс/кг;
- крейсерской скоростью движения $V_{КР}$, м/с;
- скороподъемностью (скорость подъема летательного аппарата на заданную высоту за заданное время) $V_{СК}$, м/с;
- продольной и поперечной перегрузкой n_X, n_Z;
- радиусом разворота R, м и др.

Из уравнений для количества движения получаем удельную мощность силовой установки $P_{СУ}/G$ – функциональный агрегат, связывающую между собой транспортные и маневренные возможности летательного аппарата (ЛА):

$$P_{СУ}/G = F_{СУ}/G \cdot G_Т/q_L \cdot V_{КР}/L, \text{ кВт/кг.}$$

3. *Боевые возможности* УАК характеризуются:

- дальностью обнаружения объектов поражения (целей) $Д_{ОБН}$, км;
- дальностью стрельбы (применения) оружия Д, км;
- массой боевой нагрузки $G_{БК}$, кг;
- площадью (радиусом) зоны поражения $S_{ПЗП}$, кв.м, объектов СП из состава БК;
- величиной кругового вероятного отклонения СП при стрельбе и бомбометании $E_{КР}$, м;
- заметностью ЛА, которая характеризуется эффективной площадью рассеяния (ЭПР) $S_{ЭПР}$, кв.м, отраженного электромагнитного излучения средств обнаружения.

Для определенного объекта поражения площадь его поражения СП увеличивается с увеличением его массы и наполнения взрывчатым веществом (ВВ). В этом случае удельный показатель $S_{ПЗП}/G_{СП}$, кв.м/кг, может служить показателем могущества СП.

Рассеивание СП при стрельбе характеризуется площадью рассеивания $S_P = \pi E_{КР}^2$. Для современных СП площадь рассеивания S_P, как правило, не превышает размеров цели. В этом случае соотношение $S_{ПЗП}/S_Р$ может служить приближенной оценкой вероятности поражения цели одним СП:

$$W_Ц \approx 1 - exp(-S_{ПЗП}/S_Р).$$

Ниже эта формула будет получена как точное выражение для определенных условий стрельбы.

Если в составе БК имеется $n_{СП} = G_{БК}/G_{СП}$ и каждое СП осуществляет поражение типового объекта с вероятностью $W_{Ц.}$, то среднее число пораженных объектов составит $n_{СП}W$. Тогда функциональный агрегат:

$$\mu = G_{БК}/G_{СП} \cdot S_{ПЗП}/S_Р$$

может выступать в качестве показателя *могущества* боекомплекта УАК.

Площадь ЭПР, как показывают исследования, зависят от геометрии и площади поверхности ЛА, а значит и от его массы. В этом случае отношение $S_{\text{ЭПР}}/G$ может служить удельным показателем заметности ударного комплекса. Чем меньше данный показатель, тем меньше вероятность обнаружения его противником.

На основе рассмотренных характеристик можно сформировать четыре независимых показателя боевых возможностей УАК:

- дальнобойность $Д_{\text{С}}$, км;
- время реакции комплекса (выполнения атаки цели) $\tau_a = (Д_{\text{ОБН}} - Д_C)/V_{CP}$, мин;
- могущество УАК $\mu = G_{\text{БК}}/G_{\text{СП}} \cdot S_{\text{ПЗП}}/S_{\text{Р}}$;
- заметность ударного комплекса $S_{\text{ЭПР}}/G$, кв.м/кг,

где: $V_{CP} = \sqrt{V_{KP}^2 + V_{CK}^2}$ – средняя скорость полета ЛА на боевом режиме.

4. *Эксплуатационная пригодность* УАК характеризуется показателями надежности, контролепригодности, эксплуатационной технологичности и безопасности применения. Основными из них являются:

- назначенный (технический) ресурс $T_{\text{Н}}$, ч;
- календарный срок службы $t_{\text{СС}}$, гг.;
- коэффициент технической готовности $K_{\text{ТГ}} = \bar{t}_P/(\bar{t}_P + \bar{t}_{\text{В}})$,

где: $\bar{t}_P$ – среднее время наработки до отказа; $\bar{t}_{\text{В}}$ – среднее время восстановления работоспособности комплекса.

Календарный срок службы и технический ресурс совместно определяют располагаемый годовой ресурс комплекса $T_{\text{Г}} = T_{\text{Н}}/t_{\text{СС}}$, ч/гг.

В результате агрегирования и масштабирования получаем совокупность независимых показателей, характеризующих функциональные возможности УАК:

- грузоподъемность $G_{\text{БК}}/G$,
- топливоемкость $G_{\text{Т}}/G$,
- километровый расход топлива $q_L = G_{\text{Т}}/L$,
- удельная мощность силовой установки $P_{\text{СУ}}/G$, кВт/кг,
- дальнобойность комплекса $Д_{\text{С}}$, км,
- время реакции комплекса $\tau_a = (Д_{\text{ОБН}} - Д_C)/V_{CP}$, мин,
- могущество боекомплекта $\mu = G_{\text{БК}}/G_{\text{СП}} \cdot S_{\text{ПЗП}}/S_{\text{Р}}$,
- заметность комплекса $S_{\text{ЭПР}}/G$, кв.м/кг,
- коэффициент технической готовности $K_{\text{ТГ}} = \bar{t}_P/(\bar{t}_P + \bar{t}_{\text{В}})$,
- располагаемый годовой ресурс $T_{\text{Г}} = T_{\text{Н}}/t_{\text{СС}}$, ч/гг.

На базе перечисленных десяти показателей формируется мультипликативная свертка нормированных показателей $K_i, (i = \overline{1,m})$ взвешенная коэффициентами значимости [1]:

$$K_{\text{ВТУ}} = \prod_{i=1}^{m} K_i^{\alpha_i}, \quad (1)$$

где: $K_i = X_i/X_i^{\text{Э}}$, если $X_i \geq X_i^{\text{Э}}$ и $K_i = X_i^{\text{Э}}/X_i$, если $X_i < X_i^{\text{Э}}$; $X_i, X_i^{\text{Э}}$ – показатели исследуемого и эталонного образцов ВВТ; 0< α_i<1; $\sum_{i=1}^{m} \alpha_i = 1$ – коэффициенты значимости показателей, устанавливаемые экспертами; $m \leq 10$ – число учитываемых агрегированных показателей в конкретно решаемой задаче.

Применение мультипликативной, а не аддитивной свертки обусловлено логической необходимостью, так как именно все вышеуказанные показатели в совокупности обеспечивают функциональность образца ВВТ и ни один из них не может быть компенсирован другими показателями.

Использование мультипликативной свертки (1) позволяет интегрально оценить военно-технический уровень образца ВВТ относительно принятого эталона. При $K_{\text{ВТУ}} \geq 1 + \varepsilon$ исследуемый образец имеет военно-технический уровень выше, чем эталона; при $K_{\text{ВТУ}} \leq 1 - \varepsilon$ – соответственно, ниже эталона, а при $1 - \varepsilon < K_{\text{ВТУ}} < 1 + \varepsilon$ – практически

одинаковый с эталоном военно-технический уровень. Величина ε устанавливается также экспертами, как правило, на уровне $\varepsilon \leq 0{,}1$ и является компенсатором риска возможных погрешностей расчета показателя $K_{\text{ВТУ}}$ в силу неточности исходной информации.

Следующим шагом является установление функциональной связи между агрегированными показателями военно-технического уровня и показателями эффективности применения ВВТ, т.е. построение аналитической модели боевого применения образца ВВТ на примере УАК тактического назначения, как представительного объекта современного высокотехнологического образца вооружения и военной техники.

2 Вероятностная модель боевого применения ударного авиационного комплекса

Основу модели составляет цикл боевого применения УАК, повторяющийся один или несколько раз, в зависимости от характера решаемой боевой задачи в операции [1; 2] (рисунок 1).

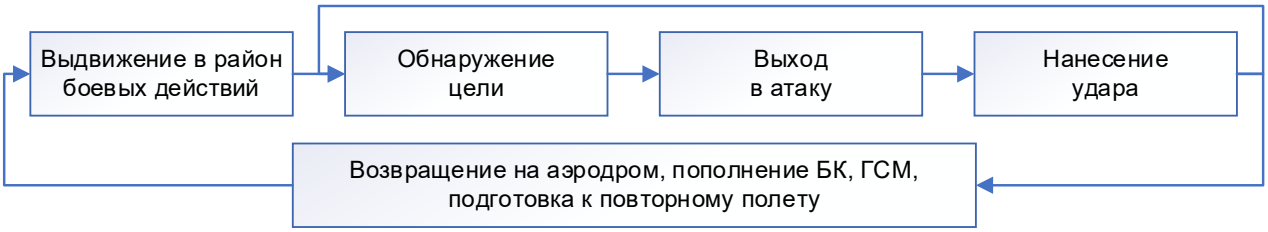


Рисунок 1 – Цикл боевого применения УАК

Цикл боевого применения представляет собой последовательность этапов, каждый из которых реализуется с некоторой вероятностью. Обозначим A_i – случайное событие, характеризующие выполнение i-го этапа, а $P(A_i)$ – вероятность его свершения. Реализация полного цикла характеризуется произведением событий $A = \prod_{i=1}^{5} A_i$, а вероятность его реализации произведением вероятностей $P(A) = \prod_{i=1}^{5} P(A_i \,|A_{i-1})$. Рассмотрим событие B_n, состоящее в том, что за время боевой операции состоится не более n циклов боевого применения УАК. Это событие представляет собой сумму событий:

$$B_n = \bar{A} + A\,\bar{A} + A^2\bar{A} + \cdots + A^{n-1}\bar{A},$$

каждое из которых характеризует невозможность продолжения последующих циклов в силу противодействия противника (уничтожение ЛА на аэродроме базирования, в воздухе при полете к цели, в процессе ее атаки и возвращения на аэродром базирования).

Вероятность данного события в предположении, что вероятность реализации одного цикла $P_{\text{ЦБП}} = P(A)$ сохраняется неизменной, равна:

$$P(B_n) = P(\bar{A})[1 + P(A) + P(A^2) + \cdots + P(A^{n-1})] = \left(1 - P_{\text{ЦБП}}\right)\left[1 + P_{\text{ЦБП}} + {P_{\text{ЦБП}}}^2 + \cdots + {P_{\text{ЦБП}}}^{n-1}\right].$$

Учитывая, что сумма ряда $1 + P_{\text{ЦКП}} + {P_{\text{ЦКЛ}}}^2 + \cdots + {P_{\text{ЦКЛ}}}^{n-1} = \left(1 - {P_{\text{ЦБП}}}^n\right)/\left(1 - P_{\text{ЦБП}}\right)$, в итоге получаем:

$$P(B_n) = 1 - {P_{\text{ЦБП}}}^n,\ (n = 1{,}2, \dots). \qquad (2)$$

Выражение (2) описывает *геометрическое* распределение случайного числа циклов $Y = 0{,}1{,}2, \dots$ боевого применения УАК: $P(B_n) = P(Y < n)$.

Вероятность противоположного события:

$$P(\bar{B}_n) = P(Y \geq n) = {P_{\text{ЦБП}}}^n$$

характеризует возможность комплекса реализовать не менее n циклов боевого применения и является представительным показателем его эффективности.

По функции распределения (2) нетрудно определить среднее число $m_Y = M[Y]$ реализованных циклов боевого применения за период операции $T_{\text{ОП}}$:

$$m_Y(T_{\text{ОП}}) = \sum_{n=1}^{T_{\text{ОП}}/\bar{t}_{\text{ЦБП}}} P(\bar{B}_n) = P_{\text{ЦБП}}\left[1 - P_{\text{ЦБП}}{}^{T_{\text{оп}}/\bar{t}_{\text{ЦБП}}}\right]/\left(1 - P_{\text{ЦБП}}\right), \quad (3)$$

где: $\bar{t}_{\text{ЦБП}}$ – среднее время выполнения одного цикла боевого применения.

Это время зависит от дальности и режима полета УАК, запаса топлива и его километрового расхода, величины боекомплекта СП, необходимого для выполнения боевой задачи и рассчитывается по известным методикам.

Дальнейшей задачей является установление зависимости вероятности реализации цикла боевого применения УАК $P_{\text{ЦБП}}$ от его ВТХ.

2.1 Модель оценки готовности УАК к боевому полету

В настоящее время известны аналитические модели, используемые для оценки боевой готовности УАК[2], основанные на полумарковских и марковских процессах [10; 11]. С помощью этих моделей можно рассчитывать коэффициент его технической и боевой готовности:

$$K_{\text{БГ}} = K_{\text{ТГ}}\,\bar{t}_{\text{ЦБП}}/\left(\bar{t}_{\text{ЦБП}} + \bar{t}_{\text{ПП}}\right), \quad (4)$$

где: $\bar{t}_{\text{ЦБП}}$ – среднее время цикла боевого применения УАК; $\bar{t}_{\text{ПП}}$ – среднее время подготовки комплекса к полету.

Коэффициент боевой готовности $K_{\text{БГ}}$ отражает не только исправность ЛА, но и его оснащение необходимым боекомплектом и готовность экипажа к боевому вылету.

2.2 Модель выхода УАК в район боевых действий

При выходе УАК в район боевых действий и обнаружении цели он подвергается воздействию средств ПВО противника, которая стремится как можно раньше обнаружить атакуемую воздушную цель и обезвредить ее. На этом этапе возможны следующие ситуации [4; 7; 12]:

а) УАК наносит удар по наземной цели вне зоны действия объектового ПВО – $Д_{\text{С}}^{\text{УАК}} > Д_{\text{ОБН}}^{\text{ПВО}}$ – эта ситуация характеризует *полное опережение* атакующего УАК;

б) УАК наносит удар по цели будучи обнаруженным объектовым ПВО – $Д_{\text{С}}^{\text{ПВО}} < Д_{\text{С}}^{\text{УАК}} < Д_{\text{ОБН}}^{\text{ПВО}}$ – данная ситуация отражает *частичное опережение* УАК;

в) УАК наносит удар по цели в зоне действия объектового ПВО – $Д_{\text{С}}^{\text{УАК}} < Д_{\text{С}}^{\text{ПВО}}$ – эта ситуация отражает *не опережение* УАК или полное опережение ПВО противника.

В силу случайного характера условий возникновения указанных ситуаций *мерой* возможности реализации этих ситуаций являются вероятности полного опережения $P_{\text{ПО}}^{\text{УАК}}$, частичного опережения $P_{\text{ЧО}}^{\text{УАК}}$ и не опережения $P_{\text{НО}}^{\text{УАК}}$ сторон в дульном противоборстве. Эти вероятности связаны между собой нормирующими соотношениями:

$$P_{\text{ПО}}^{\text{УАК}} + P_{\text{ЧО}}^{\text{УАК}} + P_{\text{НО}}^{\text{УАК}} = 1;\ P_{\text{ПО}}^{\text{ПВО}} + P_{\text{ЧО}}^{\text{ПВО}} + P_{\text{НО}}^{\text{ПВО}} = 1;\ P_{\text{НО}}^{\text{ПВО}} \le 1 - P_{\text{ПО}}^{\text{УАК}};\ P_{\text{ПО}}^{\text{ПВО}} \le 1 - P_{\text{НО}}^{\text{УАК}}.$$

Для расчета вероятностей опережения необходимо знать законы распределения дальностей обнаружения и стрельбы УАК и средств ПВО, либо проводить статистическое моделирование процесса противоборства. Приближенную оценку этих вероятностей можно дать, используя упрощенные распределения дальностей обнаружения и стрельбы в пределах минимально и максимально возможных их значений. Так, например, для равномерного распределения дальностей обнаружения и стрельбы:

$$f(Д) = 1/(Д_{max} - Д_{min})$$

условие полного опережения $Д_{\text{С}}^{\text{УАК}} > Д_{\text{ОБН}}^{\text{ПВО}}$ реализуется с вероятностью $P_{\text{ПО}}^{\text{УАК}} = 1$.

Условие частичного опережения $Д_{\text{С}}^{\text{ПВО}} < Д_{\text{С}}^{\text{УАК}} < Д_{\text{ОБН}}^{\text{ПВО}}$реализуется с вероятностью:

$$P_{\text{ЧО}}^{\text{УАК}} = \left(Д_{\text{ОБН}_{max}}^{\text{ПВО}} - Д_{\text{С}}^{\text{УАК}}\right)/\left(Д_{\text{ОБН}_{max}}^{\text{ПВО}} - Д_{C_{max}}^{\text{ПВО}}\right).$$

[2] Буравлев А.И., Волков С.В., Монсик В.Б., Попов И.С. Боевое применение и эффективность комплексов авиационного вооружения: учебник. М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1992. 237 с.

Условие не опережения $Д_{ОБН_{max}}^{ПВО}$ реализуется с вероятностью $P_{НО}^{УАК} = 1$.

При известной вероятности поражения АУК средствами ПВО $W_{ПВО}$ в зоне ее действия можно рассчитать вероятность поражения АУК в ходе боя или операции в зависимости от его дальнобойности $Д_{С}^{УАК}$:

$$P_{ПВО}(Д_{С}^{УАК}) = \left\{ \begin{array}{cc} 0, & Д_{С}^{УАК} > Д_{ОБН_{max}}^{ПВО} \\ \frac{(Д_{ОБН_{max}}^{ПВО} - Д_{С}^{УАК}) W_{ПВО}}{(Д_{ОБН_{max}}^{ПВО} - Д_{С_{max}}^{ПВО})}, & Д_{С_{max}}^{ПВО} < Д_{С}^{УАК} < Д_{ОБН_{max}}^{ПВО} \\ W_{ПВО}, & Д_{С}^{УАК} < Д_{С}^{ПВО} \end{array} \right\}. \quad (5)$$

Возможен и другой подход к оценке вероятности поражения УАК средствами ПВО. Если известна интенсивность $\lambda_{ПВО}$ обстрела атакующего ЛА ПВО на этапе от обнаружения цели до начала стрельбы, то в рамках гипотезы о пуассоновском потоке выстрелов вероятность поражения УАК рассчитывается по формуле:

$$P_{ПВО}(\tau_{Б}) = 1 - exp(-\lambda_{ПВО} W_{ПВО} \tau_{Б}), \quad (6)$$

где: $\tau_{Б} = (Д_{ОБН_{max}}^{ПВО} - Д_{С}^{УАК})/\bar{V}_{СР}$ – продолжительность воздушного боя.

2.3 Модель обнаружения и атаки цели

Вероятность обнаружения целей ударным комплексом зависит от дальности их обнаружения $Д_{ОБН}^{УАК}$ бортовыми или внешними средствами целеуказания и условий боевого применения. Для приближенной оценки вероятности обнаружения используется модель следующего вида [7; 13]:

$$P_{ОБН}^{УАК}(Д) = exp\left[-(Д/\bar{Д}_{ОБН})^{\beta}\right], \quad (7)$$

где: $\bar{Д}_{ОБН}$ – средняя дальность обнаружения поражаемого объекта; β – показатель, характеризующий степень обнаружения объекта бортовыми информационными средствами в определенной среде и условиях.

Эта модель основана на гипотезе пропорциональной зависимости дальности обнаружения и площади ЭПР объекта для различных способов обнаружения:

$$Д_{ОБН} \sim S_{ЭПР}{}^{1/\beta}. \quad (8)$$

Флуктуация площади $S_{ЭПР}$ часто моделируется экспоненциальным распределением $f_{ЭПР}(s) = exp(-s/\bar{S}_{ЭПР})/\bar{S}_{ЭПР}$ в результате воздействия пуассоновского потока разного рода помех, где $\bar{S}_{ЭПР}$ - среднее значение площади ЭПР при заданном уровне мощности потока излучения. В этом случае, вероятность устойчивого обнаружения объекта будет составлять:

$$P_{ОБН}(S > \bar{S}_{ЭПР}) = exp[-S/\bar{S}_{ЭПР}].$$

После подстановки сюда выражения (8) получаем исходную формулу (7).

Показатель степени β принимает следующие значения: 1 – для визуального обнаружения объектов; 2 – при обнаружении радиоизлучающих объектов радиотехническими средствами; 4 – при обнаружении радио отражающих объектов; 6 – при обнаружении подводных объектов с использованием ультразвукового излучения; 8 – при обнаружении подводных объектов с применением ультразвукового отражения. Так, например, для радиотехнических и радиолокационных систем дальность обнаружения объектов рассчитывается с использованием формулы радиолокации:

$$\bar{Д}_{ОБН} = \gamma\left[P_{ПРД} G_{A} \lambda^{2} \bar{S}_{ЭПР} / (4\pi)^{3} P_{min})\right]^{1/4}, \quad (9)$$

где: $P_{\text{ПРД}}$, Вт – импульсная мощность передатчика; P_{min}, Вт – минимальная мощность шумов (чувствительность приемника); G_A – коэффициент усиления приемопередающей антенны; $\bar{S}_{\text{ЭПР}}$, кв.м – площадь ЭПР объекта; λ, м – длина волны электромагнитного излучения; γ – коэффициент затухания радиоволн в атмосфере. Здесь показатель степени β составляет 4.

На рисунке 2 показаны графики зависимости вероятности обнаружения от дальности и способов обнаружения объектов.

Указанные выше значения коэффициентов β могут быть уточнены с учетом технических особенностей объектов, их характеристик заметности и средств обнаружения.

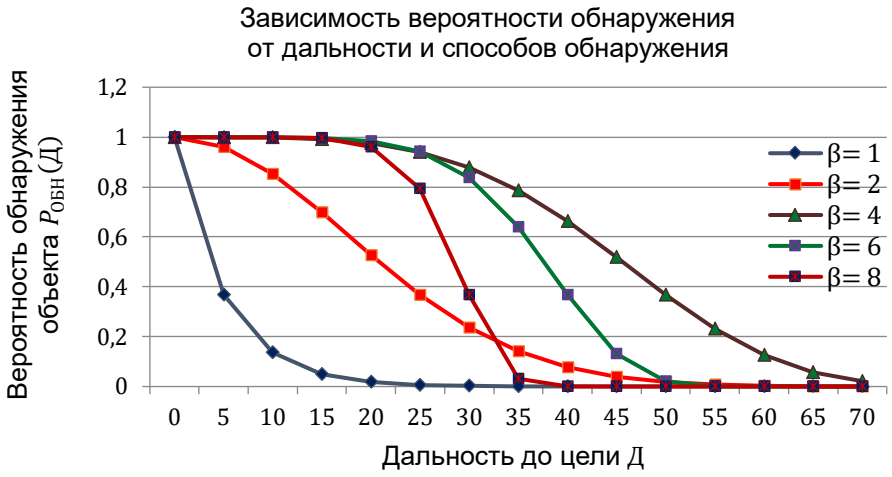


Рисунок 2 – Зависимость вероятности обнаружения от дальности и способов обнаружения

2.4 Модель атаки цели

Выполнение атаки (удара) определяется возможностью выхода ударного комплекса в определенную зону стрельбы, бомбометания, пуска ракет и прицеливания по объекту путем боевого маневрирования [2; 4; 7].

Успешность выхода ударного комплекса в позицию для атаки цели зависит от дальности обнаружения цели $\text{Д}_{\text{ОБН}}$, точности определения ее координат относительно линии визирования, начальной дальности стрельбы $\text{Д}_{\text{С}}$, маневренных характеристик комплекса – максимальной угловой ω_{max} и линейной скоростью V разворота, а также типом применяемых СП (неуправляемых, управляемых, корректируемых).

Для неуправляемых СП необходимо осуществлять стрельбу в упрежденную точку встречи СП с целью. Однако при маневрировании цели эта точка перемещается в пространстве, и пилот ЛА должен корректировать точку прицеливания и вести сопроводительную стрельбу до накрытия цели зоной поражения. При стрельбе самонаводящимися СП реализуется принцип «выстрелил и забыл»: СП после выстрела автоматически наводится на цель до накрытия ее зоной поражения. При стрельбе телеуправляемыми и корректируемыми СП УАК необходимо сопровождать СП до ее попадания в зону поражения цели. Каждый из способов применения требует разного времени нахождения УАК в зоне атаки цели, который подвергается обстрелу средствами ПВО и имеет разные шансы выживания.

Условием выхода в область стрельбы является дальность стрельбы $\text{Д}_{\text{С}}$ и углы визирования цели по курсу φ и высоте ε, из которой после выстрела СП, двигаясь по определенной траектории, попадает в зону поражения цели[3]. Границы этой области $\Omega_C = (\text{Д}_{\text{С}}, \varphi, \varepsilon)$

[3] Калабухова Е.П. Основы теории эффективности воздушной стрельбы и бомбометания: учебник. М.: Машиностроение, 1991. 332 с.

рассчитываются в БЦВМ системы управления вооружением (СУВ) ЛА и реализуются автоматически или с участием пилота.

В плоскости стрельбы, перпендикулярной линии визирования, проекцию области стрельбы можно представить кругом. Радиус круга $R_{Ц}$ определяется дальностью стрельбы $Д_{С}$ и величиной ошибок наведения ЛА на цель $\Delta\varphi$, $\Delta\varepsilon$:

$$R_{Ц} = Д_{С}\Delta,$$

где: $\Delta = \sqrt{\Delta\varphi^2 + \Delta\varepsilon^2}$ – величина суммарной ошибки наведения ЛА в область стрельбы.

Для успешного выполнения атаки необходимо, чтобы из области стрельбы на определенной дальности осуществлялось попадание снаряда в зону поражения цели, т.е. необходимо выполнение условия $R_{Ц} < r_{П}$.

При нормальном распределении случайных ошибок прицеливания (выведения ЛА в область стрельбы) вероятность успешной атаки рассчитывается по формуле:

$$P_A = P\left(R_{Ц} < r_{П}\right) = 1 - exp\left(-{r_{П}}^2/2{Д_{С}}^2\,\sigma_{\Delta}^2\right), \quad (10)$$

где: $r_{П}$ – радиус поражения цели; σ_{Δ} – суммарное СКО ошибок прицеливания.

На рисунке 3 приведен график зависимости $P_A(Д_{С})$ при стрельбе из пушки и НАР для исходных данных: $r_{П} = 12$ м; $\sigma_{\Delta} = 0{,}05$ рад.

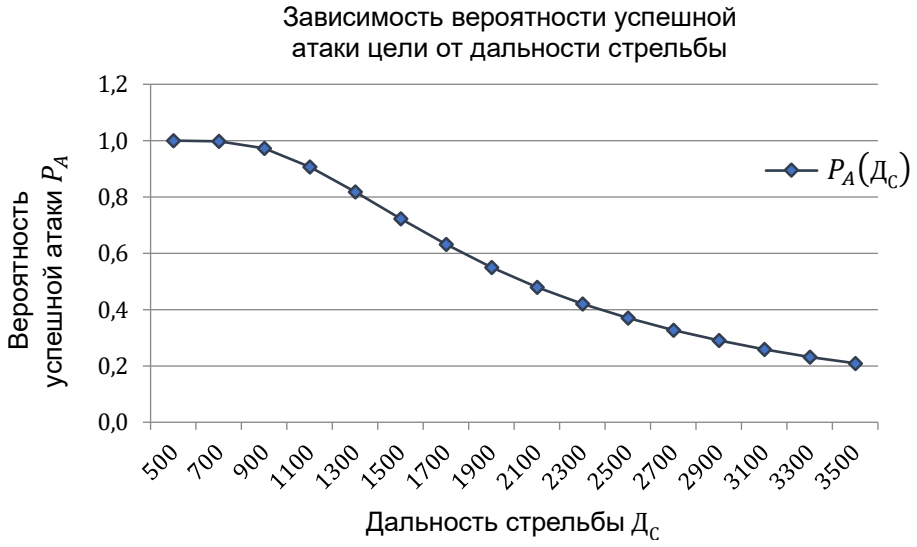


Рисунок 3 – Зависимость вероятности успешной атаки цели от дальности стрельбы

По известным значениям $r_{П}$, σ_{Δ} и заданной вероятности успешной атаки ${P_A}^{зад}$ по формуле (8) можно оценить потребную дальность стрельбы:

$$Д_{С} = r_{П}/\sigma_{\Delta}\sqrt{-2\ln(1 - {P_A}^{зад})}.$$

Полученные выше расчетные модели позволяют рассчитать общую вероятность реализации всего цикла боевого применения, включая выход из боя и возвращение на аэродром:

$$P_{ЦБП} = K_{БГ}P_{ОБН}(1 - P_{ПВО1})P_A(1 - P_{ПВО2}), \quad (11)$$

где: $P_{ПВО1}$, $P_{ПВО2}$ – вероятности поражения ЛА средствами ПВО при полете ЛА в район боевых действий и обратно.

2.5. Модель эффективности поражения целей в одном цикле боевого применения

Основным показателем успешной реализации атаки цели является вероятность поражения одиночного объекта W СП боекомплекта с заданной степенью поражения [2]. В составе боекомплекта могут быть СП различного типа, предназначенные для поражения целей различного назначения. Методами теории эффективности для каждой цели i-го типа $i = \overline{1,n}$ определяется оптимальный вариант снаряжения УАК средствами поражения j-го типа $j = \overline{1,m}$ по минимальному среднему числу СП $\widehat{\omega}_i = min(\omega_{ij})$, $j = \overline{1,m}$ необходимому для поражения цели с заданной вероятностью [2; 14; 15]. С учетом частоты применения комплекса по разным объектам $\rho_i \geq 0$; $\sum_{i=1}^{n} \rho_i = 1$, среднее число потенциально поражаемых целей i-го типа может составить:

$$\bar{N}_{\text{Ц}i} = \rho_i N_{\text{БК}} / \widehat{\omega}_i,$$

где: $N_{\text{БК}}$ – общая численность СП в боекомплекте УАК.

Совокупность потенциально поражаемых целей $\bar{\boldsymbol{N}}_{\text{Ц}} = \left(\bar{N}_{\text{Ц}i}, i = \overline{1,n}\right)$ в одном цикле боевого применения УАК характеризует достигнутый эффект выполнения боевой задачи. Частота применения УАК по определенным объектам также характеризует их важность (значимость) для ведения боевых действий.

Использование векторной оценки существенно усложняет анализ достигнутого эффекта, особенно при сравнении различных комплексов [15]. Возникает необходимость ввести для вектора $\bar{\boldsymbol{N}}_{\text{Ц}}$ определенную норму, которая, с одной стороны была математически корректной, а с другой, – имела физический смысл. Естественной нормой может служить среднее число пораженных целей в каждом цикле боевого применения, представляющее собой неотрицательную линейную форму:

$$\bar{N}_{\text{Ц}} = \left\|\bar{\boldsymbol{N}}_{\text{Ц}}\right\| = \sum_{i=1}^{n} \bar{N}_{\text{Ц}i}. \quad (12)$$

Нетрудно проверить, что все свойства нормы линейного векторного пространства выполняются.

Численность боекомплекта $N_{\text{БК}}$ и его масса связаны с численностью и массой входящих в него СП $G_{\text{БК}} = \sum_{j=1}^{m} N_{\text{БК}j}\, G_{\text{СП}}$, а эффективность действия СП характеризуется величиной приведенной площади зоны поражения цели $S_{\text{ПЗП}}$ и вероятностью поражения цели $W_{\text{Ц}}$. В теории боевой эффективности между этими показателями установлены аналитические зависимости для различных типов СП и поражаемых целей [2; 13; 16; 17], позволяющие оценить вероятность накрытия цели зоной поражения СП с учетом их могущества и заданной степени поражения (A, B^*, C^*). ПЗП может быть представлена кругом, эллипсом или прямоугольником в зависимости от располагаемых исходных данных об уязвимости объектов и могущества средств их поражения.

Круговая зона поражения с радиусом поражения $r_{\text{П}}$ удобна простотой ее математического описания. Если случайные координаты (X,Z) точки разрыва СП относительно точки прицеливания (центра цели) распределены приближенно по нормальному закону с нулевым сдвигом и примерно одинаковыми СКО σ_X, σ_Z, то радиус зоны рассеивания СП $R_C = \sqrt{X^2 + Z^2}$ имеет распределения Релея с плотностью $f(r) = r/\sigma_R^2 \cdot exp(-{r_{\text{П}}}^2/2\sigma_R^2)$.

В этом случае вероятность поражения элементарной цели состоит в накрытии ее круговой зоной поражения и составляет величину:

$$W_{\text{Ц}} = P(R_C < r_{\text{П}}) = 1 - exp(-{r_{\text{П}}}^2/2\sigma_R^2),$$

где: $\sigma_R = \sqrt{\sigma_X \sigma_Z}$ – среднее геометрическое значение СКО для радиуса зоны рассеивания СП. Если умножить и разделить показатель степени в экспоненте на величину π, то в результате получим формулу, о которой упоминалось выше:

$$W_{\text{Ц}} = 1 - exp(-S_{\text{ПЗП}}/2S_{\text{Р}}), \quad (13)$$

где: $S_{\text{ПЗП}} = \pi {R_{\text{П}}}^2$ – площадь круговой зоны поражения; $S_{\text{Р}} = \pi {\sigma_R}^2$ – площадь зоны рассеивания СП.

Для размерных целей и высокоточных СП, для которых $S_{\text{Р}} < S_{\text{Ц}}$, площадь рассеивания $S_{\text{Р}}$ в формуле (13) можно заменить площадью цели $S_{\text{Ц}}$ [14]. Тогда формула (13) примет универсальный вид:

$$W_{\text{Ц}} = 1 - exp\left(-S_{\text{ПЗП}}/2min\left(S_{\text{Р}}, S_{\text{Ц}}\right)\right). \quad (14)$$

По величине заданной вероятности поражения цели $W_{\text{Ц}}{}^{\text{зад}}$ далее определяется среднее число СП, необходимое для поражения цели $\widehat{\omega}_i$:

$$\widehat{\omega}_i = ln\left(1 - W_{\text{Ц}}{}^{\text{зад}}\right)/ln\left(1 - W_{\text{Ц}i}\right). \quad (15)$$

В результате получается замкнутая система зависимостей выходного показателя эффективности применения УАК $\overline{\boldsymbol{N}}_{\text{Ц}}$ в ходе одного цикла боевого применения, учитывающего все его основные ВТХ, а также типовые условия применения.

За время операции УАК может совершить среднее число циклов боевого применения, которое определяется формулой (3). Если в каждом цикле достигается эффект поражения $\overline{N}_{\text{Ц}}$ целей, то за время операции $T_{\text{ОП}}$ их число составит $m_Y(T_{\text{ОП}})\overline{N}_{\text{Ц}}$. В результате получаем интегральный показатель боевых возможностей УАК за время операции, т.е. его *боевой потенциал*:

$$\Pi_{\text{УАК}} = \overline{N}_{\text{Ц}}\, P_{\text{ЦБП}}\left[1 - P_{\text{ЦБП}}{}^{T_{\text{оп}}/\overline{t}_{\text{ЦБП}}}\right]/\left(1 - P_{\text{ЦБП}}\right). \quad (16)$$

Из формулы (16) следует, что при возрастании продолжительности операции $T_{\text{ОП}}$ и/или сокращения времени боевого цикла $\overline{t}_{\text{ЦБП}}$ боевой потенциал УАК возрастает и стремится к своей предельной величине:

$$\widehat{\Pi}_{\text{УАК}} = \overline{N}_{\text{Ц}}\, P_{\text{ЦБП}}/\left(1 - P_{\text{ЦБП}}\right). \quad (17)$$

При сравнительной оценке боевых возможностей различных комплексов используется относительный показатель боевого потенциала [1; 2; 4]:

$$K_{\text{БП}} = \Pi_{\text{УАК}}/\Pi^{\text{Э}}_{\text{УАК}}, \quad (18)$$

где: $\Pi^{\text{Э}}_{\text{УАК}}$ – боевой потенциал эталонного АУК, относительно которого рассчитывался показатель военно-технического уровня $K_{\text{ВТУ}}$. В этом состоит согласование измерительных шкал различных свойств объекта.

Исследования, проведенные автором по сравнительной оценке зарубежных и отечественных УАК, показали непротиворечивость полученных оценок известным результатам, полученным в процессе моделирования и экспертного анализа.

Заключительным этапом предлагаемого научно-методического подхода должно стать установление прямой связи между показателем военно-технического уровня образца ВВТ $K_{\text{ВТУ}}$ и боевым потенциалом $K_{\text{БП}}$. То, что эти показатели не идентичны, очевидно. Но также очевидно, что с повышением военно-технического уровня образца ВВТ повышается и его боевой потенциал. Если повышение военно-технического уровня ВВТ связано, главным образом, с развитием науки, техники и технологий, а также с уровнем промышленного производства, то наращивание боевого потенциала обеспечивается качественной организацией боевого применения ВВТ, уровнем подготовки личного состава, полнотой и качеством материально-технического обеспечения эксплуатации ВВТ. Налицо две группы факторов, влияющих на боевой потенциал ВВТ, но не заменяющих друг друга.

По мнению автора между показателями боевого потенциала $K_{\text{БП}}$ и военно-технического уровня $K_{\text{ВТУ}}$ существует монотонная линейно-степенная зависимость следующего вида:

$$K_{\text{БП}} = \beta K_{\text{ВТУ}}{}^{\gamma}, \quad (19)$$

где коэффициенты $\beta > 0$; $\gamma > 0$ характеризуют степень влияния внешних факторов на боевой потенциал.

Это гипотеза, которую нужно подтвердить дополнительными исследованиями. Параметры могут быть определены экспертно-аналитическим путем на основе статистического анализа исследуемой номенклатуры образцов ВВТ, условий и способов их боевого применения, организации их технической эксплуатации, полнотой и качеством всех видов обеспечения, уровня подготовки личного состава. Дальнейшие исследования автора будут посвящены решению именно этой задачи.

Заключение

Рассмотренный методический подход обобщает результаты исследований, проводимых на протяжении многих лет специалистами разных научно-исследовательских и учебно-научных организаций, работающих в области военной авиации. На базе известных математических моделей и методологии системного анализа автором получена обобщенная аналитическая модель и расчетная методика оценивания боевого потенциала УАК, связывающая его ключевые тактико-технические и эксплуатационные характеристики, а также условий боевого применения с выходных эффектом – средним числом пораженных целей противника за время боевой операции с учетом противодействия противника.

Предложенный научно-методический аппарат представляет собой определенный вклад в развитие теории боевой эффективности вооружения и военной техники может быть использован для проведения прогнозных исследований по обоснованию военно-технического облика перспективных образцов ВВТ при формировании государственной программы вооружения.

Список источников

1. Методы военно-научных исследований систем вооружения: военно-научный труд / Под общ. ред. В.М. Буренка. М.: Граница, 2017. 512 с.
2. Методы оценки эффективности вооружения и военной техники: монография / Под ред. В.М. Буренка. 2-е изд., доп. М.: Граница, 2022. 264 с.
3. Оценка эффективности огневого поражения ударами ракет и огнем артиллерии: военно-теоретический труд / Под общ. ред. А.А. Бобрикова. СПб.: Академия военных наук, 2006. 424 с.
4. Скопец Г.М. Внешнее проектирование авиационных комплексов: методологические аспекты. М.: Ленанд, 2017. 344 с.
5. Формирование рационального облика перспективных авиационных ракетных систем и комплексов / Под ред. В.В. Панова. М.: Машиностроение, 2010. 608 с.
6. Мышкин Л.В. Прогнозирование развития авиационной техники: теория и практика. М.: Физматлит, 2006. 304 с.
7. Модели военных, боевых и специальных действий / Под ред. Д.А. Новикова. М.: Ленанд, 2025. 528 с.
8. Горчица Г.И., Ищук В.А. Проблемы моделирования в интересах военного строительства и планирования развития ВВТ // Известия РАРАН. 2013. №3(78). С. 3-9.
9. Бонин А.С., Горчица Г.И. О боевых потенциалах образцов ВВТ, формирований и соотношениях сил группировок сторон // Военная мысль. 2010. №4. С. 61-67.
10. Управление техническим состоянием динамических систем / Под общ. ред. И.Е. Казакова. М.: Машиностроение, 1995. 240 с.
11. Буравлев А.И., Пьянков А.А. Управление техническим обеспечением жизненного цикла вооружения и военной техники: монография. М.: Граница, 2015. 304 с.
12. Ненартович Н.Э., Горевич Б.Н. Система противоракетной обороны США. Анализ и моделирование. М.: НПО «Алмаз», 2018. 320 с.
13. Горбунов В.А. Эффективность обнаружения целей. М.: Воениздат,1979. 160 с.
14. Буравлев А.И., Брезгин В.С. Методы оценки эффективности высокоточного оружия. М.: Академия Жуковского, 2018. 232 с.

15. Буравлев А.И., Горчица Г.И., Степанов В.Д. Методика интегральной оценки эффективности ударных комплексов вооружения и военной техники и воинских формирований // Известия РАРАН. 2022. №3(123). С. 104-110.
16. Мильграм Ю.Г., Ерохин В.А. Основы единой зонной методики оценки эффективности авиационных средств поражения по наземным (морским) объектам. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1985. 241 с.
17. Власов В.И. Факты и аргументы теории боевой эффективности. М.: ВУНЦ ВВС ВВА, 2011. 200 с.

Информация об авторе

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

Научная статья
УДК 623.4.01

Об изменении вектора развития программы гиперзвукового оружия воздушного базирования в Соединенных Штатах Америки

Александр Васильевич Тимошенко, Владимир Андреевич Ромахин, Алексей Викторович Шнегельбергер

Аннотация. По результатам анализа результатов полигонных испытаний крылатой ракеты AGM-183A, оснащенной гиперзвуковой планирующей головной частью, и данных, приведенных в публикациях за 2024 год, приведены оценки потенциально достижимых тактико-технических характеристик AGM-183A, разрабатываемой по проекту "ARRW". Представлены результаты всех натурных испытаний боеготовых прототипов крылатой ракеты, в том числе приведена информация об особенностях учебно-боевого пуска в 2024 году, который впервые произведен в Индо-Тихоокеанском регионе в условиях, максимально приближенных к боевым. Приведена оценка перспектив принятия AGM-183A на вооружение, а также актуальная информация о текущем состоянии разработок гиперзвукового оружия воздушного базирования в Соединенных Штатах Америки до 2030 года.

Ключевые слова: гиперзвуковое оружие воздушного базирования; гиперзвуковая крылатая ракета; самолет-носитель; ракетные испытания; ракетный полигон

Для цитирования: Тимошенко А.В., Ромахин В.А., Шнегельбергер А.В. Об изменении вектора развития программы гиперзвукового оружия воздушного базирования в Соединенных Штатах Америки // Вооружение и экономика. 2025. №4(74). С. 19-28.

Original article

Concerning the Vector Change of the Air-Based Hypersonic Weapon Program in the United States of America

Aleksandr V. Timoshenko, Vladimir A. Romakhin, Aleksei V. Shnegelberger

Abstract. Based on the analysis of the ground tests results of the hypersonic gliding warhead AGM-183A cruise missile, and the data provided in publications for 2024, the potentially achievable tactical and technical performance evaluations of the AGM-183A cruise missile developed under the ARRW project are given. The results of all field tests of combat-ready cruise missile prototypes are presented. They include information concerning certain combat training launch features in 2024, which was for the first time performed in the Indo-Pacific region in conditions as closely to combat as possible. The article provides an evaluation of the AGM-183A adoption, as well as up-to-date information on the current state of air-based hypersonic weapon development prospects in the United States of America until 2030.

Keywords: hypersonic air-launched weapon; hypersonic cruise missile; carrier aircraft; missile tests; missile range

For citation: Timoshenko A.V., Romakhin V.A., Shnegelberger A.V. Concerning the Vector Change of the Air-Based Hypersonic Weapon Program in the United States of America. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2025; 74(4): 19-28. (In Russ.).

Введение

Военно-политическое руководство США в рамках практической реализации концепции «Быстрый глобальный удар» [1], проводит мероприятия по созданию гиперзвукового оружия (ГЗО). По оценке американских военных специалистов, необходимость разработки подобных систем обусловлена задачами по преодолению зон «ограничения и воспрещения доступа» (Anti-Access/AreaDenial, A2/AD) для нанесения высокоточных неядерных ударов по критически важным объектам [2].

На 2025 финансовый год в интересах национальных вооруженных сил (ВС) было спланировано проведение комплекса научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) по четырем программам разработки ГЗО различного базирования[1].

При этом США традиционно считают наиболее приоритетным направлением реализацию двух проектов в интересах военно-воздушных сил (ВВС) – «ARRW» (Air-Launched

[1] Sayler K.M. Hypersonic Weapons: Background and Issues for Congress // Congressional Research Service. Report R45811. 2024. Dec.2. URL: https://www.congress.gov/crs_external_products/R/PDF/R45811/R45811.43.pdf

© Тимошенко А.В., Ромахин В.А., Шнегельбергер А.В., 2025

Rapid Response Weapon, «Оружие быстрого реагирования воздушного базирования») и «HACM» (Hypersonic Attack Cruise Missile, «Гиперзвуковая ударная крылатая ракета»). Важно отметить, что программа «ARRW» имеет самые обширные результаты натурных испытаний (пять пусков боеготовых прототипов). Кроме того, перспективному образцу вооружения присвоена действительная номенклатура – аэробаллистическая ракета AGM-183A с гиперзвуковой планирующей головной частью (ГПГЧ)[2].

Ход реализации программы разработки ракеты AGM-183A

На реализацию всей программы «ARRW» (головное предприятие – «Локхид-Мартин») в период с 2019 по 2024 финансовые годы выделено финансирование в объеме более 1,4 млрд долл., при этом в 2024 финансовом году на закупку боеготовых изделий AGM-183A[3] и проведение финальных испытаний выделено 150 млн долл. (рисунок 1).

Важно отметить, что финансирование указанного проекта на 2025 финансовый год (начался в США 1 октября 2024 г.) не предусмотрено, что говорит об его окончании Подтверждением может служить доклад Исследовательской службы конгресса (Congressional Research Service) от 2 декабря 2024 г., в котором программа «ARRW» охарактеризована завершенной со ссылкой на бюджетные документы ВВС США[4].

Как видно из рисунка 1, значительная корректировка финансирования программы «ARRW» произошла в 2022 финансовом году – увеличение на 35% (81 млн долл.), что связано с устранением технических неисправностей в работе ракетного ускорителя (в том числе проблемы с воспламенением, отделением и функционированием) [3].

Однако в сентябре 2024 года ВВС США дополнительно направили сумму в размере 13,4 млн долл. для проведения дальнейших исследований, анализа данных и совершенствования гиперзвуковых технологий.

Рисунок 1 – Финансирование программы «ARRW» в период с 2019 по 2024 фин. г.

[2] Miller A., Church A. Air Force & Space Force Almanac 2023 // Air & Space Forces Magazine. 2023. Jun.21. URL: https://www.airandspaceforces.com/article/air-force-space-force-almanac-2023/

[3] Fiscal Year 2024 Budget Estimates. Vol.2. // Department of the Air Force. Research, Development, Test and Evaluation, Air Force. 2023. Mar. URL: https://www.saffm.hq.af.mil/Portals/84/documents/FY24/Research%20and%20Development%20Test%20and%20Evaluation/FY24%20Air%20Force%20Research%20and%20Development%20Test%20and%20Evaluation%20Vol%20II.pdf?ver=pYOQLrjX71gVe8w6FCJOwg%3d%3d

[4] Sayler K.M. Hypersonic Weapons… *Op. cit.*

В соответствии с обновленной информацией по проекту «ARRW» компания «Локхид-Мартин» должна завершить работы до конца 2025 финансового года. Основные мероприятия предполагается осуществить командой инженеров и учёных на базе научно-технического центра в г. Орладно (шт. Флорида)[5], оснащенного специализированным испытательным оборудованием, в том числе анализа данных. Это подчёркивает стремление ВВС США использовать опыт, полученный в рамках программы «ARRW», для разработки гиперзвукового оружия воздушного базирования в других проектах. Важно отметить, что фокус разработок смещен в сторону перспективных образцов, оснащенных гиперзвуковыми прямоточными воздушно-реактивными двигателями (ГПВРД), например взаимосвязанные программы «HACM» и «HAWC» (Hypersonic Air-breathing Weapon Concept, «Концепция гиперзвукового воздушно-реактивного вооружения»). Первая курируется Управлением перспективных исследовательских проектов минобороны США ДАРПА, вторая – министерством ВВС США. В период с 2021 по 2022 гг. в рамках программы «HAWC» осуществлено три успешных летных испытания, в ходе которых проводились запуск и проверка работы ГПВРД, а также подтверждение функциональности конструкции ракеты в условиях гиперзвукового полета. При этом весь научно-технический задел и технологии, разработанные в рамках программы «HAWC», будут использованы в проекте «HACM».

Важно отметить: предполагается, что гиперзвуковая крылатая ракета «HACM» будет обладать меньшими масса-габаритными характеристиками, чем у AGM-183A, что позволит размещать перспективное вооружение на самолетах тактической авиации (ТА) ВВС США, в том числе F-15EX, F/A-18 и F-35[6].

В качестве потенциального носителя данного вооружения рассматриваются самолеты ТА семейства «Игл», в частности, F-15E (218 шт. находиться в строю) и новый многоцелевой истребитель F-15EX (не менее 10 ед. приняты на вооружение). Перспективы создания гиперзвукового авиационного ракетного комплекса (ГАРК) ВВС США на базе F-15EX представлены в работе[7].

Результаты анализа закупок авиационной техники в США показали тенденцию на увеличение поставок потенциальных носителей гиперзвукового оружия – самолетов F-15EX (к 2030 году будет сформировано не менее 3 эскадрилий)[8].

Важно отметить, что одним из наиболее вероятных мест базирования новых авиационных подразделений вне континентальной части США станет авиабаза Лейкенхит (Великобритания)[9], где в настоящее время размещено не менее трех эскадрилий тактических истребителей семейства «Игл» различных модификаций. Кроме того, процесс переобучения летного состава, ранее совершавшего полеты на самолетах F-15C/D, для управления новым истребителем за счет схожей базы (авионики) будет проведено в течение нескольких недель.

---

[5] Contract Award: Lockheed Martin Missile and Fire Control (Orlando, Florida) – $13,447,746 // Defense Daily. 2024. Sep.26. URL: https://www.defensedaily.com/contract-awards/contract-award-lockheed-martin-missile-and-fire-control-orlando-florida-13447746

[6] Trevithick J. ARRW Hypersonic Missile Program Gets New Funding Despite Signs Of Cancellation // The War Zone. 2024. Oct.10. URL: https://www.twz.com/air/arrw-hypersonic-missile-program-gets-new-funding-despite-signs-of-cancellation

[7] Тимошенко А.В., Тамп Н.В., Гайчук Ю.Н., Ромахин В.А. Перспективы создания гиперзвукового авиационного ракетного комплекса ВВС США на базе тактического истребителя F-15EX // Вестник Академии военных наук. 2023. №1(82). С. 97-107; Тимошенко А.В., Клименко В.М., Балдычев М.Т., Ромахин В.А., Омельшин А.А. Основные результаты реализации программ по разработке гиперзвукового оружия в США // Вестник Воздушно-космической обороны. 2022. №2(34). С. 118-131.

[8] Newdick T. The F-15EX is now officially named the Eagle II // The War Zone. 2021. Apr.7. URL: https://www.twz.com/40085/the-f-15ex-is-now-officially-named-the-eagle-ii; Everstine B. USAF Again Trims F-15EX Buy // Aviation Week Network. 2024. Mar.11. URL: https://aviationweek.com/defense/budget-policy-operations/usaf-again-trims-f-15ex-buy; Tirpak J.A. F-15EX vs. F-35A // Air and Space Force Magazine. 2019. Apr.18. URL: https://www.airandspaceforces.com/article/f-15ex-vs-f-35a

[9] U.S. Hypersonic Weapons and Alternatives // Congressional Budget Office. 2023. Jan.31. URL: https://www.cbo.gov/publication/58255

На основании вышеизложенного можно полагать, что США в среднесрочной перспективе (до 2040 года) стремится к созданию ГАРК на базе истребителя F-15EX, не уступающего по боевым возможностям российскому комплексу «Кинжал» с МиГ-31И.

Особенностью боевого применения ГАРК на базе самолетов ТА ВВС США является возможность пуска ракет, оснащенных ГПГЧ, с расстояния более 1000 км без входа в зону действия систем противовоздушной обороны (ПВО) и противоракетной обороны (ПРО) ВС РФ. При этом время подлета ГПГЧ на Западном стратегическом направлении до г. Москвы составит от 5 мин до 1,5-2 ч в зависимости от места взлета самолета-носителя в Европе (более 30 крупных аэродромов).

Обобщенные результаты летно-технических испытаний ракеты AGM-183A

Компания «Локхид-Мартин» в июне 2019 года приступила к статическим полетам (без отделения образцов от самолета-носителя)[10]. В ходе всех летно-конструкторских испытаний AGM-183A задействовались стратегические бомбардировщики (СБ) B-52H. Интеграция самолетов ТА ВВС США с ГЗО планируется в дальнейшем, после принятия на вооружение первого образца ракетного вооружения.

Анализ испытаний, проведенных в период с марта 2019 года по март 2023 года, подробно представлен в работе [3]. Всего – 14 мероприятий различного характера. Однако натурные испытания второго боеготового прототипа AGM-183A в марте 2023 года признаны неудачными. По заявлению министра ВВС США Ф.Кенделла отделение и запуск гиперзвуковой боевой ступени осуществлено штатно, однако в процессе полета произошла потеря телеметрической информации, и соответственно, сложно делать выводы о том, как функционировали системы AGM-183A[11].

Всего проведено пять учебно-боевых пусков[12], по результатам которых планировалось принять решение о будущем всей программы «ARRW». В таблице 1 представлены обобщенные данные о результатах всех полигонных испытаний боеготовых прототипов ракеты AGM-183A.

Таблица 1 − Обобщенные данные результатов испытательных пусков AGM-183A

№ п/п исп.	Дата испытания	Тип испытания	Район проведения	Результаты
13.	9 декабря 2022 г.	первое летное испытание прототипа с отделением ГПГЧ	Пойнт-Мугу	успешно
14.	13 марта 2023 г.	второе летное испытание прототипа с отделением ГПГЧ	Пойнт-Мугу	неудачно
15.	19 августа 2023 г.	третье летное испытание прототипа с отделением ГПГЧ	Пойнт-Мугу	нет официальных данных
16.	21 октября 2023 г.	четвертое летное испытание прототипа с отделением ГПГЧ	Пойнт-Мугу	нет официальных данных
17.	17 марта 2024 г.	пятое летное испытание прототипа с отделением ГПГЧ	АвБ Андерсен – ат. Кваджелейн	успешно

[10] Pawlyk O. Air Force's Hypersonic ARRW Missile Fails First Flight Test // Military.com. 2021. Apr.6. URL: https://www.military.com/daily-news/2021/04/06/air-forces-hypersonic-arrw-missile-fails-first-flight-test.html

[11] Losey S. ARRW hypersonic missile test failed, US Air Force admits // Defense News. 2023. Mar.28. URL: https://www.defensenews.com/air/2023/03/28/arrw-hypersonic-missile-test-failed-us-air-force-admits; Air Force conducts second ARRW test flight // Official United States Air Force Website. 2023. Mar. 24. URL: https://www.hill.af.mil/News/Article-Display/Article/3341110/air-force-conducts-second-arrw-test-flight

[12] Tirpak J.A. Three More Successful All-Up ARRW Tests Required Before Production Decision // Air and Space Forces magazine. 2022. Dec.14. URL: https://www.airandspaceforces.com/three-more-successful-all-up-arrw-tests-required-before-production-decision

Из данных таблицы 1 видно, что в период с декабря 2022 по март 2024 гг. осуществлено пять пусков боеготовых прототипов AGM-183A. В публикациях из открытых источников точных данных о результатах натурных испытаний (19 августа и 21 октября 2023 г.) нет, комментарии официальных лиц носят дискуссионный характер[13]. Однако основные проблемы, выявленные в ходе начальных испытаний, были связаны с нестабильной работой ракетного ускорителя, трудностями с интеграцией разнородных систем и программными сбоями.

На основании вышеизложенного можно утверждать, что данные пуски ракетных изделий проведены не в полной мере и с нарушением отдельных этапов программ испытаний, вызванных отказом отдельных агрегатов (таких как устройство отцепки ракеты от пилона самолета-носителя и ракетный ускоритель). В свою очередь наиболее уязвимыми местами программы «ARRW» являются:

1. *Отказы в работе ракетного ускорителя*, который используется для разгона AGM-183A до гиперзвуковых скоростей. Как правило, технические сбои происходили вскоре после запуска и не позволяли планирующему аппарату отделиться и выйти на запланированную траекторию.

2. *Проблемы с разделением ракетного ускорителя и планирующего аппарата*. В ряде испытаний разделение не осуществлялось или происходило нештатно, что не позволяло планирующему аппарату продолжить полёт по намеченной траектории (маршруту).

3. *Потеря данных от различных сенсоров*: технические сбои измерительной и передающей аппаратуры приводили к потере данных о ходе полёта AGM-183A (в том числе телеметрической информации), что не позволяло оценивать и анализировать эффективность всех систем и вносить необходимые изменения.

Таким образом, малое количество натурных испытаний (боеготовых прототипов AGM-183A всего – пять, таблица 1) объясняется сжатыми сроками и рядом неудачных испытаний (причины указаны выше), а также сложностью реализуемого НИОКР. Важно отметить, что в ходе разработок перспективных образцов гиперзвукового вооружения активно применяется коллаборация представителей оборонных компаний США с научными коллективами высших образовательных учреждений технической направленности.

В таблице 2 представлены обобщенные данные об университетах США, принимающих участие в разработке гиперзвуковых технологий для создания ракеты AGM-183A.

Учитывая сложность и большие финансовые затраты на проведение натурных испытаний гиперзвуковых летательных аппаратов (ГЗЛА) в качестве одного из основных методов исследования выбрано моделирование, в том числе использование полноразмерных макетов [4].

В результате анализа открытых источников выявлены следующие области и инструменты моделирования:

1. Вычислительная гидродинамика (Computational fluid dynamics) – наиболее важная технология моделирования для ГЗЛА. Она предполагает использование численных методов и алгоритмов для анализа сложного воздушного потока вокруг летательного аппарата. К основным программным средам, работающим на высокопроизводительных вычислительных устройствах, можно отнести ANSYS Fluent/CFX, Siemens Star-CCM+, NUMECA Fine/Marine и Open FOAM[14].

2. Термический анализ и моделирование – прогнозирование тепловых нагрузок на поверхность ГЗЛА на разных этапах полёта. В качестве инструментов используется специализированное программное обеспечение для анализа методом конечных элементов (Finite element method) и вычислительной теплопередачи, например, ANSYS Mechanical, COMSOL Multiphysics и ABAQUS.

---

[13] Losey S. US Air Force fires hypersonic ARRW in first test since March failure // Air Force Times. 2023. Aug.21. URL: https://www.airforcetimes.com/battlefield-tech/space/2023/08/21/us-air-force-fires-arrw-hypersonic-in-first-test-since-march-failure; Tirpak J.A. Air Force Says ARRW Test Provides ‘New Insights,’ But Offers Few Specifics // Air and Space Forces magazine. 2023. Oct.17. URL: https://www.airandspaceforces.com/air-force-arrw-test-new-insights-few-specifics

[14] Helfrich E. Hypersonics research and development led by UTA and Ansys // Military Embedded Systems. 2020. Sep.22. URL: https://militaryembedded.com/radar-ew/test/hypersonics-research-and-development-led-by-uta-and-ansys

Таблица 2 – Обобщенные данные об университетах США, разрабатывающих гиперзвуковые технологии

№ п/п	Название университета	Исследуемые гиперзвуковые технологии, области науки	Вероятный вклад в программу AGM-183A
1.	Массачусетский технологический институт	Высокоскоростная аэродинамика, прямоточные и пульсирующие воздушно-реактивные двигатели, а также передовые материалы	Проектирование и разработка планирующего летательного аппарата, его аэродинамической формы и системы терморегулирования
2.	Калифорнийский технологический институт	Гидродинамика, горения и материаловедения. Изучение основных физических принципов, лежащих в основе гиперзвукового полёта	Высокотемпературные материалы и сплавы
3.	Иллинойсский университет в Урбана-Шампейн	Гиперзвуковая аэродинамика и горение	Тестирование и проверка концепций проектирования на базе экспериментальных исследовательских лабораторий
4.	Университет Пердью	Двигательные установки	Разработка ракетного ускорителя (лаборатория Зукроу)
5.	Техасский университет A&M	Гиперзвуковые материалы, аэродинамика. Имеются испытательные стенды в аэродинамической трубе для оценки различных концепций дизайна	Разработка планирующего летательного аппарата и систем управления (маневрирования)
6.	Мичиганский университет	Гиперзвуковая аэродинамика, физика плазмы	Моделирование и имитация характеристик планирующего аппарата AGM-183A

3. Моделирование системы наведения и управления – проверка чувствительности и устойчивости поверхностей управления ГЗЛА в условиях имитации гиперзвукового полёта. К специализированному программному обеспечению для проектирования и моделирования систем управления можно отнести Simulink/MATLAB и Modelica.

4. Моделирование двигательной установки – моделирование и имитация работы ракетного ускорителя и любых интегрированных двигательных установок. Инструменты для моделирования ракетных двигателей и анализа горения: Chemkin и RocFlo. Кроме того, активно используется инфраструктура специализированных центров, которые подробно представлены в работе[15].

Таким образом, ведущие технические высшие учебные заведения США играют одну из ведущих ролей в разработке гиперзвуковых технологий, которые применяются при создании перспективных образцов вооружения, в том числе и проекте «ARRW». Созданный научно-технический задел в таких областях, как гиперзвуковая аэродинамика, двигательные установки, материаловедение и системы управления, был необходим для данной программы. В ходе данных исследований активно применяются различные виды моделирования и самое современное специализированное программное обеспечение.

Весь цикл испытаний перспективного образца ракетного вооружения по проекту «ARRW» составил 17 различных мероприятий (по состоянию на 1 января 2025 г.), при этом всего пять из них можно отнести к натурным пускам боеготовых прототипов AGM-183A, ряд из которых признан успешным. Анализ руководящих документов ВС США о процессах приема на вооружение перспективных ракетных образцов показал, что количество пусков должно быть в два раза больше, результаты которых должны быть успешными.

Решение о малом количестве испытаний данного проекта продиктовано сжатыми сроками, параллельное развитие взаимосвязанных проектов (ARRW + TBG), наличием большого научно-технического задела по предыдущим проектам, активное участие при разработке гиперзвуковых технологий ведущих научных коллективов США (в том числе гражданских университетов), а также использование существующей инфраструктуры специализированных научно-испытательных центров и строительство новых объектов.

[15] Тимошенко А.В. и др. Основные результаты реализации … *Указ. соч.*

Особенности заключительного этапа испытаний крылатой ракеты AGM-183A

Наибольший интерес для оценки оперативно-тактических характеристик перспективной гиперзвуковой ракеты воздушного базирования AGM-183A представляет завершающий этап полигонных испытаний, который осуществлен в марте 2024 года.

Особенностями данного мероприятия являлись:

1) Новое место проведения – ракетный полигон (РП) Сухопутных войск (СВ) США им. Р.Рейгана (ат. Кваджелейн), обладающий современными пунктами приема телеметрической информации, радиолокационными станциями и оптическими системами слежения.

2) Взлет самолета-носителя B-52H осуществлен с передовой авиабазы Андерсен (о. Гуам), дальность маршрута в район пуска – более 2500 км (время полета составило в районе 3 часов). Боевой радиус B-52H равен 7000 км, соответственно, после пуска боеготового прототипа AGM-183A для возвращения на авиабазу вылета дозаправка самолета-носителя в воздухе не проводилась.

3) Задействование летного состава строевых частей из состава 49 испытательной авиационной эскадрильи (АвБ Барксдейл, шт. Луизиана) 53 авиационного крыла Боевого авиационного командования и 23 тяжелой бомбардировочной авиационной эскадрильи (АвБ Майнот, шт. Северная Дакота) 5 тяжелого бомбардировочного авиационного крыла Командования Глобальных ударов.

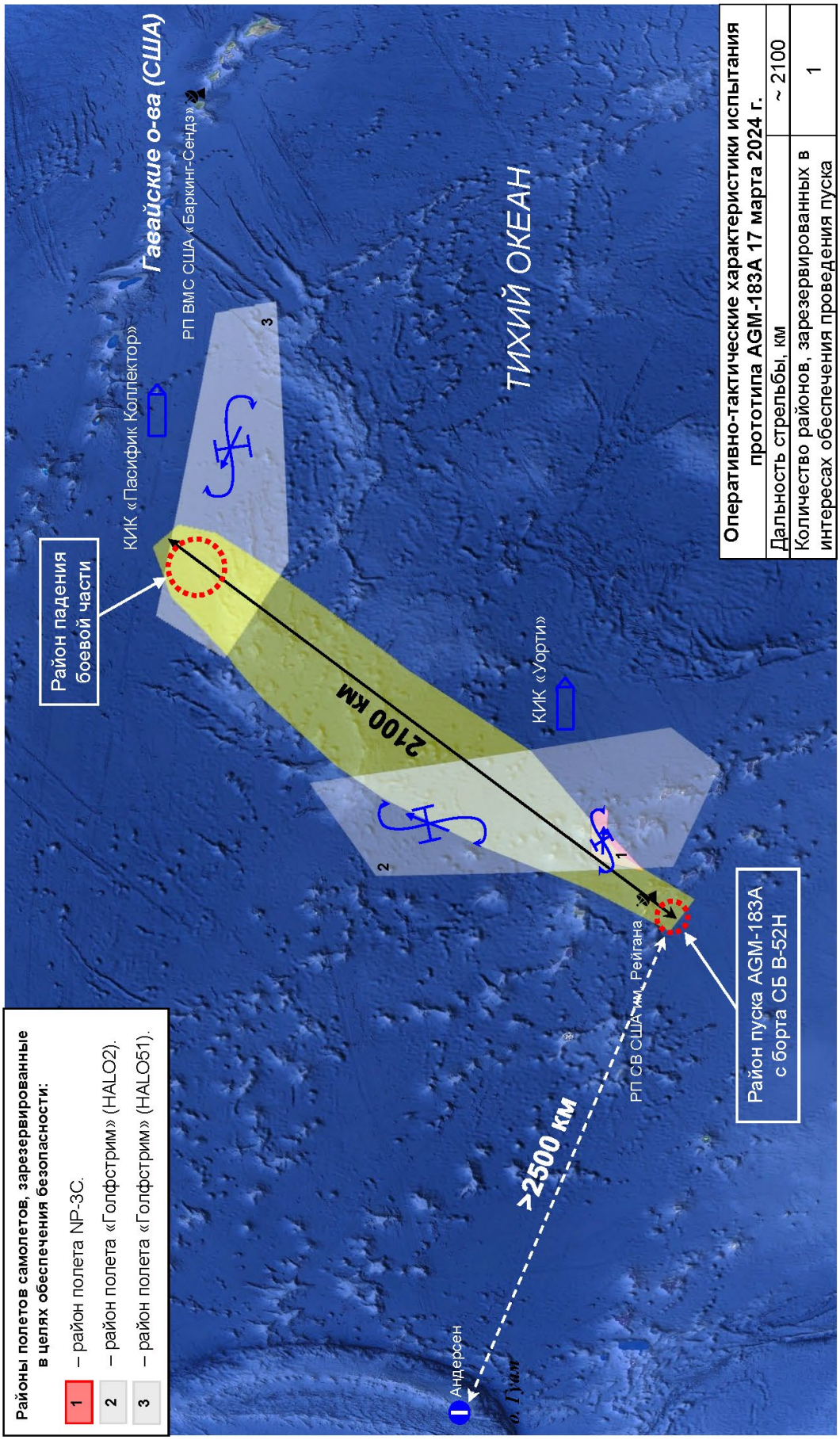
4) Перед началом испытаний с экипажами СБ B-52H представителем Центра испытаний ВВС США (АвБ Эдвардс, шт. Калифорния) проведены инструкторско-методические сборы, освещающие боевые возможности и конструктивные особенности перспективного гиперзвукового ракетного вооружения типа AGM-183A, а также вопросы тактики нанесения ударов (рисунок 2)[16].

Завершающий цикл полигонных испытаний согласно программе «ARRW» включал три этапа: подготовительный (с 24 февраля по 2 марта 2024 г.), основной (с 3 по 10 марта 2024 г.) и резервный (с 17 по 20 марта 2024 г.), под последними двумя периодами понимается учебно-боевой пуск прототипа AGM-183A с бортовым номером «AR-AUR-005».

Всего для наблюдения за испытаниями по проекту «ARRW» задействовалось три специализированных самолета и два корабля, что соответствует типовому количеству выделяемых сил и средств. Важно отметить, что в ходе всего полета с борта перспективного ракетного изделия должна осуществляться передача различных данных, в том числе телеметрической информации.

Рисунок 2 – Боеготовый прототип AGM-183A с бортовым номером «AR-AUR-005», март 2024 года (АвБ Андерсен, о.Гуам)

[16] Andersen AFB Hosts Hypersonic Weapon Familiarization Training // Official United States Air Force Website. 2024. Feb.28. URL: https://www.andersen.af.mil/News/Article-Display/Article/3690368/andersen-afb-hosts-hypersonic-weapon-familiarization-training; Trevithick J. Unprecedented U.S. Hypersonic Weapons Test From Guam Has Occurred // The War Zone. 2024. Mar.19. URL: https://www.twz.com/air/unprecedented-u-s-hypersonic-weapons-test-from-guam-has-occurred



Оперативно-тактические характеристики испытания прототипа AGM-183A 17 марта 2024 г.

Дальность стрельбы, км	~ 2100
Количество районов, зарезервированных в интересах обеспечения проведения пуска	1

Рисунок 3 – Район проведения летных испытаний AGM-183A по трассам РП СВ США им. Р.Рейгана 17 марта 2024 г.

В интересах обеспечения безопасности судоходства на период завершающего цикла испытаний боеготового прототипа AGM-183A (с 3 по 10 марта и с 17 по 20 марта 2024 г.) американской гидрографической службы NAVAREA XII зарезервирована область морского пространства площадью 750 кв.км (рисунок 5), при этом район пуска располагался в непосредственной близости от РП СВ США им. Р.Рейгана (ат. Кваджелейн).

Оценка района натурного испытания AGM-183A (рисунок 3) показала, что оно проведено в условиях максимально приближенным к боевым (первая практическая отработка нанесения удара гиперзвуковым оружием): самолет-носитель СБ B-52H произвел взлет с передовой авиабазы в Индо-Тихоокеанском регионе (ИТР) (в соответствии с американским геополитическим делением ИТР включает Азиатско-Тихоокеанский район и акваторию Индийского океана), осуществил перелет на расстояние более 2500 км и при выходе в район предназначения совершил пуск боеготовым прототипом AGM-183A с бортовым номером «AR-AUR-005» по цели, расположенной на удалении в 2100 км (расчетная дальность полета подтверждается результатами предыдущих испытаний) [3].

Важно отметить, что традиционное место проведения испытаний AGM-183A – побережье Калифорнии – изменено в 2024 году, а самолет-носитель с боеготовым прототипом гиперзвукового оружия *впервые* был развернут за пределами континентальной части США, при этом в 3000 км от Китая и КНДР. Развертывание в ИТР перспективного ракетного вооружения направлено в качестве контрмеры противодействия растущей военной мощи Китая [5], выравнивания баланса сил и оказания поддержки странам-союзникам США (Япония, Южная Корея, Тайвань и Австралия) в регионе[17].

Таким образом, продолжающееся развитие других проектов по созданию гиперзвукового оружия говорит о том, что вооружённые силы США по-прежнему считают данные системы критически важными для устранения возможных угроз в регионе, в том числе для преодоления или снижения эффективности зон ограничения (воспрещения) доступа. В связи с этим гиперзвуковое вооружение типа AGM-183A имеет решающее значение для военной стратегии США в ИТР. Кроме того, в данном мероприятии активно задействовался летный состав СБ B-52H 5-го тяжелого бомбардировочного авиационного крыла Командования глобальных ударов ВВС США, что говорит о возможном выборе этого подразделения стратегической бомбардировочной авиации, на вооружение которого поступит гиперзвуковое оружие воздушного базирования.

На основании вышеизложенного можно утверждать, что программа «ARRW» будет продолжена как минимум до сентября 2025 года, проведение полноценных боевых пусков маловероятно по причине незначительного финансирования (13,4 млн долл.), при этом назначение конкретного центра «Локхид-Мартин» свидетельствует, что целевое назначение средств направлено на проведение завершающих этапов исследования и обобщение полученных данных для формирования научно-технического задела для других проектов. Дальнейшее развитие AGM-183A возможно за счет внутренних ресурсов компании-разработчика.

Основные усилия по созданию гиперзвукового оружия воздушного базирования в США будут сконцентрированы на программе «HACM»[18], в соответствии с которой должна быть разработана гиперзвуковая крылатая ракета с ГПВРД[19]. Подтверждением этому может служить доклад Исследовательской службы конгресса от 2 декабря 2024 г., в котором

[17] The DF-17 Missile Is China's Great Military Hope For The Next Few Years: Hypersonic, "Aircraft Carrier Killer" And Very Difficult To Intercept // Technoeager. 2020. Dec.6. URL: https://technoeager.com/the-df-17-missile-is-chinas-great-military-hope-for-the-next-few-years-hypersonic-aircraft-carrier-killer-and-very-difficult-to-intercept

[18] Marrow M. Air Force conducts final test of ARRW hypersonic missile, won't discuss 'specific' results // Breaking Defense. 2024. Mar.20. URL: https://breakingdefense.com/2024/03/air-force-conducts-final-test-of-arrw-hypersonic-missile-wont-discuss-specific-results

[19] Rosenberg Z. Pentagon budget 2025: USAF funds HACM but not ARRW development // Janes.com. 2024. Mar.13. URL: https://www.janes.com/osint-insights/defence-news/weapons/pentagon-budget-2025-usaf-funds-hacm-but-not-arrw-development

у программы «НАСМ» до конца 2027 года запланировано проведение летно-технических испытаний прототипов, а принятие на вооружение заявлено до 2029 года[20].

Таким образом, решение о выборе в пользу «НАСМ» с переходом к серийному производству первой номенклатуры гиперзвукового оружия воздушного базирования будет осуществлено на основе результатов натурных испытаний в 2025-2027 годах. Важно отметить, что оснащение гиперзвуковым оружием самолетов ТА ВВС США и НАТО будет способствовать угрозе прорыва ПВО-ПРО ВС РФ за счет скрытого размещения самолетов-носителей в боевом порядке (группе) среди самолетов прикрытия. Пуск гиперзвукового оружия будет осуществлен вне зоны действия ПВО-ПРО ВС РФ.

Список источников

1. Афонин И.Е., Макаренко С.И., Михайлов Р.Л. Быстрый глобальный удар: ретроспективный анализ концепции, вероятный сценарий нанесения, состав сил и средств, последствия и приоритетные мероприятия по противодействию: монография. СПб.: Наукоемкие технологии, 2022. 174 с.

2. Запорожцев Д.В. Критическая инфраструктура государства и ее важные объекты в категориально-понятийном аппарате специальных и правоохранительных служб // Международное сотрудничество евразийских государств: политика, экономика, право. 2020. №4. С. 48-54.

3. Тимошенко А.В., Голубчиков С.В., Шайдулин З.Ф., Ромахин В.А. Анализ результатов полигонных испытаний крылатой ракеты воздушного базирования AGM-183A с гиперзвуковой планирующей головной частью // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2023. №27. С. 21-36.

4. Брайткрайц С.Г., Евдокимов В.А., Бухтияров В.В. Научно-методический подход к обоснованию рационального облика гиперзвукового оружия // Вооружение и экономика. 2019. №4(50). С. 11-20.

5. Стефанович Д.В. Гиперзвуковое оружие оперативно-тактического назначения: развертывание, применение и последствия // Экспорт вооружений. 2023. №172(спецвыпуск). С. 38-41.

Информация об авторах

А.В. Тимошенко – доктор технических наук, профессор, SPIN код автора 7172-8764.

В.А. Ромахин – кандидат технических наук.

[20] Sayler K.M. Hypersonic Weapons… *Op. cit.*

Научная статья
УДК 623.746.4-519

Основные направления применения комплексов с FPV-дронами в ходе современных боевых действий

Владимир Леонидович Гладышевский, Евгений Александрович Антохин, Александр Сергеевич Губар

Аннотация. В статье раскрыты конструктивные особенности, уточнены типовой состав и назначение комплексов с FPV-дронами для решения военных задач. На основе анализа видеоматериалов пресс-службы Минобороны России и ряда опубликованных работ сформирован перечень основных типовых тактических сценариев боевого применения FPV-дронов в ходе современных боевых действий.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты; FPV-дроны одноразового применения; FPV-дроны многоразового применения; коммерческие малоразмерные образцы беспилотных летательных аппаратов; типовые тактические сценарии боевого применения; оптоволоконные технологии

Для цитирования: Гладышевский В.Л., Антохин Е.А., Губар А.С. Основные направления применения комплексов с FPV-дронами в ходе современных боевых действий // Вооружение и экономика. 2025. №4(74). С. 29-36.

Original article

The Main Directions of FPV Drone Systems Application During Modern Combat Operations

Vladimir L. Gladyshevskii, Evgenii A. Antokhin, Aleksandr S. Gubar

Abstract. The article reveals the design features, and clarifies the typical FPV drone systems composition and purpose for military tasks solution. On the basis of a video materials analysis of the press service of the Russian Ministry of Defense and a number of published works, a list of the main typical tactical scenarios of FPV drone combat application in the course of modern combat operations has been formed.

Keywords: unmanned aerial vehicles; FPV drones for one-time use; reusable FPV drones; commercial small-size samples of unmanned aerial vehicles; typical tactical scenarios of combat use; fiber-optic technologies

For citation: Gladyshevskii V.L., Antokhin E.A., Gubar A.S. The Main Directions of FPV Drone Systems Application During Modern Combat Operations. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2025; 74(4): 29-36. (In Russ.).

Введение

Опыт локальных вооруженных конфликтов современности ясно обозначил тенденцию резкого повышения значимости в составе системы вооружения беспилотных авиационных систем различного класса и предназначения.

В настоящее время применение комплексов с беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) стало неотъемлемой частью современного общевойскового боя, во многом определяющей не только уровень ситуационной осведомленности и автономности действий подразделений (частей), но и их огневые возможности [1-3].

Заметным явлением в области беспилотных авиационных систем в ходе современных боевых действий стало начало массированного применения комплексов с малоразмерными БПЛА квадрокоптерного типа (FPV-дронов).

Высокая эффективность применения FPV-дронов всеми противоборствующими сторонами привела к кардинальной трансформации картины современного общевойскового боя: дополнительному оснащению бронетанковой и автомобильной техники кустарными средствами защиты (так называемыми «мангалами» и «козырьками»); ведению огня танками преимущественно с закрытых позиций; появлению в составе подразделений тактического звена военнослужащих со специальным вооружением и оснащением, основная задача которых постоянное ведение наблюдения за воздушной обстановкой и борьба с БПЛА противника, а также целому ряду других новшеств.

© Гладышевский В.Л., Антохин Е.А., Губар А.С., 2025

В сложившихся условиях сбор, обработка и обобщение материалов по боевому опыту применения FPV-дронов с целью внедрения результатов их анализа в практику организации боевой работы подразделений, оснащенных БПЛА рассматриваемого типа, представляется актуальной военно-технической задачей.

1 Конструктивные особенности, состав и назначение комплексов с FPV-дронами

Специалисты отмечают следующие основные конструктивные особенности FPV-дронов, которые отличают их от других коммерческих образцов малоразмерных БПЛА квадрокоптерного типа:
- наличие органов управления (видеоочков и пульта), обеспечивающих оператору режим управления «вид от первого лица» (англ. FPV – «First Person View»);
- недоступность автономного режима «стабилизации полета» (функция «зависания» аппарата в воздухе в автономном режиме не реализована);
- высокие скорость и маневренность полета;
- отсутствие в составе модуля спутниковой навигации и автопилота;
- блочно-модульный принцип построения, позволяющий комплектовать навесное оборудование в зависимости от выполняемых задач, в том числе оснащать модулями приема-передачи данных и сигналов управления с различными рабочими частотами [3; 4].

Типовой состав комплекса с FPV-дронами представлен на рисунке 1.

Рисунок 1 – Схема типового состава комплекса с FPV-дронами

В типовой состав комплекса с FPV-дронами входят [3; 4]:
1) пульт или аппаратура управления;
2) FPV-очки оператора;
3) FPV-дроны, как правило, квадрокоптерного типа (от двух единиц и более) в составе:
- рамы и корпуса, обычно изготавливаемых из карбона (углепластика) или алюминия;
- роторных двигателей с вращающимися лопастями, создающих подъемную силу и служащих для управления полетом;
- электронных регуляторов скорости вращения двигателей (ESC), предназначенных для управления полетом;
- бортовой FPV-камеры;
- полетного контроллера (FC);
- видеопередатчика (VTX);
- приемника сигналов (Receiver);
- приемо-передающих антенн;
- аккумуляторной батареи (АКБ).

Массовое применение FPV-дронов в ходе современных боевых действий обусловлено следующими факторами:
- беспрецедентная эффективность боевого применения по критерию «стоимость-наносимый противнику урон»;
- существенное сокращение цикла боевого управления «обнаружение-поражение»;
- высокие избирательность и точность поражения ключевых целей в боевых порядках противника;
- удаленное бесконтактное воздействие на противника за счет вывода оператора из зоны огневого воздействия;
- высокие маневренность и скорость полета, обеспечивающие высокую неуязвимость от огня стрелкового оружия противника и оперативное решение задач по предназначению;
- ценовая и рыночная доступность на торговых интернет-площадках изделий в сборе и комплектующих к ним (в среднем стоимость одного FPV-дрона не превышает 80 тыс. руб.);
- возможность ремонта и комплектования различным целевым оборудованием в зависимости от выполняемых задач непосредственно на позициях;
- постоянное совершенствование технологий изготовления, возможность сборки из комплектующих в полевых условиях.

К недостаткам, присущим FPV-дронам, в первую очередь следует отнести:
- сравнительно небольшая продолжительность полета (в среднем не превышает 15 мин);
- ограниченная дальность применения (как правило, не более 12 км без ретранслятора);
- необходимость длительной подготовки оператора (не менее месяца).

Сегодня в современном общевойсковом бою комплексы с FPV-дронами решают следующие основные задачи [3]:
- воздушная разведка местности и объектов противника, мониторинг обстановки в целях повышения ситуационной осведомленности командиров подразделений тактического звена;
- поражение личного состава, бронированной, легкобронированной и автомобильной техники, других образцов вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) противника;
- огневая поддержка подразделений в различных видах боя;
- уничтожение БПЛА противника в полете;
- дистанционное минирование и разминирование местности;
- корректировка огня артиллерийских систем;
- морально-психологическое воздействие на противника.

FPV-дроны ударного назначения выполняют задачи по поражению противника методом тарана цели (FPV-дроны одноразового применения, так называемые «дроны-камикадзе») и при помощи сброса боеприпасов (FPV-дроны многоразового применения, так называемые «дроны-бомбардировщики»). В ударном варианте для оснащения FPV-дронов применяют как специализированные средства поражения промышленного производства,

так и изготовленные в технических подразделениях самодельные взрывные устройства на основе штатных боеприпасов, взрывчатых веществ и огнесмесей.

Дальнейшим направлением развития FPV-систем явилось использование для управления и передачи данных не радиоканала, а оптоволоконного кабеля, катушка с которым дополнительно устанавливается на борту БПЛА (рисунок 2). Подобный FPV-дрон с применением оптоволоконных технологий был разработан отечественным научно-промышленным центром «Ушкуйник» (г. Великий Новгород) и получил название «Князь Вандал Новгородский» или сокращенно «КВН». В настоящее время он находится в мелкосерийном производстве и поступает в войска [5].

Рисунок 2 – Общий вид катушки с оптоволоконным кабелем и место ее размещения на FPV-дроне

При таком подходе оптоволоконная линия управления и передачи данных обеспечивает практически полную помехозащищенность и высокую пропускную способность канала. Указанные факторы обусловливают следующие преимущества FPV-дронов, созданных с применением оптоволоконных технологий:
- невосприимчивость к воздействию средств РЭБ противника;
- высокое разрешение и четкость передаваемого изображения с бортовой камеры на всех этапах полета, что резко повышает точность наведения на цель;
- низкая вероятность обнаружения (из-за отсутствия радиосигнала трудно выявить факт применения и определить местонахождение оператора).

Вместе с тем применение оптоволоконных технологий при создании FPV-дронов имеет и ряд недостатков:
- дальность действия ограничена длиной оптоволоконного провода;
- уменьшение массы полезной нагрузки;
- повышение стоимости производства;
- снижение скорости и маневренности, повышенные требования к выбору маршрутов полета (избегание очагов пожаров, плотной городской застройки и т.д.) [5].

2 Типовые тактические сценарии боевого применения комплексов с FPV-дронами

В настоящее время комплексы с FPV-дронами в зависимости от складывающейся боевой обстановки применяются как самостоятельно, так и совместно с коммерческими образцами малоразмерных БПЛА квадрокоптерного типа, как правило, производства китайской компании «DJI» серии «Mavic 2», «Mavic 3», «Matrice 30T», «Phantom III».

Выбор того или иного тактического сценария применения FPV-дронов осуществляется с учетом:
- боевых возможностей БПЛА и его полезной нагрузки;
- типов объектов разведки или огневого поражения;

- физико-географических условий в районе выполнения специальной задачи;
- ожидаемого противодействия средств РЭБ и ПВО противника;
- летно-технических характеристик БПЛА.

В современном общевойсковом бою FPV-дроны активно применяются для решения как боевых (ударных), так и специальных задач.

Анализ работ [4; 6], а также видеоматериалов пресс-службы Минобороны России позволяет выделить следующие типовые тактические сценарии боевого применения комплексов с FPV-дронами.

При решении боевых (ударных) задач получили распространение следующие типовые тактические сценарии:

1) *Типовой тактический сценарий «Классический»* (совместное применение FPV-дрона и коммерческого образца БПЛА для поражения личного состава и образцов ВВСТ противника). Является самым распространенным типовым тактическим сценарием применения FPV-дронов, который заключается в обнаружении цели и ее идентификации с использованием коммерческого образца БПЛА-«разведчика» с последующим наведением FPV-дрона для ее уничтожения. Видеофиксация поражения цели при этом осуществляется БПЛА-«разведчиком».

2) *Типовой тактический сценарий «Свободная охота»*. Сценарий подразумевает самостоятельное нанесение одиночных или групповых ударов с применением FPV-дронов по заранее вскрытым или вновь разведанным в ходе полета более приоритетным целям.

3) *Типовой тактический сценарий «Групповой удар»*. Данный сценарий основан на обнаружении целей с использованием коммерческого образца БПЛА-«разведчика» с последующим групповым воздействием по ним FPV-дронами (обычно от 5 до 12 образцов). Как правило, групповые удары FPV-дронами сочетаются с огнем артиллерии или минометов. Видеофиксация поражения целей также осуществляется БПЛА-«разведчиком».

4) *Типовой тактический сценарий «Обеспечение атаки штурмовой группы»*. Сценарий подразумевает последовательную атаку FPV-дронами для обеспечения выдвижения и поддержки наступательных действий штурмовой группы. Реализация такой «ударной карусели» способна обеспечить непрерывное огневое воздействие, которое подавляет врага, не давая возможности вести огонь по наступающему штурмовому подразделению, и обеспечивает возможность атакующим сблизиться с обороняющимся противником. В дальнейшем в ходе штурма применение ударных FPV-дронов направляется на решение следующих основных задач:
- недопущение организованного занятия противником огневых позиций и восстановления системы огня и управления;
- доразведка и уничтожение неподавленных в ходе огневых налётов или вновь выявленных ключевых целей в обороне противника;
- изоляция отдельных инженерных оборонительных сооружений с последующим их уничтожением;
- нанесение ударов по резервам противника, выдвигающимся для проведения контратаки.

Контроль и координация совместных действий штурмовой группы и операторов FPV-дронов осуществляется с использованием коммерческого образца БПЛА-«разведчика» квадрокоптерного типа. Как правило, удары FPV-дронов сочетаются с огнем артиллерии и минометов.

5) *Типовой тактический сценарий «Засада»*. Сценарий основан на заблаговременном скрытном приземлении и занятии FPV-дроном позиции у мостов и дорог с интенсивным движением, в местах возможного скопления техники и личного состава с последующей внезапной атакой. Часто при этом используется коммерческий образец БПЛА квадрокоптерного типа (разведчик и/или ретранслятор). Время ожидания удара может составлять до 6 ч (у FPV-дрона включен только приемник канала управления). В ночное время атаки могут осуществляться по включенным фарам движущейся техники либо с использованием FPV-дронов, оснащенных тепловизором. Видеофиксация поражения целей осуществляется БПЛА квадрокоптерного типа (разведчиком и/или ретранслятором).

6) *Типовой тактический сценарий «Комбинированный удар»*. Сценарий заключается в совместном применении FPV-дронов и коммерческих образцов БПЛА квадрокоптерного типа, оснащенных системой сброса боеприпасов («бомбардировщиков»). После уничтожения (вывода из строя) бронетехники ударом FPV-дрона БПЛА-«бомбардировщики» осуществляют сбросы осколочно-фугасных боеприпасов на экипажи и десант противника в ходе его эвакуации.

7) *Типовой тактический сценарий «Двойной удар»*. Сценарий подразумевает последовательное использование для уничтожения противника, находящегося в зданиях (сооружениях), двух FPV-дронов: первого – с кумулятивным зарядом (для пробития стен) и второго, как правило, с боеприпасом термобарического или осколочно-фугасного действия (в целях нанесения огневого поражения личному составу, укрывшемуся внутри помещений).

8) Типовой тактический сценарий «Сброс». Сценарий подразумевает сброс боеприпасов с FPV-дрона для поражения личного состава, расположенного, как правило, на открытой местности или в легком укрытии. Наведение и видеофиксация поражения целей осуществляется коммерческим образцом БПЛА-«разведчиком».

9) *Типовой тактический сценарий «Поджог»*. Сущность сценария заключается в применении FPV-дронов, снаряженных огнесмесями, что позволяет создавать очаги пожаров с целью вывода из строя личного состава, техники, уничтожения складов с боеприпасами и материально-техническим имуществом противника. При этом высота распыления огнесмеси, как правило, составляет от 20 до 50 м.

10) *Типовой тактический сценарий «Диверсант»*. Данный сценарий применяется диверсионно-разведывательными группами с целью уничтожения (вывода из строя) военной техники на стоянках и стационарных объектах противника. Операторы заблаговременно скрытно устанавливают ударные FPV-дроны одноразового применения (от 4 до 6 образцов) вблизи объекта атаки на удалении до 2-3 км и переводят их в режим «ожидания». В последующем дистанционно по сигналу управления FPV-дроны приводятся в действие и наносят удары по целям в соответствии с заранее загруженными координатами.

При решении специальных задач получили распространение следующие типовые тактические сценарии:

1) *Типовой тактический сценарий «Дистанционное минирование»*. Сценарий заключается в скрытой установке с применением FPV-дронов мин и самодельных взрывных устройств вблизи позиций, на вероятных маршрутах следования или отхода (эвакуации) в целях уничтожения живой силы и техники противника.

2) *Типовой тактический сценарий «Дистанционное разминирование»*. Сущность сценария заключается в разминировании взрывным способом ключевого участка местности (обычно дорог или троп) методом сброса боеприпасов на уложенные на грунт и незамаскированные мины.

3) *Типовой тактический сценарий «Истребитель БПЛА противника»*. Сценарий основан на применении FPV-дронов для уничтожения в полете низкоскоростных БПЛА различных типов. После обнаружения образцов БПЛА противника визуально или с применением радиотехнических средств осуществляется запуск FPV-дронов для их перехвата и уничтожения. Вывод из строя образцов БПЛА противника выполняется за счет подрыва осколочного заряда FPV-дронов при сближении или в результате тарана.

4) *Типовой тактический сценарий «Матка»*. Сценарий подразумевает использование тяжелых грузоподъемных БПЛА-«маток», как правило, мультикоптерного типа (так называемых «Баба-Яга»), для увеличения радиуса действия и доставки FPV-дронов в удаленные районы их боевого применения. При этом «матка» обычно реализует также функции ретранслятора сигналов управления и передачи данных. На БПЛА-«матке» могут размещаться до 2-3 образцов FPV-дронов. При таком подходе дальность их применения может быть увеличена до 60-70 км.

5) *Типовой тактический сценарий «Корректировка огня артиллерии»*. В настоящее время для автоматизации процессов корректировки огня с применением FPV-дронов

разработаны соответствующие программно-аппаратные комплексы, обеспечивающие сопряжение аппаратуры (планшетов) операторов расчетов БПЛА и руководителей стрельбы артиллерии (старший офицер на батарее) (рисунок 3).

Включение расчетов FPV-дронов в систему таких замкнутых разведывательно-ударных (огневых) контуров позволяет максимально ускорить передачу необходимой информации (разведданных и команд управления) и дополнительно обеспечить:

- максимальное сокращение времени на обработку и передачу данных об обнаруженных объектах огневого поражения;
- селекцию объектов огневого поражения по комплексному критерию, включающему показатели: важность/опасность/удаленность;
- обоснованный выбор наиболее эффективных средств для нанесения огневого поражения по выявленным объектам.

При этом передача (распространение) информации от расчетов FPV-дронов об обнаруженных объектах организуется не только в адрес старшего начальника (лица, принимающего решение) и командира средств огневого поражения, но и всем заинтересованным командирам взаимодействующих элементов боевого порядка (оперативного построения) с целью повышения их ситуационной осведомленности в масштабе времени, близком к реальному.

6) *Типовой тактический сценарий «Агитация»*. Сущность сценария заключается в применении FPV-дронов, оснащенных соответствующим целевым оборудованием, для трансляции звуковых сообщений с призывами сдачи в плен и/или разбрасывания соответствующих агитационных листовок.

Рисунок 3 – Схема программно-аппаратного комплекса
корректировки артиллерийского огня с применением FPV-дронов

Выводы

Вышеизложенное позволяет сформулировать следующие выводы.

1. Первоначально FPV-дроны получили широкое распространение в гражданской сфере (картография, мониторинг состояния дорог и инженерных коммуникаций, изучение животного мира и лесных угодий и др.). Высокая эффективность боевого применения FPV-дронов по критерию «стоимость-наносимый противнику урон», простота сборки, транспортировки и эксплуатации, а также возможность проведения ремонта в полевых условиях обусловили их массовое использование в современном общевойсковом бою.

2. Постоянное наращивание возможностей FPV-систем и технологическое совершенствование их составных элементов привели к значительному увеличению номенклатуры решаемых ими задач и, как следствие, расширению перечня тактических сценариев их применения.

3. Анализ передового опыта применения FPV-дронов в ходе современных боевых действий является крайне актуальной задачей военной теории, решение которой позволит выработать оптимальную организационно-штатную структуру и повысить эффективность боевой работы подразделений, оснащенных БПЛА рассматриваемого типа.

Список источников

1. Ермолов И.Л., Хрипунов С.П. Анализ направлений развития беспилотных летательных аппаратов военного назначения // Успехи современной радиоэлектроники. 2024. Т.78. №5. С. 8-14.

2. Самойленко В.В., Гартунг А.Д. Анализ боеприпасов, используемых российскими FPV-дронами // Динамика развития системы военного образования: сб. трудов VII Междунар. науч.-практ. конф. (Омск, 14 марта 2025). Омск: ОГТУ, 2025. С. 1145-1152.

3. Матарас А.А., Гуляев И.Ю. Анализ применения FPV дронов в ходе боевых действий 2014-2023 гг. // Актуальные вопросы повышения эффективной огневой подготовки в силовых структурах: теория и практика (III Макаровские чтения): сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. (Пермь, 23 мая 2023). Т.3. Пермь: ПВИВНГ РФ, 2023. С. 135-141.

4. Калюжный А.Ф., Третьяков Ю.А., Курочкин Г.А. FPV системы и их применение в ходе боевых действий // Военный инженер. 2024. №1(31). С. 69-75.

5. Полковников В.П., Прохоренко К.Д., Ефанов Г.Д., Клепиковский А.А. Оптоволоконные технологии в противовес средствам радиоэлектронной борьбы противника // Флагман науки. 2024. №12(23). С. 405-410.

6. Карпусь Д.В., Будкеев Е.П. Приемы применения беспилотных летательных аппаратов общевойсковыми подразделениями // Актуальные вопросы служебно-боевой деятельности войск национальной гвардии в обеспечении государственной безопасности Российской Федерации: сб. науч. статей III Межвед. науч.-практ. конф. (Новосибирск, 24 апреля 2024). Новосибирск: НВИВНГ РФ, 2024. С. 91-97.

Информация об авторах

В.Л. Гладышевский – доктор экономических наук, доцент.
Е.А. Антохин – SPIN код автора 1459-3362.
А.С. Губар – ORCID-идентификатор автора 0009-0000-9375-006X.

Научная статья
УДК 355/359

Метод прогнозирования среднерыночной стоимости разрабатываемого образца вооружения, военной и специальной техники на примере комплекса противодронной защиты

Дмитрий Сергеевич Конради

Аннотация. Предложены метод прогнозирования стоимости разрабатываемого образца вооружения, военной и специальной техники, а также математическая модель и методика ее применения для расчета среднерыночной стоимости технически сложного устройства. Проведена их верификация и валидация на примере комплексов противодронной защиты. Установлены зависимости масс подсистем таких комплексов от их характеристик, энергопотребления подсистем от их масс и среднерыночной стоимости подсистем от их масс.

Ключевые слова: среднерыночная стоимость; образец вооружения; комплекс противодронной защиты

Для цитирования: Конради Д.С. Метод прогнозирования среднерыночной стоимости разрабатываемого образца вооружения, военной и специальной техники на примере комплекса противодронной защиты // Вооружение и экономика. 2025. №4(74). С. 37-47.

Original article

A Forecasting Method of Market Average Price for a Weapons, Military and Special Equipment Sample Under Development by the Example of an Anti-Drone Attacks System

Dmitrii S. Konradi

Abstract. A cost forecasting method of the weapons, military and special equipment under development and a mathematical model and its application methodology to calculate the average market price of technically complex device are proposed either. Their verification and validation are carried out by the example of anti-drone complexes. The dependences of subsystems masses of such complex on their characteristics, the energy consumption of subsystems on their masses and the average market price on their masses are established.

Keywords: average market price; weapons sample; anti-drone protection system

For citation: Konradi D.S. A Forecasting Method of Market Average Price for a Weapons, Military and Special Equipment Sample Under Development by the Example of an Anti-Drone Attacks System. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2025; 74(4): 37-47. (In Russ.).

Введение

В современных условиях массового использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) возможно их применение в том числе и для доставки взрывчатых веществ, а также в качестве средств поражения (FPV-дроны). Об этом свидетельствуют результаты вооруженных конфликтов последних лет [1; 2]. Одним из приоритетных объектов для атаки БПЛА при этом являются нефтеперерабатывающие заводы и хранилища горючесмазочных материалов, о чем многократно сообщалось в средствах массовой информации. Эффективных средств защиты от таких угроз указанные объекты не имеют, что обусловлено невозможностью закрепления за ними существующих объектовых систем противовоздушной обороны с обслуживающим персоналом, а также приобретения юридическими лицами в собственность такого оружия.

С учетом приведенных факторов китайские разработчики сформировали своего рода уникальное предложение: системы антидроновой защиты. Множество различных компаний через своих посредников[1] или непосредственно через электронные торговые площадки[2] выводят на рынок комплексы противодействия БПЛА, фактически не являющиеся оружием и включающие в свой состав подсистемы: обнаружения на различных физических принципах

[1] Red Tactical: официальный сайт компании. URL: https://red-tactical.ru/ (дата обращения 13.05.2025).

[2] Made-in-China.com: международная торговая платформа. URL: https://ru.made-in-china.com (дата обращения 17.01.2025).

© Конради Д.С., 2025

(радиолокационные станции (РЛС), лидары, оптико-электронные системы (ОЭС), радиотехническую разведку (РТР)); подавления на основе устройств радиоэлектронной борьбы (РЭБ); противодействия на основе мощных лазеров; наведения и удержания луча; питания и управления.

В результате анализа коммерческих предложений, сформированных различными торговыми представителями, установлено, что стоимость комплекса, предлагаемого в РФ, существенно выше, чем при его реализации на других рынках. Возможных причин при этом может быть несколько, однако целью данной работы является определение фактической среднерыночной стоимости указанных комплексов противодронной защиты, в частности и разработка инструмента оценивания стоимости разрабатываемых образцов вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) в целом. При этом задача исследования заключается в разработке такого метода, использование которого позволит прогнозировать среднерыночную стоимость разрабатываемого образца ВВСТ в зависимости от его технических характеристик.

Для решения указанной задачи целесообразно использовать имеющиеся результаты исследований в области ценообразования образцов ВВСТ. Так, в работах [3; 4] на примере боевых летательных аппаратов и танков обосновано предположение о том, что стоимость закупки образца ВВСТ пропорциональна его массе, являющейся базовым показателем для расчета себестоимости такой продукции. В работе [5] определена функция, описывающая зависимость стоимости закупки образца ВВСТ от его массы с учетом коэффициента военно-технического уровня (ВТУ), имеющая вид:

$$C = Am^{\alpha}, \tag{1}$$

где: C – стоимость закупки образца ВВСТ, млрд руб.; A – масштабирующий коэффициент; m – масса образа ВВСТ, т; α – коэффициент ВТУ.

В работах [6; 7] предложены подходы к определению ВТУ.

Следовательно, в основу метода прогнозирования среднерыночной стоимости разрабатываемого образца ВВСТ целесообразно заложить принцип зависимости стоимости изделия от его массы, которая, в свою очередь, должна быть функционально связана с его характеристиками. Для повышения точности расчетов определение стоимости образца ВВСТ необходимо проводить посредством сложения среднерыночных цен его основных составных частей, обладающих требуемыми характеристиками. То есть метод прогнозирования стоимости разрабатываемого образца ВВСТ заключается в ее определении путем оценивания стоимости входящих в его состав подсистем с учетом их характеристик.

Математическая модель определения среднерыночной стоимости разрабатываемого образца ВВСТ и методика ее применения

С целью реализации метода прогнозирования среднерыночной стоимости образца ВВСТ разработаны математическая модель и соответствующая методика, предназначенная для определения последовательности действий при выполнении расчетов по определению среднерыночной стоимости. В качестве исходных данных для расчетов используются:

- требуемые характеристики подсистем образца ВВСТ;
- функции зависимости масс подсистем образца ВВСТ от их характеристик $m(H)$, например, масса РЛС от дальности обнаружения цели или масса лазерного излучателя от его выходной мощности и т.п.;
- функции зависимости энергопотребления подсистем от их масс $G(m)$;
- функции зависимости среднерыночной стоимости подсистем от их масс $C(m)$.

В качестве допущений в модели приняты:

- в состав оцениваемого образца ВВСТ входят только подсистемы, имеющие определяющее значение в ценообразовании и придании образцу требуемых характеристик;
- работы по монтажу подсистем и сборке их в единый комплекс по стоимости равны сумме стоимости этих подсистем;
- стоимость программного обеспечения образца ВВСТ (если таковое предусмотрено) необходимо оценивать по ближайшим аналогам, ценообразование которых доступно для анализа.

Принятые в модели ограничения:
- значения стоимости подсистем образца ВВСТ в большей степени доступны в открытых интернет-ресурсах и могут существенно отличаться от выставляемых для представителей заказывающего органа;
- используемые в расчетах функции зависимости характеристик подсистем от их масс могут не обладать высокой степенью корреляции с выявленными в результате анализа данными, так как отсутствуют четкие требования по порядку их представления на аппаратуру коммерческого назначения.

Порядок проведения расчетов.

1. С учетом заданных характеристик образца ВВСТ по имеющимся функциям $m(H)$ проводится определение масс его подсистем $m_{\text{СЧ}}$, при которых возможно реализовать эти характеристики.

2. По установленным значениям масс подсистем $m_{\text{СЧ}}$ проводится определение их энергопотребления с использованием функций $G(m)$.

3. Пункты 1 и 2 настоящей методики повторяются для такого числа подсистем $N_{\text{СЧ}}$, которое входит в состав рассматриваемого образца ВВСТ $N_{\text{СЧ}_{max}}$ за исключением аккумуляторных батарей и генератора.

4. Определение суммарного энергопотребление всех подсистем образца ВВСТ по формуле:

$$G_{\text{К}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{СЧ}_{max}}} G_i(m_i), \quad (2)$$

где: $i = 1 \ldots N_{\text{СЧ}_{max}}$ – номер подсистемы в рассматриваемом образце ВВСТ, ед.

5. На основе полученного значения суммарного энергопотребления и заданных функций $m(H)$ проводится определение массы аккумуляторных батарей $m_{\text{АКБ}}$ и генератора $m_{\text{Г}}$, способных обеспечить функционирование рассматриваемого образца ВВСТ.

6. На основе полученных значений масс подсистем с использованием функций $C(m)$ проводится определение их среднерыночной стоимости.

7. Определение среднерыночной стоимости всего образца ВВСТ проводится по формуле:

$$C_{\text{К}} = 2\sum_{i=1}^{\text{N}_{\text{СЧ}_{\text{max}}}} C_i(m_i). \quad (3)$$

Удвоение суммарной среднерыночной стоимости обусловлено необходимостью монтажа подсистем в составе единой сборки. Такие работы условно в расчетах следует принять равными по стоимости монтируемым составным частям, что для комплексов противодронной защиты установлено в результате анализа интернет-ресурсов[3].

Также необходимо дополнительно учесть стоимость рабочего места оператора образца ВВСТ (при его наличии) и специально разработанного для его управления программного обеспечения. Однако привести какие-либо усредненные данные по этим составляющим не представляется возможным по причине отсутствия систематизированной информации в данной области. Для каждого конкретного образца ВВСТ оценивание необходимо проводить отдельно.

8. Определение общей массы образца ВВСТ по формуле:

$$m_{\text{К}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{СЧ}_{max}}} \sum m_i. \quad (4)$$

[3] Made-in-China.com … *Там же*; АО «ТРАНЗАС Консалтинг»: официальный сайт компании. URL: https://trancons.ru/ (дата обращения 17.01.2025); EFT GROUP: официальный сайт компании. URL: https://eftgroup.ru/ (дата обращения 16.01.2025); GEOOPTIC: интернет-магазин. URL: https://www.geooptic.ru/ (дата обращения 16.01.2025); UralSystemS: официальный сайт компании. URL: https://uralsystems.ru/ (дата обращения 17.03.2025); ООО «Детектор Системс» (Detector Systems): официальный сайт компании. URL: https://detsys.ru/ (дата обращения 14.03.2025); АО «ЛЛС»: официальный сайт компании. URL: https://lenlasers.ru/ (дата обращения 25.12.2024); K2 Laser: официальный сайт компании. URL: https://k2laser.ru/ (дата обращения 25.12.2024); ООО «Мировые Лазерные Системы» (МЛС): официальный сайт компании. URL: https://mlsgroup.ru/ (дата обращения 26.12.2024); ООО «Лазерные компоненты»: официальный сайт компании. URL: https://lasercomponents.ru/ (дата обращения 25.12.2024); KARNEEV SYSTEMS: официальный сайт компании. URL: https://www.karneev.com/ (дата обращения 22.01.2025); ООО «ТехЛазер»: официальный сайт компании. URL: https://techlazer.ru/ (дата обращения 21.01.2025); ООО «Спектр РС»: интернет-магазин. URL: https://delta-battery.ru/ (дата обращения 04.02.2025); GMG (Gulf Marketing Group): официальный сайт компании. URL: https://www.gmg.com/ (дата обращения 22.01.2025).

Дополнительно к определенному значению следует добавить среднюю для рассматриваемого образца ВВСТ массу рабочего места оператора при его наличии.

Порядок проведения расчетов в соответствии с разработанной методикой показан в виде блок-схемы алгоритма на рисунке 1.

С целью верификации разработанных математической модели и методики ее применения для определения среднерыночной стоимости разрабатываемого образца ВВСТ проведены тестовые расчеты на примере комплекса противодронной защиты.

В качестве исходных данных использованы установленные в результате анализа зависимости, в графическом виде показанные для: РЛС и лидара[4] – на рисунке 2, ОЭС различных поддиапазонов чувствительности[5] – на рисунке 3; подсистем РТР и РЭБ[6] – на рисунке 4; формирователей излучения различных поддиапазонов спектра[7] – на рисунке 5; ОПУ, аккумуляторных батарей и генераторов[8] – на рисунке 6. В виде математических зависимостей указанные данные приведены в таблице 1.

Также в расчетах использованы следующие исходные данные по требуемым характеристикам комплекса противодронной защиты: дальности обнаружения типовой цели: $L_{\text{РЛС}} = 4000$ м, $L_{\text{Л}} = 2500$ м, $L_{\text{ОЭС В}} = L_{\text{ОЭС Б}} = L_{\text{ОЭС С}} = L_{\text{ОЭС Д}} = 3000$ м; дальности противодействия типовой цели: $L_{\text{РТР}} = 4000$ м, $L_{\text{РЭБ}} = 4000$ м; значения интенсивности излучения на выходе формирователя: $\text{P}_{\text{В}} = 8000$ Вт, $\text{P}_{\text{Б}} = 12000$ Вт, $\text{P}_{\text{Д}} = 8000$ Вт; ошибка системы наведения $\sigma_{\text{нав}} = 0{,}01$ град.; время автономной работы от батареи $t_{\text{АР}} = 0{,}5$ ч; рабочее напряжение аккумуляторной батареи $U_{\text{АКБ}} = 24$ В; условно принята масса рабочего места оператора, представленного специализированным креслом и ЭВМ, равной 20 кг.

---

[4] Made-in-China.com … *Там же*; АО «ТРАНЗАС Консалтинг» … *Там же*; EFT GROUP … *Там же*; GEOOPTIC … *Там же*; Silentshot: интернет-магазин. URL: http://silentshot.ru/ (дата обращения 17.01.2025); ТЕХКЛЮЧИ.РФ: интернет-магазин. URL: https://техключи.рф/ (дата обращения 17.01.2025); ООО «РУСГЕОКОМ»: интернет-магазин. URL: https://www.rusgeocom.ru/ (дата обращения 16.01.2025); ФокусГео: интернет-магазин. URL: https://fgeo.ru/ (дата обращения 16.01.2025); ООО «Гео-Спектр»: официальный сайт компании. URL: https://geo-spektr.ru/ (дата обращения 16.01.2025); ООО «ГЕОПРИБОР»: интернет-магазин. URL: https://www.geokzn.ru/ (дата обращения 16.01.2025); ООО «ГЕОИМПУЛЬС»: интернет-магазин. URL: https://geoimpulse.ru/ (дата обращения 16.01.2025).

[5] Made-in-China.com … *Там же*; Лигафото: интернет-магазин. URL: https://ligafoto.ru/ (дата обращения 11.01.2025); G-PRO: интернет-магазин. URL: https://g-pro.ru/ (дата обращения 11.01.2025); Фотоспектр: интернет-магазин. URL: https://fotospektr.ru/ (дата обращения 11.01.2025); SaleBazar: интернет-магазин. URL: https://salebazar.ru/ (дата обращения 11.01.2025); ООО «НПК „Фотоника“»: официальный сайт компании. URL: https://www.npk-photonica.ru/ (дата обращения 11.01.2025); ООО «Опто Лаб» (ООО «Оптоинструмент»): официальный сайт компании. URL: https://opto-lab.ru/ (дата обращения 11.01.2025); АО «ИНВИТЕХ»: официальный сайт компании. URL: https://www.invitech-ir.ru/ (дата обращения 11.01.2025); ООО «Специальные Системы. Фотоника»: официальный сайт компании. URL: https://omtools-lab.ru/ (дата обращения 11.01.2025).

[6] Made-in-China.com … *Там же*; ООО «Детектор Системс» … *Там же*; АО «ЛЛС» … *Там же*; Дрон России: интернет-магазин. URL: https://drones-russia.ru/ (дата обращения 17.03.2025); MobiSmart.ru: интернет-магазин. URL: https://mobismart.ru/ (дата обращения 17.03.2025); Express GLW. Системы обнаружения и противодействия БПЛА: информационный портал. URL: https://www.protiv-drona.ru/ (дата обращения 17.03.2025); Военторг «Поставка РФ»: интернет-магазин. URL: https://военторгпоставка.рф/ (дата обращения 17.03.2025); Военторг «Экипировка Эксперт»: интернет-магазин. URL: https://ekipirovka.expert/ (дата обращения 14.03.2025); NetDronov.ru: интернет-магазинhttps://netdronov.ru/ (дата обращения 14.03.2025); Sky-Space: интернет-магазин. URL: https://sky-space.ru/ (дата обращения 14.03.2025); ВоенФорм: интернет-магазин. URL: https://voenform.ru/ (дата обращения 14.03.2025); Боевой резерв: интернет-магазин. URL: https://moskva.boevoyrezerv.com/ (дата обращения 14.03.2025).

[7] K2 Laser … *Там же*; ООО «Мировые Лазерные Системы» … *Там же*; ООО «Лазерные компоненты» … *Там же*; KARNEEV SYSTEMS … *Там же*; АО «Компонент»: официальный сайт компании. URL: https://componentltd.ru/ (дата обращения 24.12.2024); Jlaser.ru: интернет-магазин. URL: https://jlaser.ru/ (дата обращения 24.12.2024).

[8] Made-in-China.com … *Там же*; KARNEEV SYSTEMS … *Там же*; ООО «ТехЛазер» … *Там же*; ООО «Спектр РС» … *Там же*; GMG (Gulf Marketing Group) … *Там же*; ООО «РУСГЕОКОМ» … *Там же*; БИК-Информ: официальный сайт компании. URL: https://bic-inform.ru/ (дата обращения 20.01.2025); SpyCams: интернет-магазин. URL: https://spycams.ru/ (дата обращения 20.01.2025); ПЕРГАМ-Инжиниринг: официальный сайт компании. URL: https://www.pergam.ru/ (дата обращения 21.01.2025); БИК-Видео: официальный сайт компании. URL: https://www.bic-video.ru/ (дата обращения 21.01.2025); Энергоэлемент: интернет-магазин. URL: https://www.energo-e.ru/ (дата обращения 04.02.2025); THSpro: интернет-магазин. URL: https://thspro.ru/(дата обращения 03.02.2025); Юнгхайнрих: интернет-магазин. URL: https://jh-shop.ru/(дата обращения 03.02.2025); ГрандМоторс: официальный сайт компании. URL: https://grandmotors.ru/ (дата обращения 22.01.2025).

Приняты дополнительные допущения: в качестве лазера видимого поддиапазона спектра применяются волоконные источники излучения с коэффициентом преобразования 0,4; стоимость программного обеспечения комплекса условно принята равной 25 млн руб. А также ограничение: исходные данные для расчетов получены в результате анализа открытых печатных и интернет-ресурсов[9] и позволяют сделать приблизительный прогноз рыночной стоимости комплекса в рублях при валютном курсе 1 долл. ≈ 100 руб.

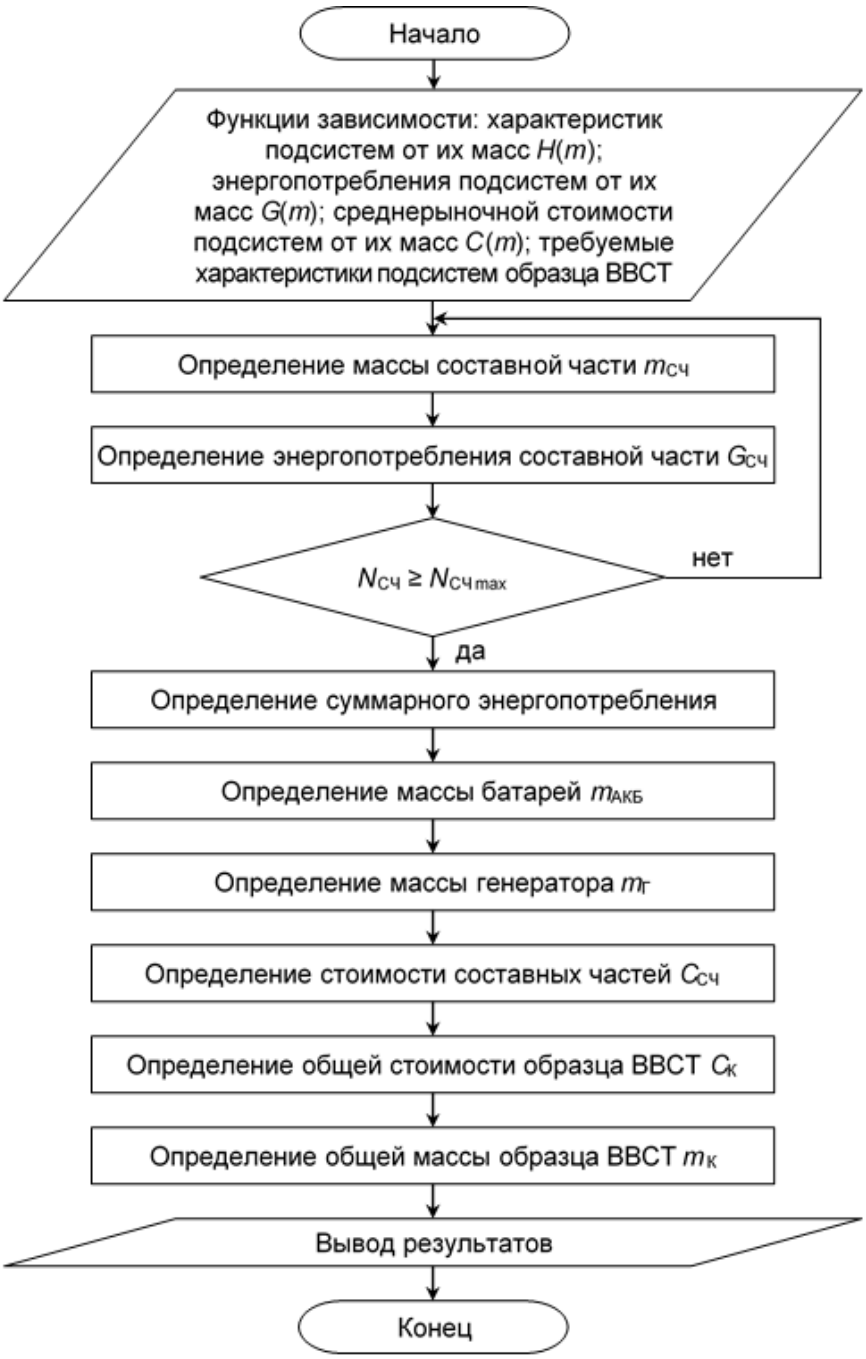


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма вычислений

[9] Все ранее перечисленные в статье интернет-ресурсы.

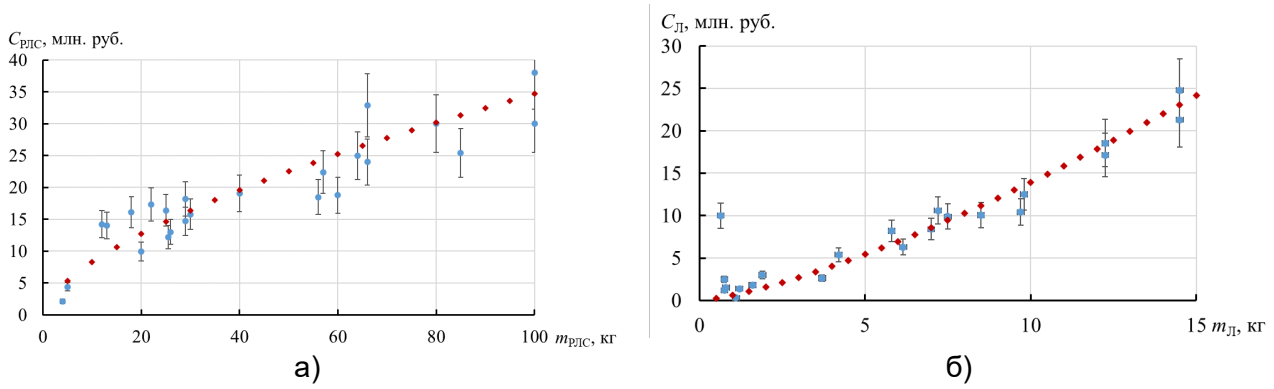


Рисунок 2 – Графики зависимости стоимости
от массы: а) РЛС, б) лидара

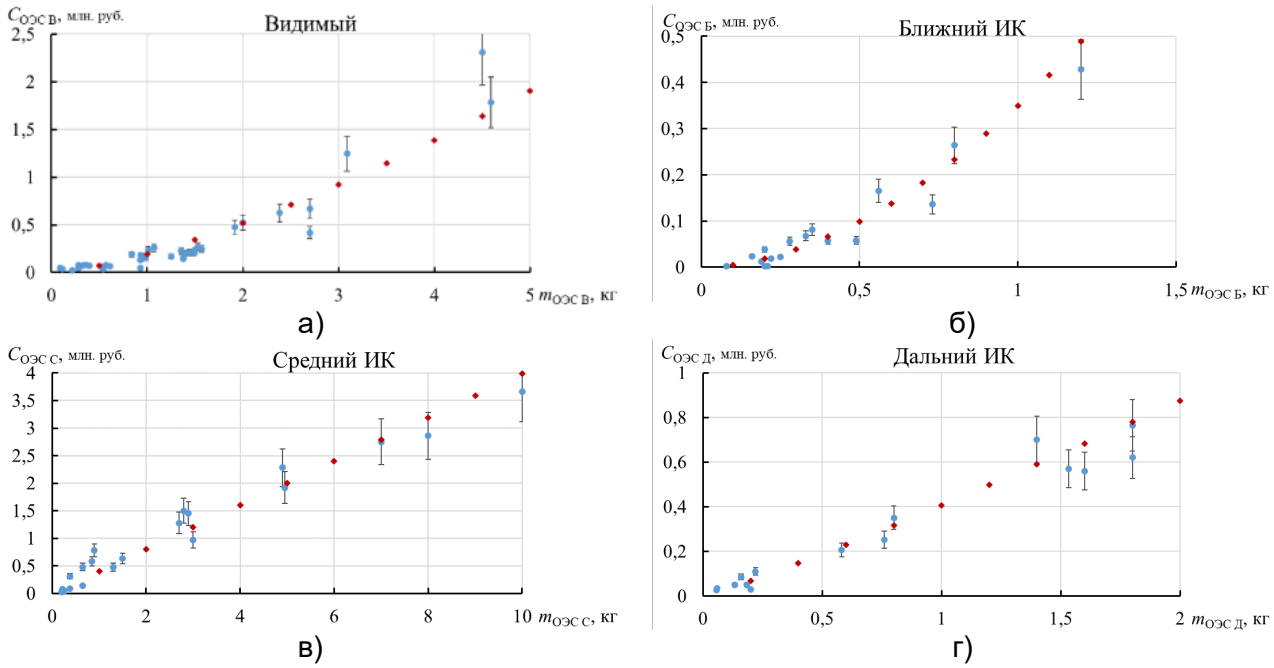


Рисунок 3 – Графики зависимости стоимости ОЭС от массы для:
а) видимого, б) ближнего ИК, в) среднего ИК, д) дальнего ИК поддиапазонов спектра

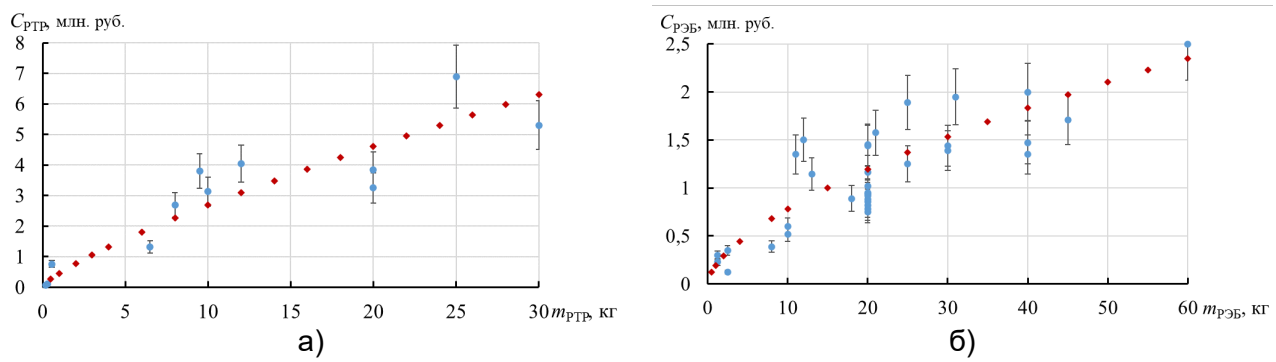


Рисунок 4 – Графики зависимости стоимости радиотехнических средств
от их массы: а) РТР, б) РЭБ

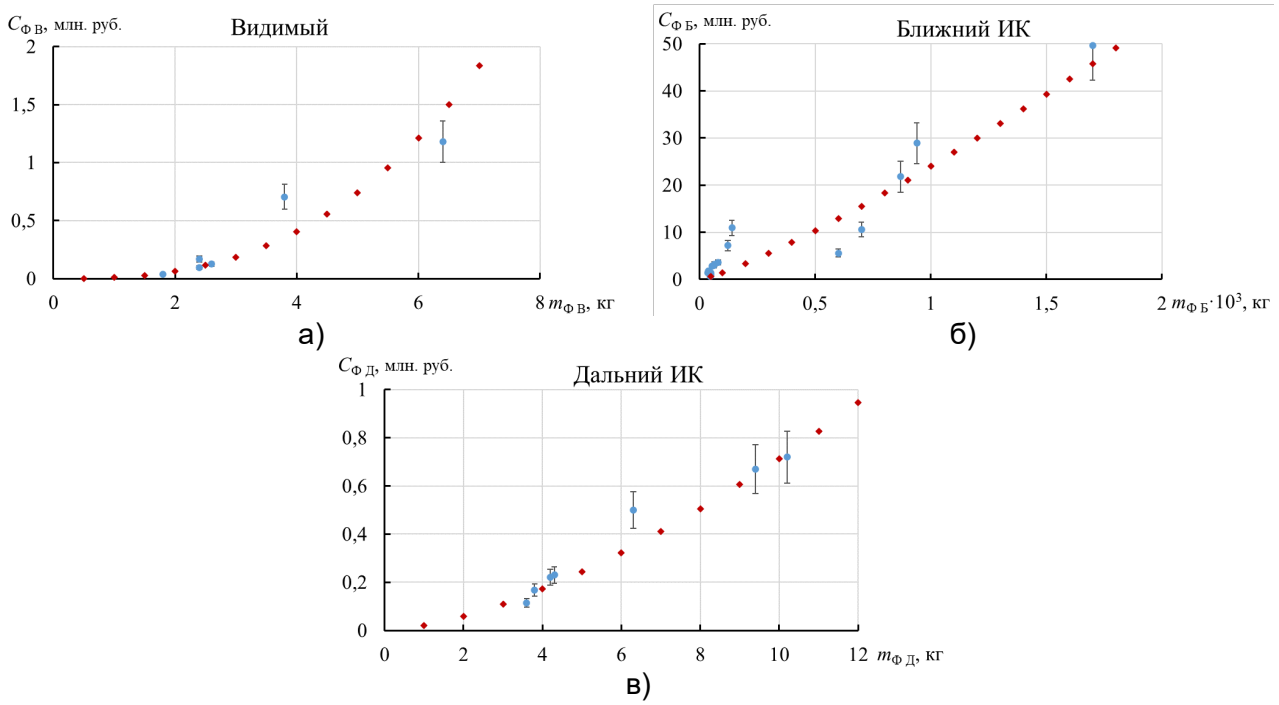


Рисунок 5 – Графики зависимости стоимости формирователя излучения от его массы для: а) видимого, б) ближнего ИК, в) дальнего ИК поддиапазонов спектра

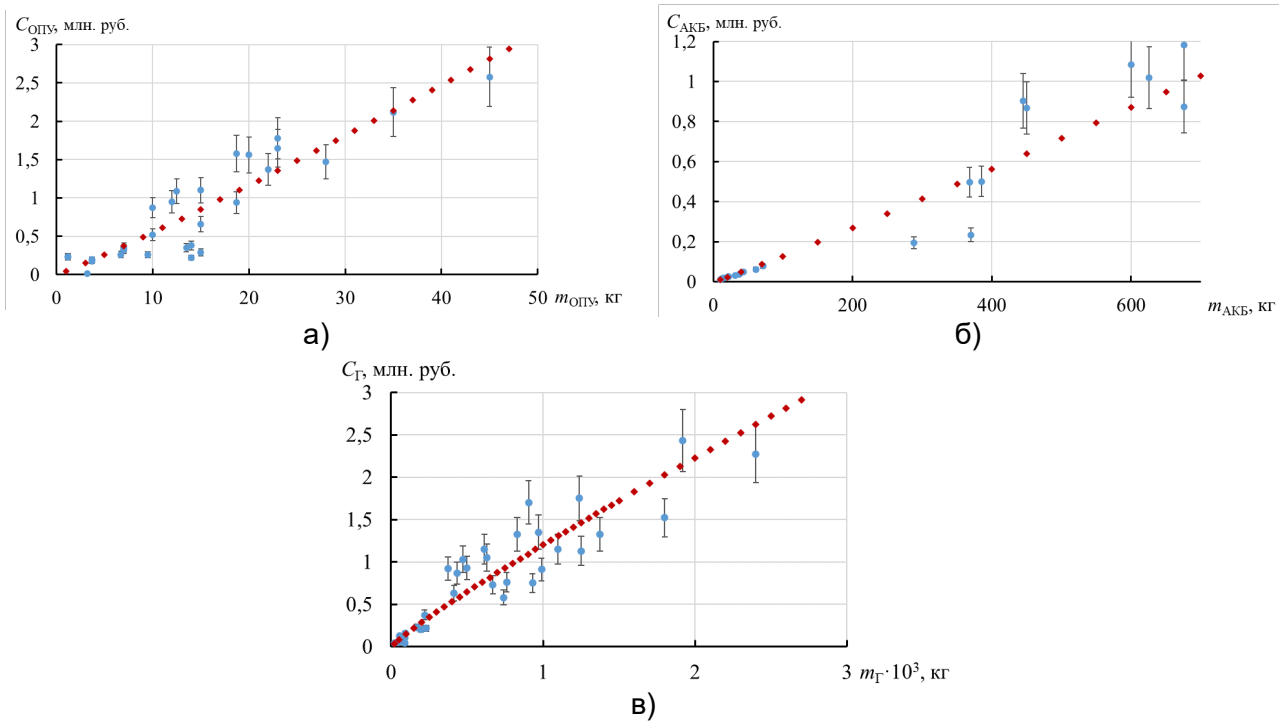


Рисунок 6 – Графики зависимости стоимости обеспечивающих функционирование комплекса систем от их массы: а) ОПУ, б) аккумуляторных батарей, в) генератора

Таблица 1 – Функции зависимости стоимости составных частей от их массы

№ п/п	Функция зависимости стоимости подсистемы комплекса в млн руб. относительно ее массы в кг	Коэффициент корреляции χ^2
1	$C_{\text{РЛС}} = 1{,}96 m_{\text{РЛС}}^{0{,}624}$	0,78
2	$C_{\text{Л}} = 0{,}612 m_{\text{Л}}^{1{,}358}$	0,92
3	$\text{C}_{\text{ОЭС В}} = 0{,}192 m_{\text{ОЭС В}}^{1{,}426}$	0,94
4	$\text{C}_{\text{ОЭС Б}} = 0{,}35 m_{\text{ОЭС Б}}^{1{,}825}$	0,93
5	$\text{C}_{\text{ОЭС С}} = 0{,}403 m_{\text{ОЭС С}}^{0{,}995}$	0,95
6	$\text{C}_{\text{ОЭС Д}} = 0{,}406 m_{\text{ОЭС Д}}^{1{,}109}$	0,9
7	$\text{C}_{\text{РТР}} = 0{,}453 m_{\text{РТР}}^{0{,}768}$	0,82
8	$\text{C}_{\text{РЭБ}} = 0{,}189 m_{\text{РЭБ}}^{0{,}551}$	0,73
9	$\text{C}_{\text{Ф В}} = 7 \cdot 10^{-3} m_{\text{Ф В}}^{1{,}178}$	0,87
10	$\text{C}_{\text{Ф Б}} = 7 \cdot 10^{-3} m_{\text{Ф Б}}^{1{,}178}$	0,93
11	$\text{C}_{\text{Ф Д}} = 9{,}6 \cdot 10^{-3} m_{\text{Ф Д}} + 0{,}447$	0,85
12	$\text{C}_{\text{ОПУ}} = 0{,}045 m_{\text{ОПУ}}^{1{,}086}$	0,82
13	$\text{C}_{\text{АКБ}} = 9 \cdot 10^{-4} m_{\text{АКБ}}^{1{,}075}$	0,91
14	$\text{C}_{\text{Г}} = 1{,}2 \cdot 10^{-3} m_{\text{Г}}^{0{,}987}$	0,85

Верификация и валидация разработанных математической модели и методики ее применения

В результате расчетов стоимость комплекса определена равной $242{,}5$ млн руб. при общей его массе 6244 кг. Под верификацией математической модели понимается ее проверка на корректность по трем параметрам[10]. В данном случае задача поставлена корректно, так как она имеет единственное устойчивое решение при указанных исходных данных. Полученный количественный результат корректен, так как не отрицателен и соответствует действительному порядку стоимости аналогичного оборудования. Размерность получаемых результатов соответствует определяемым величинам. Следовательно, разработанные математическая модель и соответствующая методика определения среднерыночной стоимости разрабатываемого образца ВВСТ корректны.

С целью проверки математической модели на адекватность моделируемому объекту, то есть валидации, использованы данные по трем различным комплексам противодронной защиты, имеющимся в свободной продаже. Два из них (рисунок 7) выполнены на различных автомобильных платформах и реализуются на рынке Китая [4]: рисунок 7,а – на базе военного автомобиля, рисунок 7,б – на базе гражданского среднетоннажного грузовика. Третий производится также в КНР, но через дилеров предлагается к продаже в России [3], реализован в виде отдельной комплексной платформы (рисунок 8), которую возможно устанавливать как на стационарный объект, так и на различные виды транспорта.

С целью проведения валидации необходимо для комплексов, реализуемых на рынке Китая, исключить из расчетов стоимость автомобилей, на базе которых размещены противодронные системы (рисунок 9). Стоимость бронеавтомобиля Dongfeng F550 (рисунок 9,а) и фургона Sinotruk Howo (рисунок 9,б) составляет 13 млн и $2{,}5$ млн руб. соответственно по валютному курсу на момент проведения анализа (1 долл. ≈ 100 руб.). При расчетах, проведенных с использованием разработанной математической модели, получены следующие результаты, приведенные в таблице 2.

[10] ГОСТ Р 57188-2016. Численное моделирование физических процессов. Термины и определения. Введ. 2017-05-01. М.: Стандартинформ, 2017. 18 с.

а) б)

Рисунок 7 – Внешний вид комплексов противодронной защиты, предлагаемых на рынке Китая:
а) на базе военного бронированного автомобиля, б) на платформе среднетоннажного грузовика

Рисунок 8 – Внешний вид комплекса противодронной защиты «Звездочёт-Л»,
предлагаемого на рынке России

а) б)

Рисунок 9 – Внешний вид автомобилей, на базе которых размещены
комплексы противодронной защиты, предлагаемые на рынке Китая:
а) бронеавтомобиль Dongfeng F550, б) фургон Sinotruk Howo грузоподъемностью до 10 т

Таблица 2 – Результаты расчетов стоимости и массы комплексов противодронной защиты

№ п/п	Стоимость комплекса без носителя, млн руб.	Масса комплекса без носителя, кг	Расчетные значения массы комплекса, кг	Расчетные значения стоимости, млн руб.	Погрешность определения массы, %	Погрешность определения стоимости, %
1	287	~ 1000	1045	132,2	+ 4,5	– 54
2	147,5	~ 1700	1566	147,2	– 7,9	– 0,02
3	560	2500	2750	185,5	+ 10	– 67

Из анализа данных таблицы 2 следует, что для первого комплекса (рисунок 7,а) высокая погрешность в расчетном определении его среднерыночной стоимости обусловлена военным исполнением, то есть соответствующим классом вибростойкости и пылевлагозащиты, что привело к существенному удорожанию всех подсистем. Для второго (рисунок 7,б) наблюдается практически полное совпадение действительной рыночной стоимости и расчетной, что в данном случае обусловлено точно представленными разработчиком значениями технических характеристик, а также гражданским исполнением всего комплекса в целом. Для третьего (рисунок 8) погрешность обусловлена в большей степени коммерческой наценкой, связанной с доставкой комплекса на территорию РФ, а также действующими ограничениями в области торгово-экономической деятельности России. Погрешности в определении массы всех рассматриваемых комплексов не превышают 10% и обусловлены в основном невозможностью учета массы монтажных приспособлений, используемых в конструкции. Следовательно, разработанная математическая модель и методика ее применения позволяют адекватно оценивать массу образцов ВВСТ и их среднерыночную стоимость. Однако, для более полной валидации и повышения точности моделирования необходимо проведение дополнительных расчетов и уточнение используемых при этом зависимостей.

Заключение

Таком образом, в ходе исследований получены следующие результаты:

- разработан метод прогнозирования среднерыночной стоимости разрабатываемого образца ВВСТ, заключающийся в ее определении путем оценивания стоимости входящих в его состав подсистем с учетом их характеристик;
- разработаны математическая модель определения среднерыночной стоимости образца ВВСТ и методика ее применения, проведена их верификация и валидация на примере разрабатываемых комплексов противодронной защиты;
- установлены зависимости масс подсистем комплексов противодронной защиты от их характеристик $m(H)$, энергопотребления подсистем от их масс $G(m)$ и среднерыночной стоимости этих подсистем от их масс $C(m)$, что в дальнейшем может быть использовано при разработке других математических моделей и при оценивании стоимости образцов ВВСТ.

Полученные результаты позволяют:

- проводить предварительное оценивание массогабаритных характеристик образцов ВВСТ и прогнозировать возможные условия их размещения и применения;
- оценивать возможные затраты на закупку одного или нескольких образцов ВВСТ, обладающих требуемыми характеристиками, и прогнозировать расходы на их приобретение для принятия на вооружение;
- оценивать имеющиеся на рынке коммерческие предложения.

Список источников

1. Лысов А.В. Борьба с малыми коммерческими беспилотными летательными аппаратами в ходе Специальной военной операции на Украине: промежуточные итоги 2022-2023 года. СПб.: Медиапапир, 2023. 802 с.
2. Дятчин В.А., Стародубцев И.В. Влияние беспилотных летательных аппаратов на способы действий общевойсковых подразделений // Армейский сборник. 2024. №5. С. 26-31.
3. Гальченко А.В., Тегин В.А. Долгосрочный прогноз стоимости боевых летательных аппаратов и численности ВВС стран мира // Вооружение и экономика. 2012. №3(19). С. 73-84.
4. Гальченко А.В., Тегин В.А. Долгосрочный прогноз стоимости танков и численности боевого состава бронесил стран мира // Вооружение и экономика. 2013. №1(22). С. 71-86.
5. Нестеров А.А. Об оценке стоимости образца вооружения и военной техники с учетом коэффициента военно-технического уровня // Вооружение и экономика. 2017. №3(40). С. 98-104.
6. Федотов А.В., Иванов П.С. Методика оценки технического уровня военных приборов по их основным тактико-техническим характеристикам // Известия ТулГУ. Технические науки. 2016. №7-2. С. 115-120.
7. Афанасьев А.С., Желтухин П.С., Монин С.А., Нестеров А.А. Метод управления номенклатурой ВВТ // Компетентность. 2024. №8. С. 22-27.

Информация об авторе

Д.С. Конради – кандидат технических наук, SPIN код автора 5018-2178.

Научная статья
УДК 623.61

Опыт работы военной приемки по увеличению поставок и обеспечению надежности средств связи в 1944-1945 годах

Виктор Владимирович Изонов, Владимир Николаевич Шептура

Аннотация. В статье рассматриваются основные направления деятельности аппарата военной приемки Главного управления связи Красной армии на заводах по повышению качества изделий и поиска действенных мер по наращиванию производства продукции для обеспечения действующей армии надежными средствами связи в заключительном периоде Великой Отечественной войны (1941-1945 гг.).

Ключевые слова: средства связи; военная приемка; Главное управление связи Красной армии; Народный комиссариат электропромышленности СССР

Для цитирования: Изонов В.В., Шептура В.Н. Опыт работы военной приемки по увеличению поставок и обеспечению надежности средств связи в 1944-1945 годах // Вооружение и экономика. 2025. №4(74). С. 48-53.

Original article

Experience of the Military Acceptance in Supplies Increase and Communications Equipment Reliability Promotion in 1944-1945

Viktor V. Izonov, Vladimir N. Sheptura

Abstract. The article examines the main activities of the military acceptance department of the Main Directorate of Communications of the Red Army at the enterprises on the products quality improvement and effective measures searching to production capability increase in order to provide the active army with reliable means of communication in the final period of the Great Patriotic War (1941-1945).

Keywords: communication means; military acceptance; Main Directorate of Communications of the Red Army; People's Commissariat of the USSR for Electrical Industry

For citation: Izonov V.V., Sheptura V.N. Experience of the Military Acceptance in Supplies Increase and Communications Equipment Reliability Promotion in 1944-1945. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2025; 74(4): 48-53. (In Russ.).

В годы Великой Отечественной войны вопросы обеспечения действующей армии средствами связи являлись наиболее важными в деятельности Главного управления связи Красной армии (ГУСКА). Это обусловливалось большими безвозвратными потерями имущества связи, недостаточной мобилизационной готовностью «слаботочной электропромышленности» и нерациональным размещением ее производственных мощностей на территории страны. Основная часть предприятий, производивших технику военной связи, была эвакуирована в восточные районы СССР. Однако к 1943 году советская военная промышленность восстановила производство продукции на полную мощность [1, с. 233]. Так, план выпуска продукции связи Народным комиссариатом электропромышленности (НКЭП) в 4 квартале 1943 года в целом был выполнен. Вместе с тем на ряде предприятий плановые производственные показатели остались неисполненными. Так, план поставок изделий на заводах: №590 – был выполнен на 55% по радиостанциям РБ-М и на 79% по приемникам УС-3С; №695 – на 39% по радиостанциям «Прима» [2, с. 370, 426, 427]; №208 – на 36% по радиоузлам РУК-5[1]. Основными причинами такого положения дел являлись: слабое оснащение предприятий оборудованием; снижение контроля за качеством продукции; недостаточная квалификация инженерного и технического состава; срыв поставок комплектующих изделий; недостаток сырья и материалов и др.

Несмотря на трудности, связанные с налаживанием производства в условиях войны, ГУСКА обеспечивало снабжением войск средствами связи, осуществляло оперативное руководство военной приемкой на заводах и вырабатывало действенные меры по наращиванию

[1] Центральный архив Минобороны России (ЦАМО РФ). Ф.71. Оп.12173. Д.709. Л. 2.

© Изонов В.В., Шептура В.Н., 2025

производства продукции. Значительное количество средств связи, выпущенных в годы войны, было изготовлено с применением суррогатных материалов. Поэтому ГУСКА вопросам повышения качества и снижения брака продукции уделяло первостепенное значение [3].

Необходимо отметить, что за время войны поставки средств связи в действующую армию выросли в 3 раза, количество заводов и предприятий, поставляющих имущество связи, увеличилось до 188 единиц, однако штат военпредов оставался без изменений – 112 человек (военнослужащих – 87, вольнонаемных – 25)[2]. Сложный процесс восстановления функционирования заводов НКЭП и необходимость наращивания промышленного производства средств связи создавали «серьезные затруднения в работе военпредов по наблюдению за выполнением заданий, по выявлению действительных причин невыполнения планов, по борьбе за качество выпускаемой заводами продукции»[3].

Весомый вклад в снабжение войск имуществом связи внес аппарат военной приемки ГУСКА на завершающем периоде войны. Так, в результате выполнения комплекса организационно-технических мер выполнение промышленностью плана поставок основных средств связи за первую половину 1944 года удалось приблизить к 100% почти по всем позициям[4].

Вместе с тем анализ поставок средств связи в действующую армию за 4 месяца 1944 года и результаты изучения номенклатуры и качества поставляемой промышленностью продукции, проведенные офицерами 3-го управления ГУСКА, показали, что выполнение плана зачастую являлось формальным и не соответствующим фактической действительности.

Эта проблема была поднята на сборе военных представителей ГУСКА, проведенном в июле 1944 года, где отмечалось: «План поставок может считаться выполненным лишь при обязательном условии, что он выполнен не только количественно, но и в номенклатуре»[5].

Результаты выполнения плана поставок средств связи заводами НКЭП за 4 месяца 1944 года представлены в таблице 1[6].

Анализ данных таблицы показал, что в 1 квартале 1944 года не выполнили план поставок продукции четыре завода и один институт НКЭП, а также один завод Народного комиссариата местной промышленности (НКМП) Азербайджанской ССР. Основными причинами невыполнения плана поставок являлись:

- завод №208 НКЭП: по поставке радиостанций РАТ – несвоевременное получение приемников типа КВ-Э от завода №193 НКЭП и генераторов типа Ц-20 от завода №658 НКЭП; по поставке радиоузлов РУК-5 – несвоевременное получение приемников типа УС-3С от завода №590 НКЭП и поздний запуск в производство деталей радиоузла;
- завод №641 НКЭП: по поставке радиостанций РБ – несвоевременная поставка заводом №590 НКЭП сопротивлений, потенциометров и конденсаторов;
- завод №327 НКЭП: по поставке выделенных приемников ШАР-КВ-1 – завод самовольно уменьшил ГУСКА количество выделенных приемников, подлежащих поставке в 1 квартале 1944 г. на 2 шт.;
- завод №619 НКЭП: по поставке выделенных приемников ЛП-1 – отсутствие аккумуляторов;
- завод №1 НКМП Азербайджанской ССР: по поставке радиостанций РБС – неудовлетворительная работа завода;
- институт НИИ-20 НКЭП: по поставке радиостанций «Прима» – безответственное отношение к выпуску радиостанций со стороны 2-го Главного управления НКЭП[7].

На сборе отмечалось, что «...план поставок может считаться выполненным только при обязательном условии, что качество принятой продукции полностью соответствует всем требованиям технических условий. Однако качество изготовления массовых радиостанций, поставляемых в ГУСКА по-прежнему остается на очень низком уровне. Особенно нетерпимое создалось положение с качеством продукции заводов №№616 и 326 НКЭП.

[2] Центральный архив Минобороны России (ЦАМО РФ). Ф.71. Оп.12173. Д.709. Л. 72.
[3] *Там же*. Оп.12188. Д.51. Л. 98, 99.
[4] *Там же*. Л. 243.
[5] *Там же*.
[6] *Там же*. Л. 244-251.
[7] *Там же*. Л. 244, 245.

Анализ причин брака поступающей продукции на военный склад НКО[8] №133 указывает на низкий контроль принимаемой продукции, безответственное отношение контрольно-приемного аппарата к своим прямым обязанностям»[9].

Например, от завода №326 НКЭП 18 мая 1944 г. на военный склад НКО №133 поступило 204 радиостанции типа 12-РП. При проверке первой партии в количестве 40 штук оказалось 30 совершенно неисправных. Радиостанции были забракованы потому, что в упаковках питания все монтажные провода не имели предварительного механического крепления, пайка была выполнена неудовлетворительно, в результате чего монтажные провода отскочили. Радиостанции возвращены заводу для переделки.

Также возвращена заводу №616 НКЭП партия бракованных радиостанций А-7-А. В период с 1 января по 6 мая 1944 гг. специалистами военного склада НКО №133 проверено 1167 радиостанций А-7-А, из которых забраковано – 311, что составляет 26%. Из партии 292 радиостанций, поступивших 24 апреля 1944 г., забраковано 126 штук, что составляет 43%. Анализ брака показал, что радиостанции А-7-А без основательной заводской переделки в действующую армию направлять нельзя. Основными дефектами этих радиостанций являлись: плохое крепление сеточных колпачков; ненадежно закреплены керамические основания статорных пластин к корпусу блока конденсаторов переменной емкости; расхождение градуировки приемопередатчика в результате остаточной деформации статорных пластин конденсаторного блока[10].

Кроме того, 20 апреля 1944 г. из завода №197 НКЭП на военный склад НКО №133 поступили две радиостанции ПАР. Указанные станции нельзя было отправить в действующую армию, так как ни один из двигателей, установленных на радиостанции, не был исправным.

Таблица 1 – Результаты выполнения плана поставок средств связи заводами НКЭП (за 4 мес. 1944 г.)

Завод	Продукция	Выполнение плана поставок продукции, %				
		январь	февраль	март	1-й кв.	апрель
№208	Радиостанция РАТ	100	67	75	88	67
	Радиоузел РУК-5	20	80	7	31	0
№197	Радиостанция РАФ-КВ-3	100	100	100	100	100
	Радиостанция ПАР	175	100	–	100	–
	Радиостанция РСБ-Ф	100	115	113	105	101
№641	Радиостанция РБ	0	136	83	76	100
№590	Радиостанция РБ-М	56	136	100	100	92
	Приемник УС-3С	0	208	114	100	100
№326	Радиостанция 12-РП	100	–	–	185	167
№729	Радиостанция 12-РП	38	171	ПО	103	100
№528	Радиостанция 13-Р	101	100	103	100	102
	Радиостанция А-7-А	100	100	127	100	102
	Приемник «Урал»	–	–	100	100	–
№616	Радиостанция 13-Р	105	–	–	113	–
	Радиостанция А-7	–	560	–	469	240
№564	Радиостанция А-7	66	144	141	114	170
№1 НКМП Аз.ССР	Радиостанция РБС	Поставлено ГУСКА 60 радиостанций				
НИИ-20	Радиостанция «Прима»	План поставок сорван. 2-е ГУ НКЭП, сняв с производства радиостанцию «Прима» на заводе №695 НКЭП, передало ее НИИ-20 НКЭП без предварительной подготовки производства				
№327	Приемник ШАР-КВ-1	–	–	86	86	–
№619	Приемник ЛП-1	–	–	0	0	0

[8] Народный комиссариат обороны СССР (НКО).
[9] Центральный архив Минобороны России (ЦАМО РФ). Ф.71. Оп.12188. Д.51. Л. 247.
[10] *Там же*. Л. 248.

Общий процент брака поступившей на военный склад продукции от заводов представлен в таблице 2[11].

Анализ данных таблицы 2 показывает, что заводом №208 в феврале-апреле 1944 г. на военный склад НКО №133 было отгружено 100% ненадежной техники связи (причем ежемесячно поставлялось по одной радиостанции РАТ).

В условиях острого дефицита имущества связи в действующей армии данные факты были недопустимы. Поэтому на сборе было отмечено, что «...поставка продукции, не удовлетворяющей по качеству требованиям технических условий, в лучшем случае равносильна значительному снижению количественного выполнения плана. В большинстве же случаев она является прямым обманом Правительства и Армии, ибо приводит лишь к бесполезной загрузке транспорта, скоплению негодной продукции на складах и может явиться причиной отказов и перебоев в работе связи в ходе боевых действий на фронте»[12].

Основной причиной неудовлетворительного качества поставляемой промышленностью продукции являлось то, что «в погоне за количественным выполнением плана многие военпреды снизили свою требовательность к качеству продукции, допускают самовольные отступления от технических условий, грубо нарушают Положение о работе аппарата военной приемки»[13].

ГУСКА указывало на следующие системные недостатки в работе военпредов, которые снижали качество и надежность выпускаемой продукции:
- низкое состояние технической документации на выпускаемую заводом продукцию;
- отсутствие утвержденных эталонных образцов серийной продукции;
- слабый контроль за точным соблюдением установленного технологического процесса изготовления изделий;
- нарушение порядка использования заменителей без тщательной предварительной их проверки;
- нарушение технических условий на выпуск продукции и нарушение порядка внесения изменений в конструкцию узлов и деталей;
- непроведение 100% осмотра и испытания на работоспособность всей предъявляемой к сдаче аппаратуры;
- отклонение от правил и методики испытаний, предусмотренных техническими условиями;
- неприсутствие при погрузке готовой продукции в вагоны перед отправкой по назначению;
- отсутствие систематического контроля за организацией рекламационной работы и устранением обнаруженных дефектов изделий;
- грубое нарушение сроков предоставления и полноты отработки донесений по установленной системе отчетности.

Кроме того, отмечалось, что «...многие военпреды потеряли чувство ответственности за порученный участок работы, не понимают важнейшего значения возложенных на них задач, допускают самовольные отступления от твердо установленного порядка их работы, грубо нарушают элементарные требования воинской дисциплины»[14].

Также на сборе существенное внимание было уделено обсуждению вопросов выполнения плана поставок танковой аппаратуры связи и организации тесного взаимодействия с военпредами заводов Наркомтанкопрома (НКТП). Отмечалось, что план 1 квартала 1944 года выполнен для ГУСКА на 100% (план апреля месяца – на 100,3%), а для заводов НКТП – на 108% (план апреля – на 100%) (таблица 3)[15].

Несмотря на высокие показатели выполнения плана поставок, качество и надежность выпускаемых средств связи продолжало оставаться неудовлетворительным из-за большого количества забракованных радиостанций и танковых переговорных устройств (ТПУ) на заводах НКТП при их установке на танки и бронемашины.

---

[11] Центральный архив Минобороны России (ЦАМО РФ). Ф.71. Оп.12188. Д.51. Л. 249-251.
[12] *Там же*. Л. 251.
[13] *Там же*. Л. 252.
[14] *Там же*. Л. 261.
[15] *Там же*. Л. 261, 262.

Таблица 2 – Уровень брака продукции заводов НКЭП (за 4 мес. 1944 г.)

Завод	Продукция	% брака			
		январь	февраль	март	апрель
№197	Радиостанция РАФ-КВ-3	16,6	22,2	12,5	12,5
	Радиостанция РСБ-Ф	11,1	11,1	8,3	14,8
№590	Радиостанция РБМ	12,4	12,7	9,2	7,6
№641	Радиостанция РБ	4,6	7,64	5	8,8
№729	Радиостанция 12-РП	С января по 6 мая 1944 г. военскладом НКО №133 испытано 3246 радиостанций, из них забраковано 158 штук, что составляет 4,9%			
№208	Радиостанция РАТ	0	100	100	100

Таблица 3 – Выполнение плана поставок танковой аппаратуры связи (за 4 мес. 1944 г.)

Завод	Заказчик продукции	Выполнение плана поставок продукции, %		Причина невыполнения плана
		1-й квартал	апрель	
№208	ГУСКА	100	100	Нет
	НКТП	107	100	
№226	ГУСКА	100	75	Отсутствие на заводе танковых шлемов, которые были задержаны в пути
	НКТП	106,6	75	
№842	ГУСКА	103	100	Нет
	НКТП	108,8	104	
№662	ГУСКА	100	100	Нет
	НКТП	66,6	100	Аппаратура не доукомплектована шлемофонами
№326	ГУСКА	107	100	Нет
	НКТП	100	100	

Так, по Кировскому заводу НКТП во вторую половину 1943 года при установке радиостанций на машины браковалось до 30% радиостанций. За 4 месяца 1944 года положение с браком продукции не изменилось и процент забракованных радиостанций типа 10-РК завода №210 НКЭП составил около 30% всей полученной продукции. По Уральскому заводу тяжелого машиностроения [4, с. 141, 142] браковалось до 40% радиоприемников типа «Малютка-Т» завода №590 и вторично на заводе №203 при комплектации радиостанции типа 9-РМ. Кроме того, по заводу №183 Наркомтанкопрома и другим заводам НКТП систематически отбраковывалось до 30% всех танковых переговорных устройств типа ТПУ-БИС завода №626 НКЭП.

Военпредами ГУСКА на заводах НКЭП ежемесячно отбраковывалось до 30-35% всей предъявляемой им продукции, что свидетельствует об отсутствии постоянного контроля за технологическим производственным процессом на всех его стадиях. Так, ГУСКА указывало, что из-за слабой организации технологического процесса качество продукции на заводе №626 НКЭП на протяжении долгого времени остается на исключительно низком уровне. Изготовляемые детали, как правило, не соответствуют чертежам, не взаимозаменяемы и поэтому подбираются при сборке, что приводит к большому проценту брака готовой продукции. Кроме того, на заводе с разрешения дирекции изменили технологический процесс изготовления конденсаторного блока (фрезеровка деталей конденсаторов производилась после сборки), в результате аппаратура была забракована при окончательной сдаче ее ГУСКА.

В качестве положительного примера была отмечена работа помощника военпреда ГУСКА на заводе №842 НКЭП старшего лейтенанта Орлова, который систематически при проверке и заготовке деталей в заготовительных цехах завода своевременно сигнализировал о самовольных отступлениях работников завода от чертежей и технологии без

соответствующего согласования вопросов с заказчиком и приостанавливал изготовление некондиционных деталей. По сигналам военпреда ряд руководящих работников завода №842 НКЭП получили дисциплинарные взыскания[16].

Недостаток сырья и материалов вынуждал заводы широко применять заменители. Однако в каждом отдельном конкретном случае разрешение на использование того или иного заменителя выдавалось только после предварительных испытаний, гарантирующих, что применение данного заменителя не ухудшит электрических и механических свойств аппаратуры, а также надежности изделия в целом. На сборе было отмечено, что «...военпреды не всегда с достаточной серьезностью относятся к замене материалов, допускают применение заменителей без тщательной предварительной проверки их, самовольно разрешают применение заменителей, заведомо ухудшающих качество продукции. Например, на заводе №590 НКЭП было разрешено производить изготовление шасси приемника «Малютка-Т» из алюминия толщиной 1 мм, в результате партия приемников была забракована по механической непрочности шасси»[17].

Вместе с тем опыт работы аппарата военной приемки ГУСКА показал, что «...военпреды в современных условиях работы нуждаются в систематическом руководстве и помощи»[18].

Таким образом, в третьем периоде Великой Отечественной войны деятельность ГУСКА была направлена на выполнение плановых показателей и наращивание производства продукции для обеспечения действующей армии необходимым имуществом связи [5, с. 23, 26]. В ходе оперативного руководства военной приемкой на заводах значительное внимание уделялось вопросам повышения качества и снижения брака изделий, особенно при использовании суррогатных материалов, а также обеспечения надежности изделий [6, с. 68, 69]. В результате системной работы аппарата военной приемки ГУСКА уровень обеспеченности действующей армии на 1 января 1945 г. составил: радиостанциями РАТ – 86%; радиостанциями РАФ (11-АК, СЦР-399) – 96%; радиостанциями РСБ – 99%; радиостанциями А-7, РБС – 86%; аппаратами Бодо – 67%; аппаратами СТ-35 – 97%[19].

Практический опыт работы военных представителей ГУСКА в организации производства и поставок средств связи для снабжения Красной армии в ходе войны требует критического осмысления и учета в современных условиях при выполнении государственного оборонного заказа и в ходе решения задач технического обеспечения связи и автоматизированных систем управления в ходе современных боевых действий.

Список источников

1. Великая Отечественная война. 1942 год: исследования, документы, комментарии / Отв. ред. В.С. Христофоров. М.: Главархив Москвы, 2012. 616 с.
2. Тихонов С.Г. Оборонные предприятия СССР и России: в 2 т. Т.2. М.: Том, 2010. 608 с.
3. Жарский А.П., Свердел В.Ф., Шептура В.Н. Промышленность средств военной связи в годы Великой Отечественной войны (1941–1945 гг.) // Известия РАРАН. 2018. №4(104). С. 155-161.
4. Тихонов С.Г. Оборонные предприятия СССР и России: в 2 т. Т.1. М.: Том, 2010. 605 с.
5. История военной связи Российской Армии: в 6 т. Т.5. / Под общ. ред. Е.А. Карпова. СПб.: ВУС, 1999. 508 с.
6. Пересыпкин И.Т. Связь в Великой Отечественной войне. М.: Воениздат, 1973. 283 с.

Информация об авторах

В.В. Изонов – доктор исторических наук, профессор, SPIN код автора 3033-9294.
В.Н. Шептура – кандидат военных наук, доцент, SPIN код автора 4031-2338.

[16] Центральный архив Минобороны России (ЦАМО РФ). Ф.71. Оп.12188. Д.167. Л. 265.
[17] *Там же*.
[18] *Там же*. Д.51. Л. 265.
[19] *Там же*. Оп.12178. Д.144. Л. 10-14.

ВОЕННАЯ ЭКОНОМИКА

Научная статья
УДК 355/359

Технологическое прогнозирование на этапах создания перспективного вооружения

Александр Васильевич Леонов, Сергей Гарриевич Брайткрайц, Алексей Юрьевич Пронин

Аннотация. В статье предложен комбинированный метод технологического прогнозирования на этапах создания перспективного вооружения, включая формирование научно-технического задела, который позволяет использовать преимущества нелинейного цикла Гартнера и достоинства эволюционно-технологического подхода к развитию военных технологий. На основе определения критических точек цикла Гартнера сформулированы постановки задач технологического прогнозирования и выбраны математические методы обоснования оптимального направления развития военных технологий. Разработаны предложения по использованию комбинированного метода в программно-целевом планировании и управлении развитием военных технологий.

Ключевые слова: технологическое прогнозирование; перспективное вооружение; научно-технический задел; технологии; комбинированный метод

Для цитирования: Леонов А.В., Брайткрайц С.Г., Пронин А.Ю. Технологическое прогнозирование на этапах создания перспективного вооружения // Вооружение и экономика. 2025. №4(74). С. 55-67.

Original article

Technological Forecasting at the Stages of Advanced Weapons Development

Aleksandr V. Leonov, Sergei G. Braitkraits, Aleksei Iu. Pronin

Abstract. The article proposes a combined method of technological forecasting at the stages of advanced weapons development, including the scientific and technical backlog formation, which allows to have advantages of the nonlinear Gartner cycle and merits of the evolutionary-technological approach to the military technologies development. Based on the definition of critical points of the Gartner cycle, the tasks of technological forecasting are formulated and mathematical methods for the optimal direction substantiation of military technologies development are selected. Proposals for a combined method application in program-target planning and management of the military technologies development are worked out.

Keywords: technological forecasting; advanced weapons; scientific and technical backlog; technologies; combined method

For citation: Leonov A.V., Braitkraits S.G., Pronin A.Iu. Technological Forecasting at the Stages of Advanced Weapons Development. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2025; 74(4): 55-67. (In Russ.).

Прогнозирование развития военных технологий на этапах создания перспективного вооружения[1] (далее – технологическое прогнозирование) позволяет избежать неоправданных финансовых затрат на ранних стадиях разработки новых технологий, повысить эффективность планирования и управления развитием военных технологий и др.

Актуальность данной статьи состоит в следующем. Существующие подходы к прогнозированию базируются, в основном, на линейно-поступательном характере развития технологий. Для прогнозирования используются методы коллективных экспертных оценок, а также методы аналогий, экстраполяции и др. [1]. Однако практика программно-целевого планирования и управления развитием военных и промышленных технологий [2; 3] убедительно свидетельствует о нелинейном характере развития военных технологий. Действительно, в развитии военных технологий, и особенно принципиально новых технологий, наряду с положительными результатами имеют место неизбежные флуктуации[2] и бифуркации[3], связанные со спадом активности исследований (по разным причинам), неудачами и

[1] В том числе при формировании научно-технического задела (НТЗ) для создания перспективного вооружения. Основными составными частями НТЗ являются научный, научно-технологический и производственно-технологический заделы.

[2] Отклонения от линейно-поступательной траектории развития военных технологий.

[3] Разветвление траектории развития военных технологий.

© Леонов А.В., Брайткрайц С.Г., Пронин А.Ю., 2025

даже провалами в разработке новых технологий. Подобные факторы чаще всего проявляются на этапах формирования НТЗ для перспективного и нетрадиционного вооружения [4] и, в целом, их интеграции в состав системы вооружения [5] и влияния на характер вооруженной борьбы [6].

В настоящее время для исследования нелинейности развития технологий используются два подхода: эволюционно-технологический подход и подход, основанный на циклическом изменении спроса на разрабатываемую технологию, получивший название «цикл Гартнера» [7]. Эти подходы имеют свои преимущества и достоинства[4], о которых будет сказано далее. В работах [7; 8] показано, что характер изменения кривой Гартнера можно интерпретировать как некую обобщенную характеристику разрабатываемой технологии. Поэтому представляется целесообразным их комбинировать с тем, чтобы использовать преимущества нелинейного цикла Гартнера и применить апробированный на практике эволюционно-технологический подход.

В этой связи для разработки комбинированного метода технологического прогнозирования в статье рассмотрены следующие вопросы:
- прогностические возможности эволюционно-технологического подхода;
- технологическое прогнозирование с использованием цикла Гартнера;
- предложения по использованию комбинированного метода в программно-целевом планировании и управлении развитием военных технологий.

Прогностические возможности эволюционно-технологического подхода

В настоящее время в развитии технологий как военного, так и гражданского назначения широкое распространение получил эволюционно-технологический подход (ЭТП).

Под ЭТП понимается методология создания перспективного вооружения, основанная на постепенном многошаговом процессе повышения уровня знаний в определенных научно-технических областях и предназначенная для обеспечения достоверности прогнозируемого облика Вооруженных Сил РФ, предсказуемости и стабильности программ создания перспективного вооружения, а также снижения риска их реализации [2-6].

Основные идеи и принципы ЭТП состоят в следующем:
- разрабатывать перспективное вооружение по принципу приращений в виде небольших «шагов», каждый из которых представляет собой четко определенный результат, основанный на внедрении совокупности зрелых технологий. Начальные шаги этого процесса связаны с проведением фундаментальных, прогнозных и поисковых исследований (ФППИ), направленных на создание перспективного вооружения;
- предусматривать потенциальную возможность в случае неудачи «возврата» к предыдущему успешному шагу с тем, чтобы устранить возникшие просчеты и ошибки перед тем, как задействовать все ресурсы, выделенные на создание перспективного вооружения;
- дорабатывать перспективное вооружение в ходе каждой итерации на основе внедрения новых научных знаний и технологий с расширением функциональных возможностей перспективного вооружения.

Основные направления реализации идей и принципов ЭТП:
- максимальное и своевременное использование научно-технического задела, начиная с ФППИ в области обороны и обеспечения безопасности Российской Федерации;
- определение приоритетов научных исследований и технологических разработок;
- обоснование потребных объемов ассигнований на научные исследования и технологические разработки по выделенным приоритетным направлениям.

Последние два аспекта имеют чрезвычайную важность для развития технологий, поскольку именно на этапе приоритезации формируются стратегические направления

[4] Брайткрайц С.Г., Леонов А.В., Пронин А.Ю. Методологические подходы к прогнозированию развития перспективных технологий для создания технических средств различного назначения и базирования // Стратегическая стабильность. 2025. №2(111). С. 27-35.

развития базовых и критических технологий, выполняются предварительные оценки реализуемости, потребных ассигнований и возможных рисков. Практическое решение этих задач осуществляется обычно с использованием метода анализа иерархий Т.Саати [9].

Важным преимуществом ЭТП является учет готовности научно-технического задела, максимальное и своевременное его использование для создания перспективного вооружения. В настоящее время наиболее распространенным инструментом для оценки уровня готовности (зрелости) технологий за рубежом (например, США[5], Великобритания) и в нашей стране служит специальная вербально-числовая шкала TRL (Technology Readiness Level).

В рамках вербально-числовой шкалы TRL каждая технология последовательно проходит несколько уровней технологической готовности. В этом случае речь идет о последовательных приращениях определенных результатов ФППИ, направленных на создание перспективного вооружения.

Одним из основных преимуществ ЭТП является возможность возврата (в случае отсутствия положительных результатов НИОКР) к предыдущему шагу (этапу) развития военной технологии. Следует отметить, что в отечественных работах по развитию технологий военного и гражданского назначения этот вопрос до настоящего времени в полной мере не рассматривался.

Несмотря на популярность вербально-числовой шкалы TRL, на наш взгляд ее применение в интересах технологического прогнозирования встречает определенные затруднения, например:

- в шкале TRL развитие технологий рассматривается как линейно-поступательный процесс без возможных, и даже неизбежных флуктуаций и бифуркаций в технологическом процессе, что особенно характерно для разработки перспективного вооружения;
- возможность «возврата» к предыдущему уровню (в случае неудачи) с тем, чтобы устранить возникшие просчеты и ошибки, не предусмотрена;
- все уровни технологической готовности рассматриваются статично, без учета возможных направлений развития технологического процесса.

Таким образом, эволюционно-технологический подход, основанный на применении метода оценки готовности технологий по вербально-числовой шкале TRL, отражает линейно-поступательное развитие военных технологий.

В этой связи авторами предпринята попытка показать возможности технологического прогнозирования с использованием цикла развития технологий Гартнера.

Технологическое прогнозирование с использованием цикла Гартнера

С целью практического применения цикла Гартнера к развитию военных технологий необходимо провести некоторые преобразования с тем, чтобы «сгладить» (выровнять) кривую Гартнера, то есть придать линейно-поступательный характер развитию технологий. Только в этом случае для технологического прогнозирования представляется возможным использовать инструменты эволюционно-технологического подхода и традиционных методов прогнозирования.

Для достижения данной цели необходимо решить три первоочередные задачи:

- определить критические точки прогнозирования на цикле Гартнера;
- сформулировать постановки задач технологического прогнозирования;
- предложить математические методы обоснования оптимального направления развития военных технологий.

Решение данных задач представлено ниже.

[5] DoD Instruction 5000.02. Operation of the Adaptive Acquisition Framework. Washington, DC: U.S. Department of Defense, 2020. URL: https://www.esd.whs.mil/Portals/54/Documents/DD/issuances/dodi/500002p.PDF

Определение критических точек прогнозирования на цикле Гартнера

На основе анализа цикла развития технологий Гартнера [7] выделено пять его основных этапов:
- инновационный триггер (разработка новой технологии);
- пик завышенных ожиданий (принимать технологию еще рано);
- пропасть разочарования (негативное восприятие, технологию принимает около 5% целевой аудитории);
- склон просвещения (формирование методологии создания и использования технологии);
- «плато» использования (технология – одна из сфер жизнедеятельности человека).

Данные этапы, в принципе, присутствуют при разработке практически любых новых технологий, например, искусственного интеллекта. Представляется, что этапы цикла развития технологий Гартнера вполне могут быть спроецированы на этапы развития военных технологий.

Результаты такого проецирования приведены на рисунке 1.

В соответствии с циклом Гартнера военная технология в своем развитии обязательно проходит пять этапов (фаз) (рисунок 1):

I этап – разработка (запуск, старт) новой технологии;

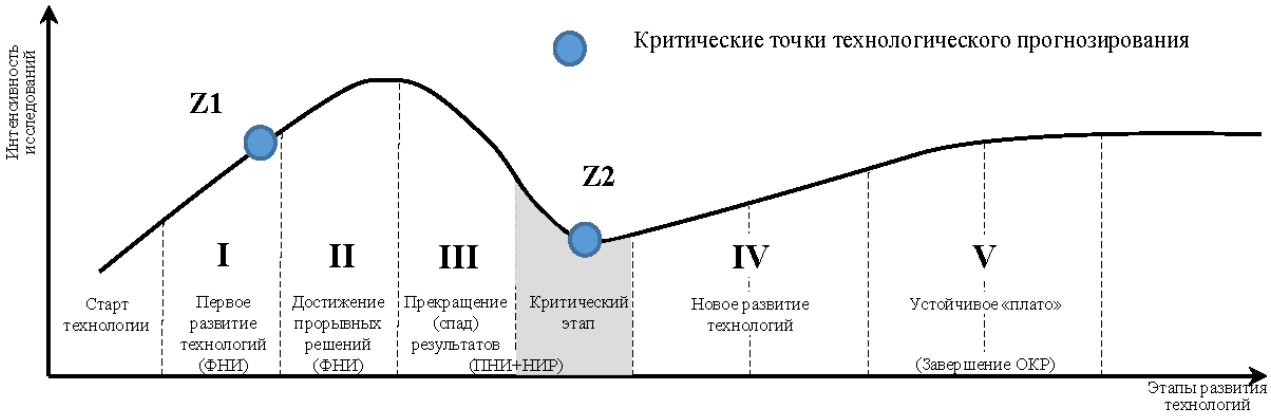
II этап – достижение пика прорывных технических и технологических решений;

III этап – замедление темпов совершенствования технологии, падение интереса или разочарование в дальнейшем развитии технологии, может быть, появление новой технологии (возможно, даже в другой области);

IV этап – развитие технологии на новом уровне: конечно, оно не будет таким же быстрым, как на стадии запуска технологии, однако результаты этого этапа позволяют выйти на устойчивое «плато» развития;

V этап – достижение устойчивого «плато» существования технологии: вторая «жизнь» технологии.

Таким образом, совместное комбинированное рассмотрение цикла Гартнера и обобщенной характеристики (например, эффективности) разрабатываемой военной технологии позволяет учесть нелинейность в развитии военных технологий, что является весьма важным при решении задач:
- обоснования и выбора приоритетных технологических направлений, а также соответствующих программных мероприятий (например, НИОКР), обеспечивающих развитие этих приоритетных технологических направлений;
- достоверного прогнозирования тактико-технических характеристик перспективного вооружения, а также появления новых технических и технологических решений.



ФНИ – фундаментальные научные исследования
ПНИ – прикладные научные исследования
НИР – научно-исследовательская работа
ОКР – опытно-конструкторская работа

Рисунок 1 – Проецирование цикла развития технологий Гартнера на этапы развития военных технологий

Применение цикла Гартнера может дать дополнительные возможности для прогнозирования развития военных технологий, поскольку в его основе очевидно просматриваются представления о развитии технологий как об эволюционно-технологическом процессе. Действительно, здесь присутствуют и этапы быстрого роста, и этапы стабильности, и спада (спад здесь можно трактовать как возвращение к предыдущим решениям, но реализуемым уже на более высоком технологическом уровне).

Кроме того, цикл Гартнера становится весьма удобным инструментом управления развитием военных технологий на этапах проведения НИОКР. К настоящему времени при управлении выполнением НИОКР все очевиднее виден переход от традиционной каскадной модели с жесткой структурированной последовательностью: эскизный проект, технический проект, разработка РКД, изготовление опытного образца, испытания образца – к новой эволюционно-технологической модели, в которой могут параллельно выполняться разными исполнителями этапы проектирования, допускается существенное изменение требований технического задания. При этом требования выступают в роли объекта управления в течение всего жизненного цикла перспективного вооружения [10].

Все названные выше преимущества комбинированного цикла Гартнера являются отражением (или следствием) эволюционно-технологического подхода, идеи и принципы которого представлены в данной статье.

С военно-экономической точки зрения важно подчеркнуть такой важнейший аспект идеи ЭТП как возможность рационального использования научно-технического задела, начиная с ФППИ. В этой связи представляется целесообразным определить критические точки прогнозирования (КТП) в цикле Гартнера и сформулировать с их использованием военно-экономические постановки задач технологического прогнозирования.

Критические точки прогнозирования показаны на рисунке 1.

Точка Z_1 (точка упреждения) предназначена для прогнозирования возможного момента бифуркации (разветвления) траектории развития военных технологий при прохождении критического этапа.

Точка Z_2 (точка бифуркации) предназначена для прогнозирования момента принятия решения: либо о продолжении разработки технологии, либо о прекращении исследований в рассматриваемом технологическом направлении, либо возврата к предыдущему этапу, но с учетом технологического опыта и научно-технического задела, сформированных к данному (критическому) этапу развития технологии.

В соответствии с установленными точками предлагаются две постановки задачи технологического прогнозирования.

Постановки задач технологического прогнозирования

Ниже в вербальном виде изложены две взаимосвязанные постановки задачи технологического прогнозирования на основе КТП:

- априорная (задача прогнозирования положения точки бифуркации на кривой Гартнера);
- апостериорная (задача обоснования оптимального направления развития технологий в точке бифуркации на кривой Гартнера).

Априорная задача. На начальных этапах разработки технологии (точка Z_1) определить такую точку Z_2, в которой спад (спад обобщенной характеристики) в разработке технологии будет минимальным, то есть обеспечивается (достигается) продолжение разработки технологии при прохождении критического этапа в развитии технологии с минимальными затратами ресурсов на разработку технологии при достигнутом показателе эффективности технологии.

Апостериорная задача. Находясь на критическом этапе разработки технологии (точка Z_2) определить оптимальное направление развития технологии (продолжение разработки технологии, прекращение исследований в рассматриваемом технологическом направлении, возврат к предыдущему этапу и т.д.), обеспечивающее максимальное значение показателя эффективности разрабатываемой технологии при заданных затратах на ее разработку.

С математической точки зрения априорная и апостериорная постановки задачи технологического прогнозирования могут быть идентифицированы как прямая и обратная

задача оптимизации, формулировки которых основаны на классическом методе военно-экономического анализа[6]. Данный метод предполагает совместное использование триады критериев: эффективность (W), затраты (C) и время (T).

Применительно к задачам технологического прогнозирования приведенные обозначения критериев означают следующее:

W – эффективность новой технологии (на ранних этапах разработки новой технологии в качестве эффективности может выступать один из важнейших физико-технических параметров, определяющих ее эффективность);

C – затраты ресурсов на разработку новой технологии (вследствие того, что разработка новой технологии требует расхода разнородных ресурсов, наиболее часто этот показатель имеет стоимостную форму);

T – время разработки новой технологии.

Если принятие решения на основе решения априорной задачи технологического прогнозирования является прерогативой по большей части заказчика разрабатываемой технологии, то для решения апостериорной задачи вполне могут быть применимы математические методы.

Ниже рассмотрены математические методы обоснования оптимального направления развития военных технологий.

Математические методы обоснования оптимального направления развития военных технологий

Предлагаемые ниже методы основаны на учете факторов неопределенности на критическом этапе разработки новых технологий (см. рисунок 1) и прежде всего параметров, определяющих их эффективность, и времени поступления информации о ходе разработки новых технологий. В этом случае суть задачи выбора оптимального направления развития технологий будет состоять в уточнении информации об эффективности новой технологии и времени поступления информации о ходе ее разработки.

С учетом упомянутых выше факторов неопределенности задача обоснования оптимального направления развития военных технологий на вербальном уровне может быть сформулирована следующим образом.

Новая технология возникает как результат проведения ФППИ, поэтому ее эффективность $W^{\text{Н}}$ априори точно неизвестна, а может быть оценена лишь приближенно. Причем по сравнению с эффективностью традиционной технологии $W^{\text{Т}}$ отклонения ΔW могут быть как положительными, так и отрицательными, то есть:

$$\Delta W = W^{\text{Н}} - W^{T} > 0 \quad \text{или} \quad \Delta W = W^{\text{Н}} - W^{T} < 0. \qquad (1)$$

Научно-исследовательские проработки новой технологии дают время от времени информацию, уточняющую первоначальную оценку. В этом случае оценка эффективности новой технологии может быть задана в форме вероятностного распределения возможных значений эффективности $W^{\text{Н}}$ новой технологии на некотором конечном интервале неопределенности, который с каждым шагом уточнения сужается. При этом новый интервал остается внутри прежнего, а его длина в пределе (если процесс уточнения эффективности новой технологии о ходе ее разработки будет продолжаться длительное время) стремится к нулю. В этом случае суть задачи оптимизации процесса перехода к новым технологиям будет состоять в уточнении информации об эффективности новой технологии.

Для решения сформулированной задачи может быть использован существующий арсенал методов оптимизации, анализ которых применительно к развитию военных технологий проведен в работе [11].

В классифицированном виде данные методы с учетом названных выше факторов неопределенности представлены на рисунке 2.

[6] Викулов С.Ф. Военно-экономический анализ: Учебник. М.: ВУ, 2015. 340 с.

1. По используемым методам оценки эффективности разрабатываемой технологии существующие методы можно подразделить на две принципиально различные группы: статистические и динамические.

Статистическая группа методов исходит из предположения, что неопределенность есть нечто данное (неизменное) и описывается интервалами, в которых находятся истинные значения параметров новой технологии (внутренняя неопределенность). Основная проблема при этом сводится к обработке не точечных, а интервальных данных. К методам этой группы относятся:
- интервальный анализ;
- теория нечетких множеств;
- оптимизационные методы, основанные на статистическом представлении неопределенности с критериями того или иного вида (например, минимаксный критерий, критерий Гурвица, Лапласа и др.).

Динамическая группа методов основана на многошаговом процессе, учитывающем на каждом шаге поступающую с течением времени информацию о ходе разработки новой технологии. При этом динамические методы (в частности, метод динамического программирования), учитывая внешние факторы неопределенности, все же не позволяют учитывать неопределенность внутренних параметров, на что способны статистические методы. Таким образом, возникает разрыв, при котором динамические методы учитывают только внешнюю неопределенность, а статистические методы – только внутреннюю неопределенность. Некоторой попыткой преодоления данного противоречия с использованием динамических методов является применение многоэтапного подхода. Согласно этому подходу, информация о параметрах второго этапа разрабатываемой технологии (заданная вероятностным распределением) учитывается при выборе оптимального решения на первом этапе, информация о параметрах третьего этапа учитывается при выборе оптимального решения на втором этапе и так далее. При формализации такого подхода к уточнению внутренних параметров исходят из того, что поступление уточняющей информации представляет собой экзогенно заданный случайный процесс сужения интервала неопределенности. Таким образом, отмеченный выше разрыв ликвидируется, а метод динамического программирования становится применимым для учета внутренней неопределенности при разработке новой технологии.

Пример практической реализации данных методов на основе эволюционно-технологического подхода к созданию перспективного вооружения на этапах формирования НТЗ приведен в работе [2], а применительно к нетрадиционным видам вооружения – в работе [5].

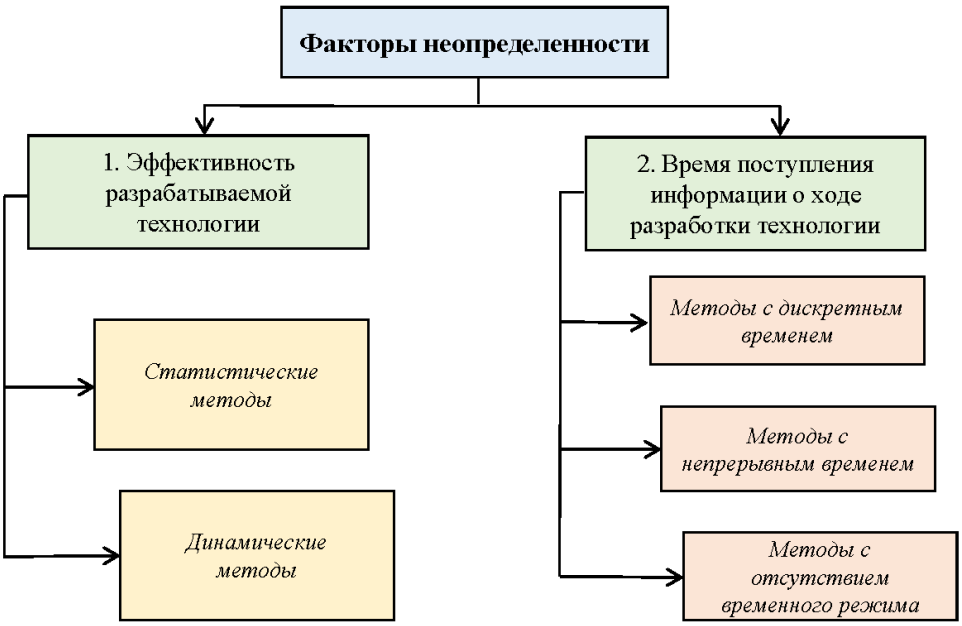


Рисунок 2 – Методы выбора оптимального направления развития военных технологий с учетом факторов неопределенности

2. По времени поступления информации о ходе разработки новой технологии решение сформулированной выше апостериорной задачи технологического прогнозирования может быть получено для трех случаев: дискретного времени; непрерывного времени; отсутствия временного режима поступления информации. Данная задача относится к типу задач «оптимальной остановки марковской цепи». Рассмотрим эту задачу в общем, постановочном плане, на примере перехода на другую технологию на критическом этапе разработки новой технологии (см. рисунок 1).

Для дискретного времени. Поступление информации о состоянии разработки новой технологии происходит регулярно через определенный интервал (дискретный промежуток) времени, который принимается за временную единицу. В этом случае задается марковская цепь случайных переходов на фазовом пространстве. Под фазовым пространством понимается пространство, в котором каждая точка (фазовая точка) соответствует состоянию разработки новой технологии, которое определяется набором ее параметров $(x_1, x_2, \dots, x_n)$, так что $W^{\text{Н}} = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$. При этом, как отмечалось выше, $W^{\text{Н}}$ может быть одним из важнейших физико-технических параметров, определяющих эффективность новой технологии. В каждый целочисленный момент времени лицо, принимающее решение (ЛПР), может либо остановить процесс разработки новой технологии, либо его продолжить (множество управлений U). В этом случае, с учетом затрат на НИОКР по разработке новой технологии, возникает задача оптимальной остановки процесса совершенствования технологии и принятия окончательного решения – переходить на другую технологию или отказаться от нее, сохранив разрабатываемую технологию. Требуется найти оптимальную булевскую стратегию (то есть принимающую только два значения «остановить» или «продолжить»), максимизирующую ожидаемый военно-экономический эффект. При этом множество управлений U – булевское, и оба его значения допустимы.

Для непрерывного времени. В моделях с непрерывным временем наиболее подходящим способом формализации процесса разработки новой технологии является описание его как пуассоновского потока определенной интенсивности. Если принять допущение, что информация поступает в случайные моменты времени с интенсивностью λ (например, если для определенности за единицу времени принять 1 год, то $\lambda = 1/\text{год}$), тогда информационные акты и, соответственно, переходы марковской цепи образуют пуассоновский поток постоянной интенсивности. Отличительными свойствами пуассоновского (и только пуассоновского) потока является то, что вероятностное распределение времени ожидания очередного информационного акта не зависит от того, сколько времени это ожидание уже длится и, следовательно, сохраняется в течение всего периода ожидания. Тогда решение задачи оптимизации процесса перехода к новой технологии возможно на основе использования принципа оптимальности Беллмана. При этом решение может быть сведено (при бесконечно малом интервале времени) к ранее рассмотренному случаю с дискретным временем поступления информации.

Отсутствие временного режима поступления информации. Данный случай распространяется на ситуацию, когда решение исходной задачи не связано с временным режимом поступления информации о ходе разработки новой технологии, а касается только самого марковского процесса случайных переходов на фазовом пространстве. Для описания данного процесса принимаются следующие допущения. Оценка параметра $W^{\text{Н}}$ (который в общем случае может быть многомерным, векторным) задается в виде плотности распределения вероятностей возможных его значений, которая представляет точку в фазовом пространстве, а фазовые переходы представляют собой процесс уточнения этого распределения. Научные исследования по разработке новой технологии целенаправленно организованы, и они дают с течением времени новую случайную информацию, результатом чего становится фазовый переход из одного состояния в другое. Так возникает случайный процесс в фазовом пространстве. Поскольку проводимые исследования по разработке новой технологии имеют целенаправленный характер и потенциально могут быть подкреплены достаточным финансированием, то можно ожидать, что этот случайный процесс будет ориентирован в сторону улучшения параметра $W^{\text{Н}}$. В то же время проводятся исследования,

которые по сути являются пионерскими и будут направлены на разработку технологий, основанных на принципиально новых физико-технических принципах и эффектах. В этом случае может оказаться, что несмотря на все усилия, проводимые исследования не только не улучшат значение параметра $W^{\text{Н}}$, но конечный результат может оказаться вообще отрицательным. Кроме того, может быть так, что исследования по разработке новой технологии приведут не к улучшению, а лишь к уточнению параметра $W^{\text{Н}}$. При этом повышенное финансирование исследований может привести лишь к ускорению процесса исследования новой технологии, но не может придать этому процессу какую-либо временную направленность. Именно такая ситуация характерна для третьего случая – отсутствия временной регламентации поступления информации о процессе разработки новой технологии.

Таким образом, с помощью управляющих воздействий (на основе решения априорной задачи технологического прогнозирования) и предлагаемых методов обоснования оптимального направления развития военных технологий с учетом факторов неопределенности представляется возможным «сгладить» (выровнять) кривую Гартнера, придав ей линейно-поступательный характер.

Возможные варианты «сглаживания» кривой Гартнера с использованием вербально-числовой шкалы TRL показаны на рисунке 3.

В этом случае для технологического прогнозирования представляется возможным использовать инструменты эволюционно-технологического подхода и традиционных методов прогнозирования (в том числе экстраполяции). Наиболее распространенным инструментом для оценки уровня готовности (зрелости) технологий в эволюционно-технологическом подходе является специальная вербально-числовая шкала TRL, характеризующая последовательные приращения определенных результатов ФППИ, направленных на создание перспективного вооружения.

Возможность «сглаживания» кривой Гартнера реализуется принятием решений (точка Z_2 на рисунках 3,а,б) о продолжении, либо о прекращении исследований в рассматриваемом технологическом направлении, либо о переходе к разработке новых технологий. В этом случае в ходе выполнения исследований в рамках этапа III, характеризующегося спадом результативности НИОКР, вполне логично предусмотреть возможность возврата к предыдущему этапу, но с учетом TRL, обогащенного соответствующим этому уровню научно-техническим заделом. В этом случае возможны три варианта развития технологий:
вариант А – прекращение исследований по данному технологическому направлению с сохранением результатов проведенных НИР в соответствующей информационной базе;
вариант Б – продолжение НИОКР и выход на создание опытного образца с прогнозируемыми ТТХ;
вариант В – возврат к этапу прикладных исследований с учетом НТЗ, сформированного уже в выполненных прикладных НИР и НТЗ смежных технологических направлений.

Анализ данных вариантов показал, что *вариант А* является предпочтительным с точки зрения минимизации временных и финансовых затрат на формирование научно-технологического задела. Однако в этом случае может быть достаточно высокий риск отставания в рассматриваемом технологическом направлении, поскольку исследования остановлены.

Вариант Б является традиционным, если можно использовать термин «традиционность» применительно к новым, прорывным технологиям. Однако при реализации данного варианта также будут присутствовать технологические риски.

Лучшим выбором является *вариант В*. Возврат на второй этап цикла Гартнера, но на более высоком технологическом уровне (см. рисунок 3,а) обеспечивает, как было показано выше:
- достижение плато устойчивых результатов на более высоком технологическом уровне;
- не влечет дополнительных затрат, потребных на повторное прохождение уровней TRL;
- достижение более высокого уровня TRL (либо ТТХ) по окончании ОКР по созданию перспективного вооружения.

Таким образом, на определенном этапе цикла Гартнера, связанного со спадом результативности НИОКР, целесообразно вернуться к уже достигнутому уровню TRL, но с учетом нового объема научно-технического задела.

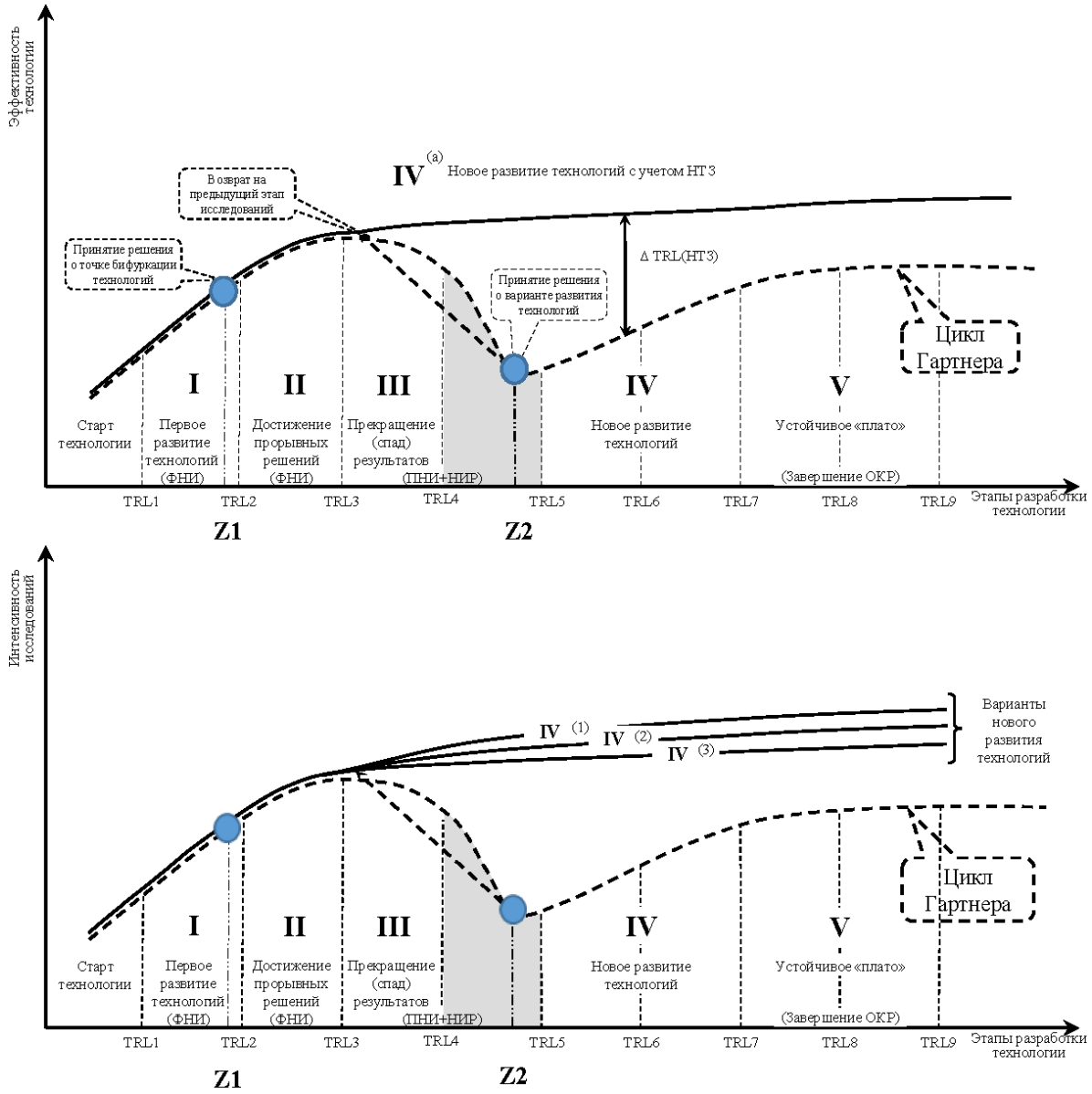


Рисунок 3 – «Сглаживание» цикла Гартнера с учетом этапов формирования НТЗ для создания перспективного вооружения (а – иллюстрация цикла Гартнера с возвратом на TRL2 с учетом TRL4; б – иллюстрация цикла Гартнера с вариабельностью возврата на подуровни TRL2)

Необходимо отметить, что *вариант В*, для которого предусматривается возвращение к прикладным исследованиям с использованием НТЗ, полученного как в данном направлении, так и в смежных областях и направлениях, может осуществляться несколькими путями (рисунок 3,б). Каждый из этих путей, в конечном счете, ведет к различным вариантам развития технологии с различным военно-экономическим эффектом.

Отметим, что проблема разветвления научно-технического задела и его реализация в различных продолжениях развития одной конкретной технологии еще только ждет своего научного решения. В некоторых работах, например [10], решение данной проблемы рассматривается применительно к нескольким технологиям, где в зависимости от складывающихся условий происходят переходы с одной технологии на другую.

Далее показано практическое применение изложенных выше положений в программно-целевом планировании и управлении развитием военных технологий.

Предложения по использованию комбинированного метода в программно-целевом планировании и управлении развитием военных технологий

Для практической реализации комбинированного метода в части развития базовых и критических военных технологий необходимо решить две первоочередные задачи.

Первая задача связана с формализацией эволюционно-технологического подхода с сохранением действительно эволюционного характера этого процесса. Дело в том, что в современных исследованиях развитие технологий рассматривается только в виде линейно-поступательного процесса. Для прогноза таких процессов разработан и широко используется целый ряд традиционных методов прогнозирования, упомянутых в начале данной статьи. В рамках вербально-числовой шкалы TRL речь идет о последовательных приращениях определенных результатов фундаментальных, прогнозных, поисковых и прикладных исследований, направленных на создание перспективного вооружения.

Вторая задача связана с формализацией цикла развития технологий Гартнера, в котором, как было показано выше, используются только качественные определения: фаза запуска технологии, фаза прорывных технических и технологических решений, фаза утраты интереса к этой технологии, фаза нового развития, фаза достижения устойчивого плато существования технологии и т.д. Для управления любым физическим процессом требуется его параметризация. Параметризацию здесь можно провести, например, с помощью шкалы TRL. В этом случае можно использовать цикл Гартнера совместно со шкалой стадий исследований: фундаментальные, прогнозные, поисковые и прикладные исследования, опытно-конструкторские работы. Такой анализ может быть полезен специалистам, занятым в области планирования управления разработкой перспективного вооружения.

Очевидный интерес представляет комбинированное рассмотрение общей тенденции развития технологии (например, с использованием традиционных методов технологического прогнозирования) и цикла Гартнера для этой же технологии. В отличие от цикла Гартнера кривая общей тенденции носит постоянный неубывающий характер. Проблема состоит в том, что цикл Гартнера и кривая общей тенденции привязаны к разным временным осям. В этом случае можно разделить эти два подхода к технологическому прогнозированию следующим образом: общая тенденция предоставляет технологический прогноз, а цикл Гартнера – план развития новой технологии. Тогда при анализе цикла Гартнера в сочетании с каким-либо из методов технологического прогнозирования кривая общей тенденции может постоянно корректировать цикл Гартнера для соответствующей технологии и тем самым определять время постановки и проведения НИОКР и рациональные комбинации различных технологий. Представляется, что возможности такого комбинированного подхода значительно выше, чем их отдельное рассмотрение. В целом, комбинированный прогноз необходим для создания согласованной общей картины развития технологий.

Заключение

Рассмотрение существующих подходов к прогнозированию развития военных технологий позволило сформулировать следующие выводы.

1. До настоящего времени все существующие подходы к технологическому прогнозированию основаны на линейно-поступательном характере развития военных технологий с использованием традиционных методов (коллективных экспертных оценок, аналогий, экстраполяции и др.). Практика убедительно показывает, что в разработке каждой принципиально новой технологии имеют место этапы спада активности исследований, этапы неудач и даже провалов в исследованиях. Развитие военных технологий на этапах создания перспективного вооружения, особенно формирования его научно-технического задела, имеет принципиально нелинейный характер.

2. Предложен комбинированный метод технологического прогнозирования, сочетающий преимущества нелинейного цикла развития технологий Гартнера и достоинства

эволюционно-технологического подхода с количественной оценкой уровня готовности (зрелости) военных технологий.

3. Для практического применения цикла Гартнера к развитию военных технологий определены критические точки прогнозирования на цикле Гартнера и сформулированы в вербальном виде задачи технологического прогнозирования, решение которых позволит преодолеть критический этап в развитии технологий с минимальными затратами ресурсов при сохранении достигнутого уровня эффективности разрабатываемой технологии. Предложены математические методы выбора оптимального направления развития военных технологий после прохождения критического этапа.

4. С использованием разработанных предложений представляется возможным преобразовать и «сгладить» (выровнять) кривую Гартнера, придав ей линейно-поступательный характер. В этом случае для технологического прогнозирования представляется возможным использовать инструменты эволюционно-технологического подхода и традиционные методы прогнозирования, в том числе экстраполяции.

5. Для управления процессом «сглаживания» кривой Гартнера необходимо иметь соответствующий механизм, в основе которого должны быть следующие инструменты (знания):
- возможный нелинейный тренд развития военных технологий по Гартнеру;
- критические точки на кривой Гартнера, знание которых позволят проводить априорное и апостериорное технологическое прогнозирование;
- математические методы «сглаживания» кривой Гартнера;
- требования к развитию военных технологий (по эффективности, затратам, срокам);
- возможности самих разработчиков новых технологий.

Разработка формализованной схемы механизма управления «сглаживанием» кривой Гартнера с использованием данных инструментом (знаний) является предметом отдельной публикации.

6. Проведенные исследования позволили сформулировать следующий методологический вывод. Параметры кривой цикла Гартнера, безусловно, окажут влияние на изменение ключевых параметров разрабатываемой технологии, поскольку они включают ассигнования, выделяемые на разработку технологии, интенсивность НИОКР и т.д. При этом очевидно и наличие обратной связи – влияние изменений параметров (эффективности) технологии на параметры цикла Гартнера. Исследование (изучение) такой сложной замкнутой системы механизма прогнозирования и управления разработкой новой технологии является предметом дальнейших исследований.

Список источников

1. Мартино Дж. Технологическое прогнозирование. М.: Прогресс, 1977. 592 с.
2. Буренок В.М., Ивлев А.А., Корчак В.Ю. Развитие военных технологий XXI века: проблемы, планирование, реализация. Тверь: Купол, 2009. 624 с.
3. Голубев С.С., Щербаков А.Г. Методология управления промышленными технологиями. М.: Первое экономическое издательство, 2020. 276 с.
4. 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.
5. Буренок В.М., Леонов А.В., Пронин А.Ю. Военно-экономические и инновационные аспекты интеграции нетрадиционных видов оружия в состав системы вооружения. М.: Граница, 2014. 240 с.
6. Буренок В.М., Корчак В.Ю., Полубехин А.И., Старожук Е.А., 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.
7. Кацко И.А., Жминько Н.С., Кацко С.А. Хайп-цикл Гартнера и развитие современных технологий // Системный анализ в проектировании и управлении: сб. науч. трудов XXVII Междунар. науч.-практ. конф. (Санкт-Петербург, 13-14 октября 2024): в 2 ч. Ч.2. СПб.: 2024. С.69-74.

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.

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

10. Безденежных С.И., Брайткрайц С.Г. Адаптивное управление требованиями в системе управления жизненным циклом продукции военного назначения // Вооружение и экономика. 2021. №3(57). С. 66-77.

11. Леонов А.В., Пронин А.Ю. Методы обоснования оптимального перехода к новой технологии при создании перспективного вооружения // Вооружение и экономика». 2023. №4(66). С. 56-68.

Информация об авторах

А.В. Леонов – доктор экономических наук, профессор.
С.Г. Брайткрайц – доктор технических наук, старший научный сотрудник, SPIN код автора 4779-5045.
А.Ю. Пронин – кандидат технических наук, доцент, SPIN код автора 6833-7914.

Научная статья
УДК 330.42

Методика оперативной оценки военно-экономической целесообразности разработки образцов вооружения, военной и специальной техники с заданными тактико-техническими характеристиками

Николай Васильевич Фиров

Аннотация. Разработаны методические положения оценки военно-экономической целесообразности разработки образцов вооружения, военной и специальной техники с заданными тактико-техническими характеристиками. Предложенная модель базируется на принципах военно-экономического и отдельных элементах инвестиционного анализов. Разработаны критерии военно-экономической целесообразности разработки образцов, представляющие собой соотношение степени улучшения показателей назначения образцов к росту их стоимости по отношению к прототипу, обусловленных повышением тактико-технических характеристик. Установлены области допустимых значений критериев, определены и представлены в таблице их предельные значения.

Ключевые слова: технико-экономические показатели; военно-экономический анализ; инвестиционный анализ; коэффициенты роста показателей образцов по отношению к прототипу; стоимость образца

Для цитирования: Фиров Н.В. Методика оперативной оценки военно-экономической целесообразности разработки образцов вооружения, военной и специальной техники с заданными тактико-техническими характеристиками // Вооружение и экономика. 2025. №4(74). С. 68-76.

Original article

An Operational Assessment Methodology for the Military-Economic Feasibility of Weapons, Military and Special Equipment Samples Development with Assigned Tactical and Technical Specifications

Nikolai V. Firov

Abstract. Methodological provisions for the military-economic feasibility assessment of weapons, military and special equipment development with assigned tactical and technical specifications have been developed. The proposed model is based on the principles of military-economic and individual elements of investment analysis. Criteria for the military-economic samples development feasibility have been developed that represent the ratio of improvement factor in the indicators of the samples assignment and their cost increase in relation to the prototype, due to the tactical and technical specifications improvement. The accepted values of the criteria are established, their limit values are defined and presented in the table.

Keywords: technical and economic indicators; military and economic analysis; investment analysis; growth factor of samples indicators in relation to the prototype; cost of the sample

For citation: Firov N.V. An Operational Assessment Methodology for the Military-Economic Feasibility of Weapons, Military and Special Equipment Samples Development with Assigned Tactical and Technical Specifications. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2025; 74(4): 68-76. (In Russ.).

В настоящее время в условиях существенного обострения военно-политической обстановки и санкционных действий недружественных государств особенную актуальность приобретают перманентные вопросы военно-экономического обоснования рациональных направлений вложения бюджетных средств в развитие ВВСТ, включая вопросы обоснования целесообразности разработки образцов с заданными ТТХ.

Эффективному расходованию бюджетных средств, выделяемых на национальную оборону, посвящено значительное количество работ. Исследования проводятся как в общетеоретическом плане, например [1-3], так и в более узком прикладном формате: по разным иерархическим уровням, отдельным этапам жизненного цикла изделий и стадиям работ. Так, например, в работе [4] рассмотрены вопросы оптимального распределения ассигнований на закупку и ремонт вооружения и военной техникой (ВВСТ) в течение программного периода. В работе [5] раскрыты отдельные аспекты рационального распределения бюджетных средств государственного оборонного заказа, выделенных на ремонт ВВСТ.

Существенное разнообразие содержания этапов жизненного цикла и стадий работ, условий их проведения, включая вопросы неопределенности информации, предопределило разнообразие и многоаспектность постановок задач рационального распределения

© Фиров Н.В., 2025

средств, методических приемов и методов их решения. Это является одной из основных причин того, что несмотря на значительное количество исследований, вопрос дальнейшего совершенствования методологии оценки и обоснования рационального вложения средств в ВВСТ остается открытым.

При разработке моделей оценки и прогнозирования показателей, в т.ч. экономических, ряд исследователей стремится существенно упростить модель и акцентировать внимание на сути изучаемого вопроса, отбрасывая все второстепенное. При построении экономико-математических моделей далеко не все придерживаются этой точки зрения, что обусловлено как объективными, так и субъективными причинами [6; 7]. К причинам объективного характера относится в первую очередь существенное многообразие факторов и причинно-следственных связей в мире экономической реальности, требующих их учета при построении адекватных моделей. К числу субъективных причин необходимо отнести стремление отдельных авторов к необоснованному преднамеренному усложнению моделей, ошибочно полагая, что это обязательно приведет к повышению точности полученных на их основе оценок. Наблюдается также стремление ряда авторов придать моделям более замысловатый вид, ложно связывая это с научностью и отодвигая вопросы их внутреннего содержания на второй план. Вместе с тем такое чрезмерное усложнение моделей может и часто приводит к снижению точности получаемых на их основе оценок. Проблема лежит не в плоскости математики, а обусловлена главным образом исходными данными [7].

Ниже предложен один из подходов к оценке военно-экономической целесообразности разработки образцов ВВСТ с заданными ТТХ и обоснованию направлений рационального использования ресурсов, выделяемых на развитие ВВСТ. При этом основное внимание уделено созданию простой в применении, универсальной и не требующей значительного объема исходных данных методики, без существенного снижения достоверности полученных на ее основе оценок.

В основе оценки военно-экономической целесообразности (далее целесообразности) разработки перспективных образцов ВВСТ (в дальнейшем изделий) лежит методология военно-экономического анализа (ВЭА), находящаяся, как научное направление, на достаточно высоком уровне развития.

Наряду с этим следует отметить, что вложение средств в НИОКР по созданию перспективных образцов ВВСТ можно отнести к вынужденным (обязательным) реальным инвестициям. Это обусловлено тем, что вложение средств в проведение НИОКР по военной тематике, несмотря на то, что, как правило, не дает реальной прибыли в ее классическом понимании (исключение – экспорт ВВСТ, ряд других видов деятельности), связано с достижением некоторого положительного социального эффекта, выраженного повышением военной безопасности государства. Кроме того, такие инвестиции должны, по нашему мнению, приносить так называемый «условный эффект», выражающийся в снижении суммарных затрат на разработку, закупку, поставку в войска и эксплуатацию нового ВВСТ по сравнению с воспроизводством и использованием аналогов. А если это так, то наряду с использованием ВЭА, как основы, в целях более глубокой и всесторонней оценки целесообразности проведения НИОКР в отношении ВВСТ должны учитываться отдельные элементы методологии инвестиционного анализа, скорректированные с учетом особенностей данного вида инвестиций.

В соответствии с методологией ВЭА при исследовании вопросов целесообразности разработки новых изделий необходимо учитывать два вида показателей: один из них должен иметь экономическое содержание, а второй отражать результат от реализации мероприятия, т.е. оценивать влияние на показатели эффекта (в отношении к ВВСТ часто используется термин «показатели боевой эффективности»).

Расчет показателей эффекта достаточно специфический вопрос. При их определении учитывается, как правило, множество параметров-аргументов, каждый из которых рассчитывается на базе тактико-технических характеристик образца. В настоящее время вопросы выбора комплексного показателя либо системы показателей эффекта для многих видов изделий определены, разработаны модели и методики, на базе которых проводится их расчет. При этом не принципиально каким способом он рассчитывается: индуктивным, т.е. вне связи

образца или со значительными упрощениями процесса применения либо на основе использования разработанных и принятых моделей функционирования изделий (с учетом моделей боевых действий в составе группировки ВВСТ, системы противодействия противника и т.д.).

Выбор показателей эффекта выходит за рамки данной статьи. Поэтому в дальнейшем полагаем, что показатель эффекта выбран и может быть рассчитан.

В соответствии с основами инвестиционного анализа разновременность вложения средств по этапам жизненного цикла изделий требует проведения временной оценки финансовых потоков, т.е. их приведения к текущей (приведенной) стоимости на начало рассматриваемого временного интервала[1]. Под приведенными затратами на реализацию проекта по созданию образцов ВВСТ понимается сумма дисконтированных на начало периода элементов денежного потока, связанного с разработкой, производством требуемого количества образцов, их поставкой в войска, эксплуатацией и утилизацией.

Временная теория стоимости денег исходит из предположения, что деньги, являясь специфическим товаром, со временем меняют свою стоимость и, как правило, обесцениваются. Изменение со временем стоимости денег происходит под влиянием ряда факторов. Важнейшими факторами являются инфляция и способность денег приносить доход при условии их разумного инвестирования в альтернативные проекты. Ставка приведения (дисконтирования) денежного потока к единой временной точке должна представлять относительную стоимость ресурсов, при помощи которой впоследствии определяется их абсолютная стоимость, отвлекаемая из проекта и передаваемая субъектам, предоставившим ресурсы, и представляющая их доход[2]. Учитывая, что разработка образцов ВВСТ проводится в основном на бюджетные средства, в качестве нормы дисконта необходимо брать ключевую ставку (ставку рефинансирования) ЦБ.

При оценке целесообразности вложения средств в разработку изделия сравнительный анализ необходимо проводить между следующими альтернативными вариантами:

- разработка и постановка на боевое дежурство перспективных изделий взамен образцов-аналогов, снимаемых с вооружения (исследуемое направление вложения средств);
- воспроизводство аналогов и замена ими образцов с истекшим сроком эксплуатации (опорный вариант).

С учетом изложенного разработка изделия с заданными ТТХ будет целесообразной, если:

$$C_{\sum \text{прив}} < C^*_{\sum \text{прив}}, \text{ при } W = W^* \quad (1)$$

или

$$\frac{C_{\sum \text{прив}}}{W} < \frac{C^*_{\sum \text{прив}}}{W^*}, \quad (2а)$$

либо

$$\frac{W}{C_{\sum \text{прив}}} > \frac{W^*}{C^*_{\sum \text{прив}}}, \quad (2б)$$

где: $C_{\sum \text{прив}}$, $C^*_{\sum \text{прив}}$ – суммарные приведенные затраты на реализацию варианта, предусматривающего разработку перспективного изделия и опорного варианта, соответственно;
W, W^* – показатель, отражающий эффект от реализации варианта с проведением НИОКР и опорного варианта, соответственно.

Оценка затрат на реализацию альтернативных вариантов не сложна по существу, но трудоемка и требует значительного количества исходных данных, получение которых в полном объеме и с необходимой достоверностью проблематично. Кроме того, государственным заказчикам работ при формировании программных и плановых документов (например, ГПВ, ГОЗ) приходится оперативно рассматривать значительный объем тематических карточек на проведение работ по созданию перспективных изделий. Для анализа такого массива данных требуется упрощенная методика оперативной оценки целесообразности разработки

[1] Аньшин В.М. Инвестиционный анализ: учеб. пособие. М.: Дело, 2000. 280 с.
[2] *Там же*.

изделий с заданными ТТХ. При этом методическая ошибка, обусловленная неполным учетом факторов, не должна существенно влиять на достоверность оценки.

Очевидно, что стоимостной показатель должен отражать суммарные затраты на разработку, производство требуемого количества изделий, их эксплуатацию в течение планируемого срока и утилизацию. Вместе с тем, как показал проведенный анализ, на результаты оценки целесообразности разработки новых изделий ощутимое влияние оказывает учет тех этапов, где значительны расхождения в денежных потоках. Это этапы разработки и производства образцов. Вследствие отдаленности периода эксплуатации изделий и их утилизации естественно снижение точности прогноза макроэкономических показателей и, как следствие, рост ошибки приведения эксплуатационных затрат и затрат на утилизацию к текущим ценам. Часто в значительной степени неопределенным, как показала практика, является сам срок эксплуатации, а затраты на утилизацию определяются главным образом видом изделий и почти не чувствительны к техническим характеристикам образцов.

В дополнение к этому следует отметить, что на ранних стадиях работ достаточно типична ситуация, когда с приемлемой достоверностью известны только сведения о стоимостных и временных показателях процессов разработки и производства изделий и то, как правило, не в полном объеме. Это стадии исследования перспектив развития ВВСТ, формирования проекта ГПВ, исследования и обоснования разработки перспективных изделий и т.п. Отмеченные обстоятельства обеспечивают правомочность такой постановки задачи, в которой учитываются только этапы их разработки и производства.

Разрабатываемые образцы имеют по сравнению с аналогами более высокий показатель боевой эффективности, но, как правило, и большую цену. Поэтому задача оценки целесообразности вложения средств в разработку изделия, по существу, может быть сведена к определению таких соотношений между ростом показателя эффекта и стоимостным показателем, при достижении которых обеспечивается выполнение условий (1) и (2).

Введем следующие обозначения:

$C^{\text{окр}}_{\sum t_б}, C^{\text{окр}}_{t(t_б)}$ – соответственно суммарные затраты на проведение НИОКР по созданию перспективного изделия и затраты на проведение НИОКР в t-*м* году в ценах базового года ($t_б$);

$t_б$ – условный номер года, предшествующего началу проведения НИОКР, в ценах которого рассчитываются базовые стоимостные показатели;

$t^{\text{окр}}_{\text{н}}$, $t^{\text{окр}}_{\text{к}}$ – год начала и окончания этапа разработки изделия, соответственно;

$T^{\text{окр}}$, $T^{\text{изг}}$ – продолжительности ОКР и период изготовления изделий;

$\tilde{C}^{\text{изг}}_{t_б}$, $\tilde{C}^{*\text{изг}}_{t_б}$ – цена (в условиях базового года) разрабатываемого образца и его аналога;

$t^{изг}_{н}$, $t^{изг}_{к}$ – год начала и окончания этапа производства перспективных изделий (аналогов);

$\propto_t$ – темп инфляции (темп прироста цен) в t-м году (коэффициенты-дефляторы на НИОКР и производство изделий);

r_t– ставка дисконтирования (норма дисконта) в t-м году.

Дополнительно введем следующие понятия и их обозначения:

$K_{\text{с}}$ – коэффициент изменения цены перспективного изделия вследствие улучшения его эксплуатационно-технических характеристик (показателей качества) по отношению к базовому образцу:

$$K_{\text{с}} = \tilde{C}^{\text{изг}}_{t_б} / \tilde{C}^{*\text{изг}}_{t_б}; \tag{3}$$

K_w – коэффициент изменения (роста) показателя эффекта разрабатываемого образца по отношению к базовому изделию:

$$K_w = W / W^*; \tag{4}$$

$\text{K}_{\text{w/c}}$, $K_{c/w}$ – коэффициент относительного роста боевой эффективности и стоимости, соответственно:

$$K_{w/c} = K_w / K_{\text{с}}, \tag{5}$$

$$K_{c/w} = K_{\text{с}} / K_w; \tag{6}$$

$K^{\text{прив}}_t$ – коэффициент приведения затрат t-го года к базовому году.

С учетом принятых обозначений и введенных положений как критерий (1), так и (2а), (2б), путем несложных математических преобразований сводятся к условию:

$$K_{w/c} > K_{w/c}^{\text{пред}}, \tag{7}$$

либо:

$$K_{c/w} < K_{c/w}^{\text{пред}}, \tag{8}$$

где:

$$K_{w/c}^{\text{пред}} = 1 + \sum_{t_{\text{н}}^{\text{окр}}}^{t_{\text{к}}^{\text{окр}}} C_{t(t_{\text{б}})}^{\text{окр}} \cdot K_t^{\text{прив}} / \sum_{t_{\text{н}}^{\text{изг}}}^{t_{\text{к}}^{\text{изг}}} C_{t(t_{\text{б}})}^{\text{изг}} \cdot K_t^{\text{прив}}, \tag{9}$$

$$K_{\text{c/w}}^{\text{пред}} = 1/[1 + \sum_{t_{\text{н}}^{\text{окр}}}^{t_{\text{к}}^{\text{окр}}} C_{t(t_{\text{б}})}^{\text{окр}} \cdot K_t^{\text{прив}} / \sum_{t_{\text{н}}^{\text{изг}}}^{t_{\text{к}}^{\text{изг}}} C_{t(t_{\text{б}})}^{\text{изг}} \cdot K_t^{\text{прив}}]; \tag{10}$$

$K_{\text{c/w}}^{\text{пред}}$ – верхняя граница коэффициента относительного роста стоимости разрабатываемого изделия, превышение которого недопустимо и нецелесообразно с военно-экономической точки зрения;

$K_{w/c}^{\text{пред}}$ – нижняя граница относительного коэффициента роста эффективности перспективного изделия, только при достижении и превышении которого будет обеспечена военно-экономическая целесообразность его разработки.

Коэффициент приведения рассчитывается по формуле:

$$K_t^{\text{прив}} = \prod_{t=1}^{t} \frac{(1+\propto_t)}{(1+r_t)}. \tag{11}$$

Для получения табличных значений допустимых коэффициентов относительного роста стоимости и эффективности разрабатываемого изделия введем следующие ограничения и положения, которые существенно упрощают задачу и алгоритм ее решения и позволяют, как показали расчеты, получить устойчивые решения в условиях существенной неопределенности сроков разработки и производства изделий, незначительно отражаясь на достоверности оценок:

- Финансовый поток формируется в конце года.
- Производство образцов равномерное, т.е. объемы годового выпуска образцов в натуральном выражении постоянны. Производство начинается на следующий год после планируемого срока окончания разработки перспективного образца.
- Строительство (реконструкция) объектов производственного назначения для организации серийного производства и объектов для обеспечения эксплуатации не предусмотрено (не учитывается).
- Затраты на подготовку производства не учитываются.
- Производство образцов-аналогов в базовом варианте равномерное и осуществляется в сроки, предусмотренные для производства перспективных изделий.

В целях универсализации методики, оперативности проведения оценок на основе расчетных табличных значений коэффициентов $K_{\text{c/w}}^{\text{пред}}$ ($K_{w/c}^{\text{пред}}$) введем показатель $\delta^{\text{окр}}$, характеризующий отношение затрат на проведение НИОКР по разработке перспективного изделия к суммарным затратам на их закупку:

$$\delta^{\text{окр}} = \frac{C_{\sum t_{\text{б}}}^{\text{окр}}}{\tilde{C}_{t_{\text{б}}}^{\text{изг}} * N}, \tag{12}$$

где: $C_{\sum t_{\text{б}}}^{\text{окр}}$ – затраты на проведение НИОКР по разработке перспективного изделия в базовых ценах; $\tilde{C}_{t_{\text{б}}}^{\text{изг}}$ – цена разрабатываемого образца в базовых ценах.

При проведении расчетов темп инфляции ($\propto_t$) принят на уровне целевого показателя 4%.

Существуют определенные трудности в прогнозировании учетной ставки. Несмотря на влияние учетной ставки на уровень инфляции и темпы роста экономики, установить количественную взаимосвязь между указанными показателями проблематично, особенно в условиях

неустойчивого развития экономики. Вместе с тем, как показал проведенный нами анализ, в условиях стабильного развития экономики страны коэффициент корреляции между темпом инфляции и годовой средневзвешенной учетной ставкой достигает $0{,}65 - 0{,}70$. Поэтому, полагая, что экономика страны в перспективе из развивающейся перейдет в разряд развитой и между учетной ставкой и темпом инфляции установится устойчивая связь, показатель r_t будем определять на основе прогноза темпа инфляции или его целевого показателя.

С учетом анализа статистических данных при расчетах норму дисконта можно определять по зависимости:

$$r_t = \alpha_t + 0{,}035, \tag{13}$$

либо принимать на уровне $7 - 8\%$.

Предельные допустимые значения коэффициента относительного роста стоимости разрабатываемого изделия по отношению к прототипу представлены в таблице 1. Алгоритм оценки военно-экономической целесообразности разработки изделия с заданными ТТХ представлен на рисунке 1.

Таблица 1 – Верхняя граница допустимых значений коэффициента $K_{\text{c/w}}^{\text{пред}}$

$T^{\text{окр}}$, лет	r, %	$\delta^{\text{окр}}$, %									$T^{\text{изг}}$, лет	
		10	20	30	40	50	60	70	80	90		
3	6	0,89	0,81	0,74	0,68	0,63	0,58	0,55	0,51	0,48	0,46	≤ 15
	8	0,88	0,78	0,71	0,64	0,59	0,55	0,51	0,47	0,44	0,42	≤ 15
	10	0,87	0,76	0,67	0,67	0,62	0,57	0,53	0,50	0,47	0,44	5
					0,64	0,58	0,54	0,50	0,47	0,44	0,41	10
					0,61	0,55	0,51	0,47	0,44	0,41	0,38	15
5	6	0,89	0,81	0,73	0,67	0,62	0,58	0,54	0,51	0,48	0,45	≤15
	8	0,87	0,78	0,70	0,63	0,58	0,54	0,50	0,51	0,48	0,45	5
									0,49	0,46	0,43	10
									0,46	0,44	0,41	15
	10	0,85	0,75	0,72	0,65	0,60	0,56	0,52	0,49	0,46	0,43	5
				0,69	0,62	0,57	0,52	0,49	0,45	0,42	0,40	10
				0,66	0,59	0,54	0,49	0,46	0,42	0,39	0,37	15
10	6	0,89	0,80	0,72	0,66	0,61	0,57	0,53	0,50	0,47	0,44	≤ 15
	8	0,86	0,76	0,68	0,61	0,56	0,56	0,52	0,48	0,45	0,43	5
							0,53	0,49	0,46	0,43	0,41	10
							0,51	0,47	0,44	0,41	0,39	15
	10	0,83	0,72	0,68	0,62	0,57	0,52	0,48	0,45	0,42	0,39	5
				0,66	0,59	0,53	0,49	0,45	0,42	0,39	0,36	10
				0,63	0,56	0,50	0,46	0,42	0,39	0,36	0,34	15
15	6	0,88	0,79	0,71	0,65	0,60	0,56	0,52	0,48	0,46	0,43	≤15
	8	0,85	0,74	0,65	0,59	0,58	0,53	0,49	0,46	0,43	0,40	5
						0,55	0,51	0,47	0,44	0,41	0,38	10
						0,53	0,49	0,45	0,42	0,39	0,36	15
	10	0,81	0,68	0,65	0,58	0,53	0,48	0,44	0,41	0,38	0,36	5
				0,62	0,55	0,49	0,45	0,41	0,38	0,35	0,33	10
				0,59	0,52	0,46	0,42	0,38	0,35	0,32	0,30	15

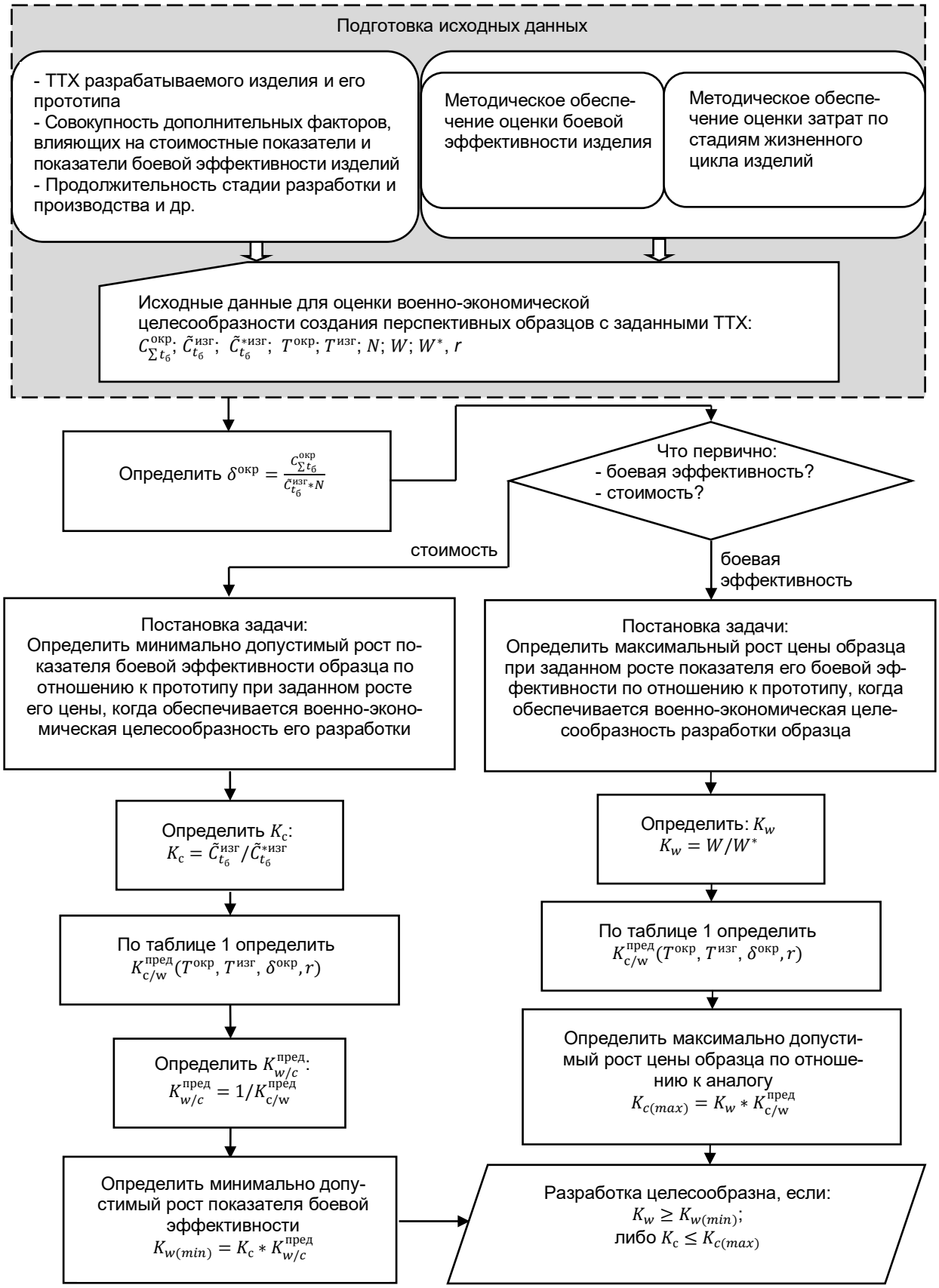


Рисунок 1 – Блок-схема оценки технико-экономической целесообразности разработки изделия с заданными характеристиками

Рассмотрим один из примеров оценки целесообразности разработки изделия с заданными характеристиками.

Пусть рассматривается вариант разработки изделия с некоторыми заданными характеристиками. В соответствии с проектами планов (программ) и в результате необходимых расчетов по подготовке исходных данных известны:

$T^{\text{окр}}$ – ожидаемая продолжительность разработки составляет 8 лет;

$T^{\text{изг}}$ – производство изделий осуществляется в течение 5 лет;

$\delta^{\text{окр}}$ – отношение затрат на проведение НИОКР по разработке перспективного изделия к суммарным затратам на их закупку составляет 40%;

цена изделия перспективного образца вследствие улучшения его эксплуатационно-технических характеристик (показателей качества) по отношению к базовому образцу выросла в 2 раза ($K_{\text{с}} = 2$).

Определить: как должна вырасти боевая эффективность образца по сравнению с прототипом, чтобы его разработка была целесообразной?

Учитывая, что в будущем прогнозируется стабильное развитие экономики, примем $r = 8\%$.

При известных $\delta^{\text{окр}} = 40\%$, $T^{\text{изг}} = 5$ лет, принятой ставке $r = 8\%$ по таблице 1 на основе интерполяции показателя $K_{\text{с/w}}^{\text{пред}}$ при сроках разработки 5 и 10 лет, принимаем: $K_{\text{с/w}}^{\text{пред}} = 0{,}62$.

Определяем $K_{w/c}^{\text{пред}}$:

$$K_{w/c}^{\text{пред}} = 1/K_{\text{с/w}}^{\text{пред}} = 1{,}61.$$

Определяем минимально допустимый рост показателя боевой эффективности разрабатываемого образца по отношению к прототипу:

$$K_{w(min)} = K_{\text{с}} * K_{w/c}^{\text{пред}} = 3{,}22.$$

Таким образом, разработка изделия будет целесообразна, если его характеристики обеспечат рост интегрального показателя боевой эффективности не менее чем в $3{,}22$ раза.

Проведенный анализ показал ужесточение требований к техническим и экономическим показателям изделий по мере увеличения сроков разработки изделия и их производства. Учитывая невысокую динамичность табличных значений $K_{\text{с/w}}^{\text{пред}}$ от указанных временных показателей, допускается в качестве входных параметров таблицы 1 принимать не плановые (ожидаемые) значения показателей $T^{\text{окр}}$ и $T^{\text{изг}}$, а их ближние более высокие значения.

Так, в рассмотренном выше примере табличное значение $K_{\text{с/w}}^{\text{пред}}$ можно принимать для $T^{\text{окр}} = 10$ лет и не проводить интерполяцию.

Предложенная методика обладает новизной (базируется на совместном использовании теории военно-экономического и отдельных положений инвестиционного анализов), обладает высоким уровнем обобщения и универсальна вследствие применения относительных показателей. Характеризуется высокой оперативностью оценок вследствие использования рассчитанных табличных значений критериальных показателей, отличается простотой в применении.

Предложенная методика может и должна использоваться при определении рациональных направлений расходования ресурсов, направленных на развитие ВВСТ. Здесь сравнительному анализу должны подвергаться только те варианты перспективных образцов, разработка которых будет целесообразна согласно проведенным на основе предлагаемой методики оценкам.

Список источников

1. Методология программно-целевого планирования развития системы вооружения на современном этапе / Под общ. ред. В.М. Буренка. М.: Граница, 2013. 519 с.
2. Военно-экономический анализ / Под ред. С.Ф. Викулова. М.: Воениздат, 2001. 350 с.
3. Лавринов Г.А. Состояние и тенденции развития методов военно-экономического обеспечения реализации планов развития вооружения и военной техники // Вооружение и экономика. 2012. №4(20). С. 72-85.
4. Буравлев А.И., Белорозов М.С., Михалкин А.В. К вопросу оптимального распределения ассигнований, выделяемых в программный период, на закупку и ремонт вооружения и военной техникой// Вооружение и экономика. 2024. №3(69). С. 13-19.
5. Михалкин А.В., Подольский А.Г. Постановка задачи рационального распределения бюджетных средств государственного оборонного заказа, выделенных на ремонт вооружения, военной и специальной техники // Вооружение и экономика. 2023. №2(64). С. 67-76.
6. Журавлев С. Модели не для моделей // Эксперт. 2008. №41(630). С. 64-66.
7. Фиров А.Н. Альтернативные методы прогнозирования социально-экономических показателей // Вопросы региональной экономики. 2011. №4(9). С. 31-43.

Информация об авторе

Н.В. Фиров – доктор экономических наук, профессор.

Научная статья
УДК 330.45

Модель оценивания военно-экономической эффективности применения технологий искусственного интеллекта в информационно-аналитической деятельности органов военного управления

Алексей Евгеньевич Николаев, Иван Александрович Абрамов

Аннотация. Статья посвящена исследованию вопросов методологии обоснования целесообразности применения технологий искусственного интеллекта в информационно-аналитической деятельности органов военного управления. Разработана модель, описывающая методический подход к оцениванию военно-экономической эффективности использования интеллектуальных программ в процессе выработки информационных решений. Предложенный подход представляет собой комплексирование методов теории эффективности, теории вероятностей и математической статистики. Он определяет алгоритм и методику расчета обобщенного показателя военно-экономической эффективности применения технологий искусственного интеллекта в информационно-аналитической деятельности органов военного управления и позволяет осуществить выработку оценочного суждения об их пригодности для решения информационно-аналитических задач.

Ключевые слова: технологии искусственного интеллекта; военно-экономическая эффективность; структурно-функциональная модель; информационно-аналитическая деятельность; органы военного управления

Для цитирования: Николаев А.Е., Абрамов И.А. Модель оценивания военно-экономической эффективности применения технологий искусственного интеллекта в информационно-аналитической деятельности органов военного управления // Вооружение и экономика. 2025. №4(74). С. 77-86.

Original article

Military-Economic Efficiency Assessment Model of Artificial Intelligence Technologies Application in the Course of Military Authorities Information and Analytical Activities

Aleksei E. Nikolaev, Ivan A. Abramov

Abstract. The article is devoted to the methodology issues analysis of the feasibility substantiation of artificial intelligence technologies application in the military authorities information and analytical activities. A model has been developed that describes a methodological approach to the military-economic efficiency assessment of intelligent software application in the process of information solutions working out. The proposed approach is based on a combination of the efficiency theory, probability theory and mathematical statistics methods. It defines an algorithm and methodology for a generalized indicator calculation of the military-economic efficiency of artificial intelligence technologies application in the course of military authorities information and analytical activities, and allows for the judgment development on their applicability for information and analytical tasks solution.

Keywords: artificial intelligence technologies; military-economic efficiency; structural and functional model; information and analytical activities; military authorities

For citation: Nikolaev A.E., Abramov I.A. Military-Economic Efficiency Assessment Model of Artificial Intelligence Technologies Application in the Course of Military Authorities Iinformation and Analytical Activities. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2025; 74(4): 77-86. (In Russ.).

Введение

В современных условиях результат вооруженного противоборства фактически определяется не только возможностями войск (сил), но и степенью согласованности их действий, направленных на достижение стратегических целей и задач. Исследование ряда научных работ в сфере военного управления показывает, что одной из основных возможностей достижения превосходства над противником в этой связи выступает повышение эффективности деятельности органов военного управления (ОВУ) в процессе выработки ими качественных информационных решений [1, с.51].

В настоящее время эффективность управления силами и средствами обеспечивается посредством информационно-расчетной и аналитической поддержки, осуществляемой в процессе информационно-аналитической деятельности (ИАД) ОВУ. Под ИАД ОВУ следует рассматривать непрерывный процесс всестороннего изучения объектов (явлений)

© Николаев А.Е., Абрамов И.А., 2025

наблюдения, включающий сбор, учет, систематизацию, анализ и обобщение сведений, подготовку на этой основе данных в форме отчетно-информационных документов для доклада руководству, а также доведение их до других заинтересованных инстанций [1].

Критическая оценка современной практики ведения ИАД ОВУ показывает, что в настоящее время она ни по форме, ни по содержанию, ни по степени технологической и методологической оснащенности в полной мере не соответствует требованиям, предъявляемым к ней. К основным причинам вышеуказанного следует отнести:

- ужесточение требований к управлению войсками (силами), исходящими из новых реалий ведения вооруженного противостояния;
- усложнение характера действий войск наряду с сокращением ресурса времени на реализацию информационно-управленческих функций;
- резкий рост объемов неструктурированной (слабоструктурированной) информации и ограниченность современных технологий обработки и анализа данных;
- разрозненность практического опыта аналитиков, осуществляющих информационно-аналитическую деятельность.

В этой связи особую актуальность приобретают вопросы применения методов и алгоритмов технологий искусственного интеллекта (ИИ), которые позволят обеспечить решение задач сбора, обработки и анализа неструктурированных (слабоструктурированных) данных в автоматизированном и автоматическом режимах при решении задач по управлению войсками (силами) [2, с.36]. Создание и развитие систем ИИ становится в настоящее время одним из важнейших направлений научно-технического прогресса, той самой технологией, которая способна коренным образом изменить характер не только вооруженной борьбы, но и всей сути силового противостояния государств [3, с.112].

Вместе с тем, несмотря на достаточно высокий уровень развития инструментальных средств ИИ, единого научно-методического аппарата оценивания военно-экономической эффективности (ВЭЭ) применения технологий ИИ в ИАД ОВУ войск (сил), учитывающего совместное функционирование и развитие искусственного и естественного интеллекта, не сформировано.

Таким образом, потенциал применения технологий ИИ для решения информационно-аналитических задач, с одной стороны, и отсутствие единых научно-теоретических основ обоснования целесообразности их использования в ИАД ОВУ с другой – определило актуальность проведения исследования по разработке научно-методического аппарата оценивания ВЭЭ применения технологий ИИ в ИАД ОВУ. По мнению авторов, для достижения положительного результата исследования необходимо решить комплекс взаимосвязанных частных научных задач. Одной из них является разработка структурно-функциональной модели оценивания ВЭЭ применения технологий ИИ в ИАД ОВУ.

Структурно-функциональная модель оценивания военно-экономической эффективности применения технологий искусственного интеллекта в информационно-аналитической деятельности органов военного управления

Модель включает в себя пять основных элементов, соответствующих этапам оценивания эффективности операций: проблемный анализ; концептуальные исследования; операциональные исследования; детальные исследования; принятие решения (см. рисунок 1). Внутри этапов, а также между этапами возможны циклы, то есть возвраты после выполнения определенных пунктов (этапов) к предшествующим пунктам (этапам) в зависимости от получаемых промежуточных результатов[2].

Проблемный анализ (см. рисунок 2) непосредственно не входит в анализ ВЭЭ применения технологий ИИ в ИАД ОВУ. Он предваряет данное исследование, выступая его

[1] Ильиных В.А., Панков А.В., Фалеев П.А. Основы информационно-аналитической работы: принципы, методы, технологии: учебник. В 2 т. Т.1. СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2015. С. 12.

[2] Эффективность технических систем: справочник. В 10 т. Т.3 / Под ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крючкова. М.: Машиностроение, 1988. С. 47.

необходимым начальным этапом. В результате реализации первого этапа определяются: цель и задачи оценивания; перечень описывающих характеристик внешней среды в виде условий-ограничений; совокупность допущений, при которых исследуется задача оценивания посредством модели.

Целью *концептуальных исследований* (см. рисунок 3) выступает изучение общих тенденций развития процесса ИАД ОВУ с применением информационных технологий (ИТ), форм и способов его организации, целей и задач систем (ИАД ОВУ) и подсистем (автоматизированная обработка информации, АОИ), принципов применения информационных технологий. Концептуальные исследования реализуются на ранних этапах принятия решений в целях определения наиболее рациональных альтернатив технологических средств обеспечения ИАД ОВУ неформальным (описательным) путем. На данном этапе осуществляется аналитическое или логическое представление выбранных показателей и критерия оценивания ВЭЭ в связи с факторами, определяющими их значение; выбор метода решения оценивания.

Целью *операциональных исследований* (см. рисунок 4) выступает более подробный анализ процесса ИАД ОВУ с применением альтернатив информационных технологий, обозначенных в ходе концептуального исследования. Степень обобщения фактов на данном этапе ниже, чем при концептуальных исследованиях, что предоставляет возможность определить функциональные структуры операций, технические средства, которые должны обеспечивать достижение поставленных задач, а также перечни задач конкретным подсистемам (средствам), показатели и критерии их выполнения, сами подсистемы и связи между ними. Общей задачей операциональных исследований является разработка практических рекомендаций по вопросу выбора рациональных ИТ для обеспечения ИАД ОВУ.

Детальные исследования (см. рисунок 5) направлены на анализ свойств реализации АОИ и ИАД с применением технологий ИИ. Для данного этапа исследований характерна низкая степень обобщения факторов. Детальные исследования – последний уровень декомпозиции общей задачи исследования эффективности – обеспечивают решение всех вопросов, касающихся обоснования использования технологий ИИ в ИАД ОВУ.

Расчет показателя ВЭЭ применения технологий ИИ в ИАД ОВУ на данном этапе осуществляется на двух уровнях: оценивание качества результатов операции; оценивание качества самой операции, называемого ее эффективностью. На первом уровне оценивания для получения расчетных данных реализуется испытание системы. Его целью выступает экспериментальное определение количественных свойств технологии ИИ как результата воздействия на него при его функционировании [6, с.29]. Для проведения испытания подготавливаются тестовые данные и исследуется способность технологий ИИ осуществлять их обработку и анализ в условиях, приближенных к реальным условиям реализации ИАД ОВУ. В ходе испытаний исследуются метрики точности и степени выполнения интеллектуальными технологиями информационно-аналитических задач m_l (ассоциация, классификация, ранжирование, кластеризация, регрессия, пронозирование) с учетом технологических областей их применения (экспертные системы, компьютерное зрение, обработка естественного языка, распознавание и синтез речи), а также вероятность проявления совокупности угроз p_l, которые могут привести к невозможности достижения цели ИАД. Кроме того, определяется было ли по результатам ИАД с применением технологий ИИ разработано и принято к дальнейшему использованию в деятельности ОВУ информационное решение (фиксируется факт достижения цели ИАД).

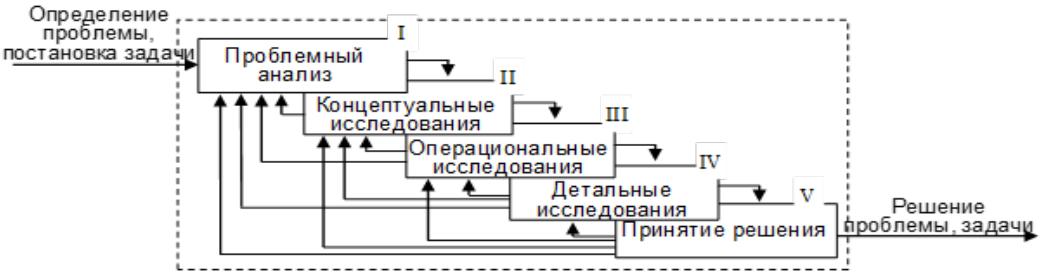


Рисунок 1 – Этапы оценивания эффективности операций

I. Проблемный анализ
1.1. Определение проблемы
Противоречие между практически признанным потенциалом использования технологий ИИ в ИАД ОВУ в условиях растущих требований к качеству и оперативности решения информационно-аналитических задач и отсутствием единых научно-теоретических основ обоснования целесообразности их использования в данной функциональной области
1.2. Модель проблемной ситуации
$< Q, \Lambda, G, X, H, W, \psi, K, \Phi, \theta >$,
где: Q – множество альтернатив технологий обработки и анализа данных;
Λ – множество значений факторов;
G – множество исходов ИАД ОВУ;
X – множество характеристик исхода ИАД (числовое выражение результата ИАД);
H – модель, ставящая в соответствие множествам технологий Q и факторов Λ множество результатов $X(G)$;
W – показатель эффективности применения технологий ИИ в ИАД ОВУ;
Ψ – оператор соответствия «результат – показатель»;
K – критерий пригодности;
Φ – модель предпочтений ЛПР на элементах множества $< Q, \Lambda, G, X, W, \psi, K >$;
θ – информация ЛПР об элементах проблемной ситуации [4, с.121].
1.3. Факторы, определяющие эффективность применения технологий ИИ в ИАД ОВУ
1. Свойства операции, в которой технология ИИ выступает в качестве активного средства: результативность, ресурсоемкость, оперативность
2. Условия функционирования технологий ИИ: управляемые (способ применения), неуправляемые (природные условия, воздействие противника на среду)
3. Условия применения технологий ИИ: управляемые (стратегия применения, организация ИАД ОВУ), неуправляемые (фаза жизненного цикла)
1.4. Допущения
1. Оценивание эффективности применения технологий ИИ в ИАД ОВУ осуществляется при идеальном способе использования технологии ИИ
2. При оценивании эффективности не учитывается случайная величина, характеризующая используемую технологией информацию. Допускается, что для получения результата применения информационных технологий расходуются все имеющиеся информационные ресурсы, так называемый «эффект поглощения»
1.5. Ограничения
1. Оценивание ВЭЭ осуществляется на уровне решений должностных лиц соединений и воинских частей, непосредственно организующих и реализующих ИАД
2. Военно-экономическая эффективность определяется как степень приспособленности технологии к решению информационно-аналитических задач. Это предполагает, что технология уже существует и ее проектный облик известен, а, следовательно, затраты ресурсов на осуществление мероприятий по ее созданию фиксированы
3. Оценивание ВЭЭ реализуется на этапах (жизненного цикла) эксплуатации и сопровождения технологий ИИ
1.6. Цель оценивания ВЭЭ применения технологий ИИ в ИАД ОВУ – выработка оценочного суждения относительно целесообразности практического использования технологий ИИ для решения информационно-аналитических задач ОВУ
1.7. Постановка задачи оценивания
1. Принятие решения относительно допустимости практического использования (с точки зрения ВЭЭ) технологий ИИ в ИАД ОВУ
2. Определение степени соответствия применяемых технологий ИИ своему целевому назначению, решаемым задачам и выполняемым функциям в системе военного управления

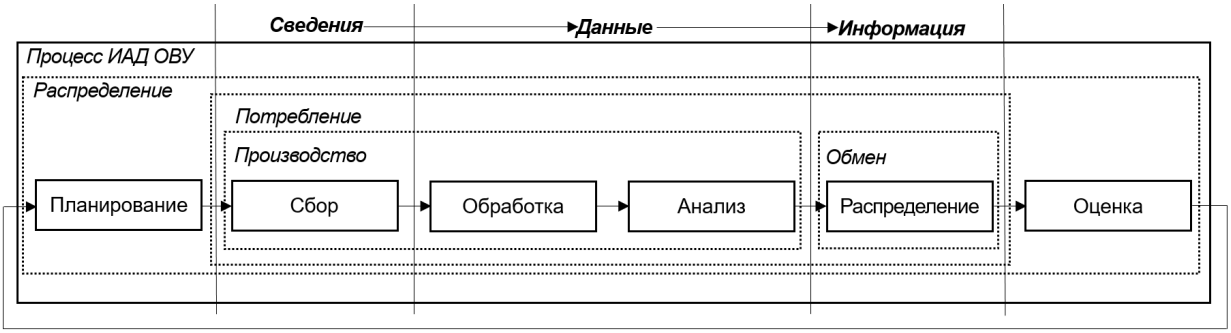
Рисунок 2 – Содержание этапа проблемного анализа

II. Концептуальные исследования

2.1. Описание метасистемы и подсистемы

Параметр	Система (наименование, уровень)	
	Метасистема – ИАД ОВУ	Система – АОИ
Цель	Повышение эффективности управления посредством информационно-аналитического обеспечения процессов принятия решений должностными лицами ОВУ	Повышение эффективности процессов обработки и анализа данных посредством использования информационных систем и технологий
Активные ресурсы	Информационные, трудовые	Информационные
Средства	Информационные технологии, интеллектуальная деятельность человека	Информационные технологии
Результат	Информационное решение	Информационный продукт

2.2. Структура процесса ИАД ОВУ



2.3. Методологические основы оценивания эффективности применения ИТ в ИАД ОВУ

Методологический уровень исследования: системный

Методы исследования: эмпирические (эксперимент, моделирование); теоретические (формализация, синтез, дедукция), количественные (статистические), качественные (экспертное интервью)

Основной принцип исследования: принцип декомпозиции систем

Уровни оценивания эффективности: оценивание качества результатов операции; оценивание качества самой операции, называемого ее эффективностью [5, с.56]

2.4. Показатель ВЭЭ применения ИТ в ИАД ОВУ: вероятность достижения цели ИАД ОВУ, реализуемой с использованием ИТ, при заданном комплексе условий

2.5. Критерий ВЭЭ применения ИТ в ИАД ОВУ: способность технологии обеспечивать достижение цели ИАД ОВУ при соответствии показателей качества результатов и непосредственно качества применения ИТ в ИАД ОВУ допустимым значениям (критерий пригодности)

2.6. Конкретизация задач исследования эффективности

Задача анализа эффективности технологий ИИ: $\psi: \{X|H: Q\text{x}\Lambda \overset{\theta}{\rightarrow} X(G)\} \overset{\theta}{\rightarrow} W$

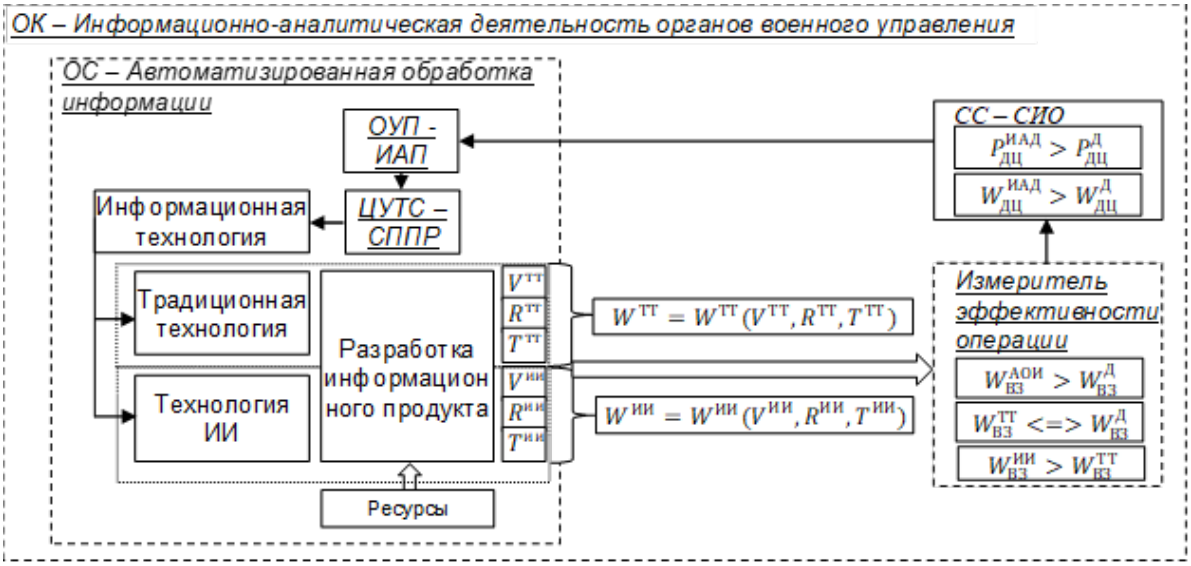
Задача выбора рациональной технологии обработки и анализа данных: $\Phi \overset{\theta}{\rightarrow} K: Q \overset{\theta}{\rightarrow} Q^*$,

где: Q^* – подмножество наилучших альтернатив технологий обработки и анализа данных

Рисунок 3 – Содержание этапа концептуальных исследований

III. Операциональные исследования

3.1. Модель ИАД ОВУ с использованием различных альтернатив ИТ



Обозначение	Физический смысл	Обозначение	Физический смысл
ОУП	– орган управления	W	– качество результата операции
ИАП	информационно-аналитическое подразделение	V	– результативность; целевой эффект
СИО	– система информационного обеспечения ОВУ	R	– ресурсоемкость; потребляемые ресурсы
СППР	– система поддержки и принятия решения	T	– оперативность; время операции
ОС	– операционная система	$P_{ДЦ}$	– вероятность достижения цели
СС	– суперсистема (метасистема)	$P_{ВЗ}$	– вероятность выполнения задачи
ОК	– операционный комплекс	$W_{ВЗ}$	– качество результата выполнения задачи
ЦУТС	– целеустремленная техническая система	$P^{Д}$	– допустимые значения вероятности достижения цели (задачи) операции
АОИ	– автоматизированная обработка информации	$W^{Д}$	– допустимые значения качества результата достижения цели (задачи) операции

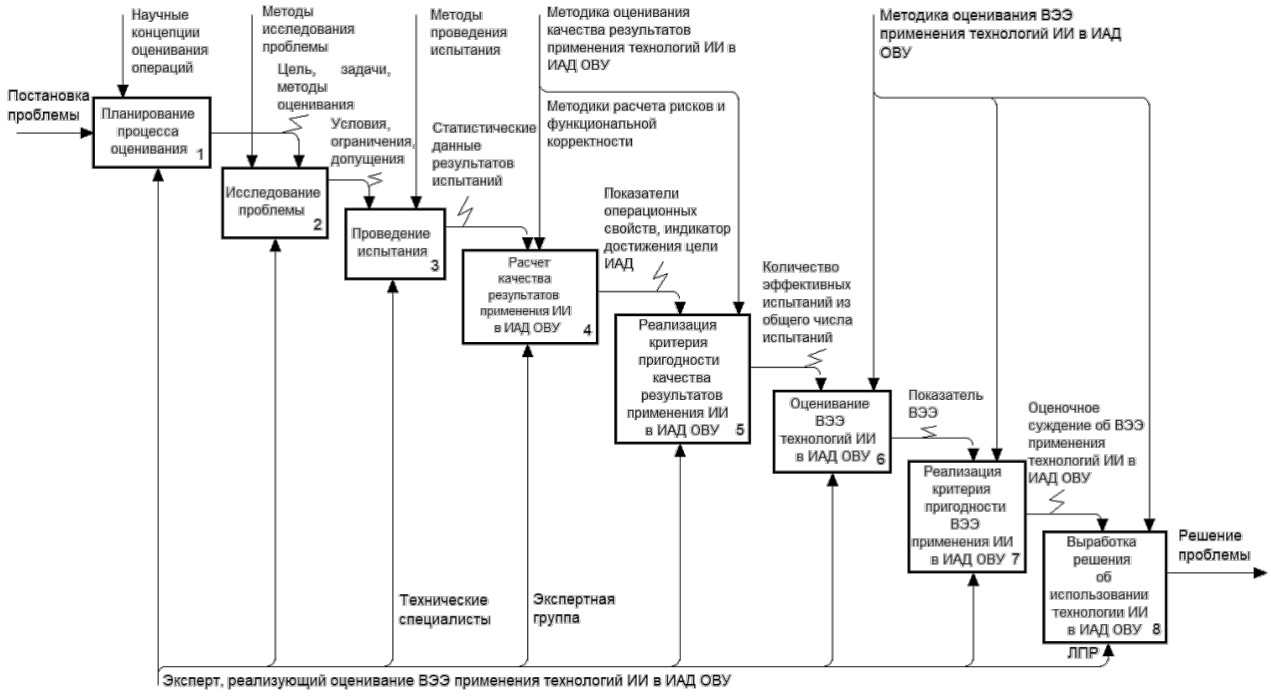
3.2. Результаты операциональных исследований

Применение технологий ИИ позволит получить новые операционные свойства АОИ, отличные и ожидаемо превосходящие по своим показателям операционные свойства, достигаемые посредством применения традиционного подхода обработки и анализа данных: $W_{ВЗ}^{ИИ} > W_{ВЗ}^{ТТ}$.
Новые операционные свойства исследуемого процесса $W_{ВЗ}^{АОИ} > W_{ВЗ}^{Д}$ ожидаемо приведут к улучшению операционных свойств ИАД ОВУ: $W_{ДЦ}^{ИАД} > W_{ДЦ}^{ТТ}$, что в итоге обеспечит увеличение вероятности достижения цели ИАД ОВУ: $P_{ДЦ}^{ИАД} > P_{ДЦ}^{Д}$

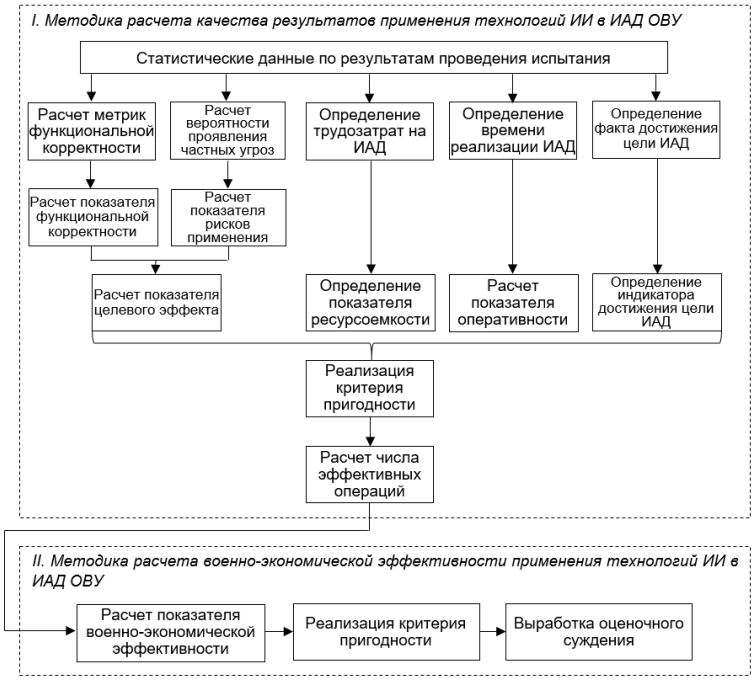
Рисунок 4 – Содержание этапа операциональных исследований

IV. Детальные исследования

4.1. Модель оценивания ВЭЭ применения технологий ИИ в ИАД ОВУ



4.2. Расчетная часть



4.3. Показатели ВЭЭ применения технологий ИИ в ИАД ОВУ

Показатель эффективности: $E^{\text{ИИ}} = \frac{n\left(W^{\text{ИАД}}\left(W^{\text{АОИ}}\right) \geq W_{\text{Д}}^{\text{ИАД}};\ I^{\text{ИАД}}=1\right)}{N}$

Критерий эффективности: $K^{\text{приг}}: \left(P_{\text{ДЦ}}^{\text{ИАД}}\left[W^{\text{ИАД}}\left(W^{\text{АОИ}}\right) \geq W_{\text{Д}}^{\text{ИАД}};\ I^{\text{ИАД}}=1\right] > P_{\text{Д}}^{\text{ИАД}}\right)$

Рисунок 5 – Содержание этапа детальных исследований

V. Принятие решения

5.1. Анализ результатов оценивания ВЭЭ применения технологий ИИ в ИАД ОВУ

Значение показателя		Оценочное суждение об эффективности технологий ИИ
min	max	
0,00	0,20	Низкая
0,20	0,37	Ниже среднего
0,37	0,63	Средняя
0,63	0,80	Выше среднего
0,80	1,00	Высокая

5.2. Принятие решения о целесообразности применения технологий ИИ в ИАД ОВУ

Оценочное суждение об эффективности технологий ИИ	Решение
Низкая	Доработка модели технологий ИИ или отказ от их использования в ИАД ОВУ
Ниже среднего	Доработка модели или дообучение технологий ИИ
Средняя	
Выше среднего	Использование технологий в ИАД ОВУ
Высокая	

Рисунок 6 – Содержание этапа принятия решения

Полученные значения метрик позволяют определить показатели функциональной корректности $F(AI)$ и рисков применения $R(AI)$ технологий ИИ в ИАД ОВУ, характеризующих целевой эффект. Порядок расчетов данных показателей был предложен авторами в ряде работ[3].

На основе результатов испытаний определяются значения показателей операционных свойств ИАД ОВУ (результативность, ресурсоемкость, оперативность) с применением технологий ИИ, описывающих качество результатов операции $W^{\text{ИАД}}$.

Результативность (целевой эффект) $V^{\text{ИИ}}$ характеризуется показателями функциональной корректности и рисков применения технологий ИИ в ИАД ОВУ: $V^{\text{ИИ}} = F(AI) \times R(AI)$.

Ресурсоемкость $R^{\text{ИИ}}$ описывается трудозатратами $R^{\text{ИАД}}$, необходимыми для доработки генерируемого технологией ИИ информационного продукта до информационного решения: $R^{\text{ИИ}} = R^{\text{ИАД}}$.

Оперативность $T^{\text{ИИ}}$ характеризуется временем автоматизированной $T^{\text{АОИ}}$ и интеллектуальной $T^{\text{ИОИ}}$ обработки и анализа данных: $T^{\text{ИИ}} = T^{\text{АОИ}} + T^{\text{ИОИ}}$.

Индикатор достижения цели ИАД $I^{\text{ИАД}}$ может принимать значения 1 или 0. В случае, если при использовании ИИ в ИАД ОВУ было выработано эффективное информационное решение, то $I^{\text{ИАД}} = 1$, если нет – $I^{\text{ИАД}} = 0$ и применение технологии ИИ неэффективно.

С учетом требований, предъявляемых к ИАД ОВУ, разрабатывается критерий пригодности: $K^{\text{приг}}: \left(V^{\text{АОИ}} \geq V_{\text{Д}}^{\text{АОИ}}, R^{\text{ИАД}} \leq R_{\text{Д}}^{\text{ИАД}}, T^{\text{ИИ}} \leq T_{\text{Д}}^{\text{ИИ}}, I^{\text{ИАД}} = 1\right)$. Реализация критерия пригодности позволяет на первом уровне оценивания определить количество эффективных операций $n\left(W^{\text{ИАД}}\left(W^{\text{АОИ}}\right) \geq W_{\text{Д}}^{\text{ИАД}};\ I^{\text{ИАД}} = 1\right)$ из общего числа испытаний N.

На втором уровне оценивания осуществляется расчет показателя ВЭЭ применения технологий ИИ в ИАД ОВУ, описываемый вероятностью достижения цели ИАД ОВУ,

[3] *См.*: Абрамов И.А. Методика оценивания функциональной корректности применения технологий искусственного интеллекта в информационно-аналитической деятельности органов военного управления // Альманах Пермского военного института войск национальной гвардии. 2025. №1(17). С. 108-117; *см.* также [7].

реализуемой с использованием технологий ИИ, при заданном комплексе условий: $P_{\text{ДЦ}}^{\text{ИАД}}(W^{\text{ИАД}}\left(W^{\text{АОИ}}\right) \geq W_{\text{Д}}^{\text{ИАД}};\ I^{\text{ИАД}} = 1)$.

Этап *принятия решения* (см. рисунок 6) носит больше организационный характер, чем исследовательский, являясь завершающей стадией оценивания. На данном этапе вырабатывается оценочное суждение об эффективности технологий ИИ посредством реализации критерия пригодности: $K^{\text{приг}}: (P_{\text{ДЦ}}^{\text{ИАД}}\left[W^{\text{ИАД}}\left(W^{\text{АОИ}}\right) \geq W_{\text{Д}}^{\text{ИАД}};\ I^{\text{ИАД}} = 1\right] > P_{\text{Д}}^{\text{ИАД}})$. Оценочное суждение позволяет прийти к решению о целесообразности дальнейшего использования технологий ИИ в ИАД ОВУ, их дообучения или доработки модели, или отказу от их применения.

Заключение

Таким образом, разработанная структурно-функциональная модель оценивания ВЭЭ применения технологий ИИ в ИАД ОВУ позволяет:
- определить общее содержание проблемы (цель, задачи, условия) исследования ВЭЭ применения технологий ИИ в ИАД ОВУ;
- исследовать существующие альтернативы организации и ведения ИАД ОВУ с использованием ИТ;
- выявить закономерности, связывающие эффективность ИАД ОВУ с функциональными качествами технологий ИИ;
- определить значение показателя оценивания ВЭЭ применения технологий ИИ в ИАД ОВУ.

Результаты, полученные в ходе разработки модели, послужили основой программной реализации приложения для ЭВМ[4].

Теоретические положения модели апробированы и реализованы в практической деятельности образовательных организаций Минобороны России:
- в образовательной деятельности при разработке учебно-методических материалов по дисциплинам «Системы искусственного интеллекта» и «Основы анализа данных» (Высшее военное училище противовоздушной обороны имени маршала Советского Союза Л.А. Говорова, Военный ордена Жукова университет радиоэлектроники, Военный университет имени князя Александра Невского);
- в научно-исследовательской деятельности при выполнении соответствующих научно-исследовательских работ (Михайловская военная артиллерийская академия).

В разработанной модели авторы абстрагировались от общетеоретических вопросов онтологии искусственного интеллекта и ориентировались, в первую очередь, на прагматические показатели оценивания военно-экономической эффективности их применения в информационно-аналитической деятельности органов военного управления. Таким образом, содержание работы раскрывает тему через призму военно-экономического анализа, что обеспечивает содержательное соответствие между поставленной целью исследования и полученными в нем результатами.

Список источников

1. Наумов В.В., Целыковских А.А., Шигин В.А. Методический подход к формированию нормативной модели информационно-аналитической деятельности органа военного управления // Вестник Военной академии материально-технического обеспечения. 2023. №1(33). С. 49-55.

2. Филиппских Е.Э., Белокопытов М.Л., Кокорев А.В., Владимиров В.В., Иванов И.Г. Предложения по автоматизации деятельности органов военного управления путем реализации методов и алгоритмов искусственного интеллекта в части сбора, обработки и анализа неструктурированных

[4] Абрамов И.А., Кирсанов Д.Д. Программа оценивания военно-экономической эффективности применения технологий искусственного интеллекта в информационно-аналитической деятельности органов военного управления: свидетельство о госрегистрации программы для ЭВМ №RU2025669974. Зарег. 23.07.2025; опубл. 01.08.2025.

(слабоструктурированных) данных // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2019. №7-8(133-134). С. 35-42.

3. Буренок В.М. Искусственный интеллект в военном противостоянии будущего // Военная мысль. 2021. №4. С. 106-112.

4. Микони С.В., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Квалиметрия моделей и полимодельных комплексов: монография. М.: РАН, 2018. 314 с.

5. Петухов Г.Б., Якунин В.И. Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем. М.: АСТ, 2006. 504 с.

6. Горский А.С., Полушкин В.М., Ермоленко А.В. Комплексный подход к проведению испытаний систем искусственного интеллекта // Вооружение и экономика. 2024. №3(69). С. 28-38.

7. Николаев А.Е., Абрамов И.А. Методика оценивания рисков применения технологий искусственного интеллекта в информационно-аналитической деятельности органов военного управления // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2025. №3-4(201-202). С. 31-37.

Информация об авторах

А.Е. Николаев – доктор экономических наук, доцент, SPIN код автора 6958-4819.

И.А. Абрамов – ORCID- идентификатор автора 0009-0003-3971-0245.

МЕНЕДЖМЕНТ

Научная статья
УДК 629.7.05

Применение цифровых технологий и искусственного интеллекта при испытаниях военной продукции

Сергей Сергеевич Голубев, Александр Леонидович Афанасьев, Юрий Александрович Петров

Аннотация. В исследовании рассматриваются современные подходы к применению цифровых технологий и искусственного интеллекта в процессе испытаний военной продукции. Анализируются преимущества цифровизации цифровых технологий испытаний, приводятся примеры реализации цифровых полигонов, цифровых двойников и систем предиктивной аналитики в испытаниях. Отдельное внимание уделяется проблемам и перспективам внедрения искусственного интеллекта в испытательную практику оборонной промышленности.

Ключевые слова: цифровые технологии; искусственный интеллект; военная продукция; испытания; цифровой двойник; цифровой полигон; оборонная промышленность

Для цитирования: Голубев С.С., Афанасьев А.Л., Петров Ю.А. Применение цифровых технологий и искусственного интеллекта при испытаниях военной продукции // Вооружение и экономика. 2025. №4(74). С. 88-105.

Original article

Application of Digital Technologies and Artificial Intelligence in the Process of Military Products Tests

Sergei S. Golubev, Aleksandr L. Afanasev, Iurii A. Petrov

Abstract. The study examines modern approaches to the digital technologies and artificial intelligence application in the process of military products tests. The digital transformation advantages of digital test technologies are analyzed, and examples of the digital test sites, digital twins, and predictive analytics systems implementation in tests are given. Special attention is paid to the problems and prospects of artificial intelligence adaptation for the test practice of the defense industry.

Keywords: digital technologies; artificial intelligence; military products; tests; digital twin; digital test site; defense industry

For citation: Golubev S.S., Afanasev A.L., Petrov Iu.A. Application of Digital Technologies and Artificial Intelligence in the Process of Military Products Tests. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2025; 74(4): 88-105. (In Russ.).

Введение

Испытания военной продукции являются критическим этапом в жизненном цикле (ЖЦ) вооружений. Традиционные методы испытаний часто требуют значительных временных и финансовых затрат, а также сопряжены с рисками выхода из строя опытных образцов. Современные цифровые технологии и искусственный интеллект (ИИ) позволяют существенно сократить сроки испытаний, снизить их стоимость и повысить достоверность результатов [1].

Испытания военной продукции являются одним из наиболее важных этапов в ЖЦ вооружения и военной техники (ВВТ). От их качества и полноты напрямую зависят надежность, эффективность и безопасность эксплуатации создаваемых образцов вооружения. Испытания позволяют:

- подтвердить соответствие образцов вооружения требованиям техзадания и госстандартов;
- выявить скрытые конструктивные недостатки, которые невозможно определить на стадии проектирования;
- оценить ресурсные характеристики, устойчивость к внешним воздействиям, надёжность систем управления и вооружения;
- определить возможности дальнейшей модернизации и пути повышения боевых характеристик.

В условиях современных вооружённых конфликтов, характеризующихся высокой динамикой и технологичностью, важность качественных и достоверных испытаний многократно возрастает. Военная техника должна демонстрировать высокую устойчивость к кибератакам, радиоэлектронному подавлению, экстремальным климатическим и механическим нагрузкам. Ошибки или недоработки, выявленные при эксплуатации, могут привести к

© Голубев С.С., Афанасьев А.Л., Петров Ю.А., 2025

катастрофическим последствиям как для личного состава, так и для обороноспособности государства в целом. Поэтому существующая система испытаний в Российской Федерации является не просто процедурой контроля качества, а стратегическим инструментом обеспечения национальной безопасности [2].

Традиционные методы испытаний, основанные на натурных экспериментах, требуют значительных временных и материальных затрат. Нередко для проверки одного образца вооружения необходимо провести сотни испытаний в различных условиях эксплуатации. Это сопровождается большими расходами топлива, амортизацией техники, затратами на содержание и развитие испытательных полигонов и подготовку персонала. Более того, испытания опытных образцов зачастую сопряжены с их повреждением или полной утратой. Применение цифровых технологий и ИИ существенно меняет ситуацию.

Основные преимущества заключаются в следующем. Цифровое моделирование и цифровые двойники позволяют создавать виртуальные копии военной техники, которые воспроизводят все её физические, механические и функциональные характеристики; испытания цифровых моделей позволяют заранее предсказать возможные неисправности и слабые места конструкции без проведения дорогостоящих натурных испытаний.

Большие данные (Big Data) и предиктивная аналитика благодаря датчикам, установленным на опытных образцах вооружения, генерируют огромные массивы информации. ИИ способен обрабатывать эти данные в реальном времени, выявлять закономерности и прогнозировать вероятность отказов.

Автоматизация позволяет обеспечить сокращение времени испытаний. Алгоритмы машинного обучения позволяют в десятки раз ускорить обработку данных испытаний, а цифровые (виртуальные) полигоны дают возможность моделировать десятки сценариев боевого применения параллельно, что невозможно в натурных условиях.

Цифровые испытания позволяют снизить расходы на 20-40%, при этом уменьшается риск выхода из строя дорогостоящих опытных образцов, а также опасность для личного состава, задействованного в испытаниях.

Таким образом, цифровизация испытательных процессов становится неотъемлемым условием модернизации оборонно-промышленного комплекса. Она позволяет объединить традиционные натурные испытания с виртуальным моделированием, что обеспечивает комплексный подход к оценке эффективности военной техники.

Основными проблемами внедрения ИИ при испытаниях продукции являются угрозы кибербезопасности, связанные с использованием облачных платформ и сетей IoT (интернет вещей); а также ограниченная надёжность и верифицируемость цифровых моделей, поскольку результаты ИИ напрямую зависят от качества исходных данных и корректности алгоритмов. Имеет место недостаточная нормативно-правовая база, не полностью регламентирующая применение ИИ в критически важных и оборонных отраслях. Главной проблемой являются кадровые и организационные сложности, выражающиеся в дефиците специалистов, способных одновременно работать с испытательными методиками, Big Data и алгоритмами машинного обучения.

Совмещение возможностей ИИ и цифровых технологий открывает путь к созданию полностью интегрированных систем испытаний, где каждый этап – от проектирования до боевого применения – может контролироваться в цифровой среде. Это не только ускоряет процесс разработки вооружений, но и повышает их надёжность, что имеет стратегическое значение для обороноспособности страны.

Методы исследования

При подготовке статьи использован комплекс методов исследования, обеспечивающих целостный анализ проблемы. В качестве основного метода исследования использовался теоретический анализ и систематизация литературы, осуществлялось изучение научных публикаций, нормативных документов (ГОСТ, стандарты НАТО, ISO) и аналитических отчётов (DARPA, RAND Corporation, Lockheed Martin, Ростех). Далее проводилась систематизация и классификация существующих подходов к цифровизации испытаний. Авторами применен сравнительный метод, который применялся при сопоставлении традиционных методов испытаний с

цифровыми технологиями (цифровые двойники, IoT, Big Data, дополненная и виртуальная реальность – AR/VR), сравнении отечественного и зарубежного опыта (Россия – США – НАТО), а также при построении сравнительных таблиц по критериям: стоимость, время, точность, риски. Авторы применяли методы прогнозирования, предлагая использование принципа цифрового двойника как теоретической основы моделирования испытаний и методов предиктивной аналитики для оценки снижения отказов и повышения надёжности систем. Осуществлялось прогнозирование эффективности внедрения цифровых технологий (сокращение сроков и затрат). Методы экономического анализа применялись при оценке экономического эффекта внедрения цифровых технологий на основе данных о снижении стоимости испытаний и расчёте относительных показателей экономии и сроков сокращения испытаний. Использование методов затраты-эффективность позволило провести оценку цифровых полигонов.

Визуализация и статистический анализ данных применялся при построении графиков и диаграмм, отражающих динамику внедрения технологий, экономический эффект, сокращение сроков испытаний. Использование методов визуальной аналитики позволило наглядно представить риски и преимущества цифровизации.

Сценарный подход (метод прогнозных сценариев) применялся при формировании возможных сценариев развития испытаний в будущем: интегрированные цифровые полигоны, генеративный ИИ, квантовые вычисления и выявление рисков и преимуществ каждого сценария для оборонной промышленности.

В результате сочетание этих методов позволило выявить сильные и слабые стороны цифровизации испытаний, показать её эффективность по сравнению с традиционными подходами, обозначить риски (кибербезопасность, нормативные барьеры, кадровый дефицит), а также предложить перспективные направления развития.

В настоящем исследовании результаты и выводы получены с учётом ряда допущений и ограничений, обусловленных спецификой применения цифровых технологий и ИИ при испытаниях продукции.

Во-первых, цифровые модели и цифровые двойники рассматриваются как дополнение к натурным испытаниям, а не их полная замена. Для критически важных этапов, связанных с безопасностью, приёмкой и сертификацией изделий, приоритет сохраняется за натурными методами испытаний.

Во-вторых, применение методов ИИ ограничено доступностью и качеством исходных данных. При испытаниях новых изделий объём достоверных экспериментальных данных, как правило, недостаточен, что вынуждает использовать синтетические данные, полученные на основе классических цифровых моделей. Это создаёт риск накопления ошибок и требует строгой верификации и валидации результатов.

В-третьих, экономические показатели эффективности цифровизации испытаний в статье приводятся без учёта первоначальных капитальных затрат на создание цифровых полигонов, моделей и вычислительной инфраструктуры. Экономический эффект оценивается в рамках ЖЦ продукции и проявляется преимущественно на средне- и долгосрочном горизонте.

В-четвёртых, выводы о состоянии цифровизации испытаний в Российской Федерации основаны на анализе открытых источников и отдельных реализованных проектов. В настоящее время речь идёт не о сформированной экосистеме, а о разрозненных инициативах, находящихся на разных стадиях зрелости.

Указанные ограничения не снижают научной значимости исследования, но определяют границы применимости полученных результатов и подчёркивают необходимость дальнейшего развития нормативной, методической и технологической базы цифровых испытаний.

Результаты

Ключевыми направлениями цифровизации испытаний военной продукции являются: внедрение цифровых двойников, применение Big Data и машинного обучения, создание виртуальных испытательных полигонов. Возможности замещения натурных испытаний цифровыми методами представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Возможности замещения натурных испытаний цифровыми методами (с учётом специфики и ограничений)

Вид испытаний	Возможность цифровой замены	Обоснование	Испытания, остающиеся натурными
Параметрические и режимные	Высокая (частичная замена)	Хорошо формализуемые процессы, наличие математических моделей	–
Сценарные (многофакторные)	Высокая	Цифровые полигоны позволяют моделировать тысячи сценариев	–
Стендовые доводочные	Средняя	Требуется калибровка по натурным данным	Первичная проверка узлов
Полигонные эксплуатационные	Низкая	Сложные комбинированные воздействия, неопределённости среды	Большинство испытаний
Приёмочные и сертификационные	Отсутствует	Требования безопасности и нормативов	Все этапы
Испытания живучести и боевой стойкости	Отсутствует	Недостаточная воспроизводимость поражающих факторов	Все этапы

Примечание: цифровые методы используются для сокращения объёма, а не для полной замены натурных испытаний.

Представленные в таблице 1 данные носят обобщённый и ориентировочный характер и отражают не конкретные программы испытаний, а сводные оценки по результатам зарубежных и отечественных аналитических обзоров. Цифровыми методами преимущественно заменяются параметрические, сценарные и ранние этапы доводочных испытаний, тогда как приёмочные и сертификационные испытания сохраняются в натурной форме. Снижение числа отказов оценивалось относительно статистики отказов при традиционной организации испытаний без предиктивной аналитики. Предиктивная аналитика как класс методов известна давно; а новизна заключается не в самих методах, а в масштабировании, интеграции с цифровыми двойниками и применении современных ИИ-алгоритмов.

Можно частично/в значительной доле заменять цифровыми (при наличии валидированных моделей и данных) параметрические и режимные исследования (подбор режимов, чувствительность к параметрам, оптимизация управления, испытания на «массовых» сценариях (тысячи вариантов условий (погода/рельеф/тактика), когда натурно это дорого/долго), ранние этапы доводки (поиск слабых мест конструкции, виртуальные стендовые прогоны), ситуации повышенного риска (опасные режимы (на предельных нагрузках), когда цифровой прогон снижает риск потери образца).

Нельзя полностью заменять (цифра – только дополнение) приёмочные/сертификационные испытания, влияющие на допуск к эксплуатации и безопасность, испытания на стойкость к экстремальным и плохо моделируемым воздействиям (комбинации факторов, редкие эффекты, деградация материалов), электромагнитная совместимость/устойчивость, РЭБ/кибер в реальной среде (цифра помогает, но подтверждение натурное обязательно), испытания живучести/боевой стойкости (поражающие факторы) – цифровые модели допустимы как сокращение числа прогонов, но не как полная замена. Критерием допуска к замещению является уровень доверия к модели (verification, validation and accreditation – VV&A), критичность решения, полнота охвата рисков.

Одним из наиболее перспективных направлений цифровизации испытаний военной продукции является технология цифровых двойников. Цифровой двойник – это динамическая виртуальная модель реального объекта, которая отражает его конструктивные, функциональные и эксплуатационные характеристики в реальном времени.

В военной сфере цифровые двойники применяются для моделирования поведения вооружения в различных климатических и боевых условиях, оценки надёжности и ресурса

узлов и агрегатов без проведения дорогостоящих и рискованных натурных испытаний, прогнозирования отказов и оценки последствий разрушения узлов, деталей, комплектующих, а также подготовки персонала на основе взаимодействия с виртуальной копией вооружения.

Практическая ценность цифровых двойников заключается в том, что они позволяют создавать многовариантные сценарии испытаний и моделировать ситуации, которые в реальности невозможно воспроизвести на испытательном полигоне. Например, можно проверить устойчивость бронетехники к новым видам вооружений или смоделировать экстремальные климатические нагрузки (пустыня, Арктика, влажные тропики).

Несмотря на активное внедрение цифровых моделей и цифровых двойников в оборонной сфере, их практическое применение сталкивается с рядом системных ограничений. Ключевыми проблемами остаются недостаточная верификация и валидация моделей, ограниченная репрезентативность исходных данных и отсутствие единых стандартов интероперабельности. Документы Минобороны США и аналитические отчёты подчёркивают, что цифровые двойники пока не могут полностью заменить натурные испытания, а лишь дополняют их[1]. Существенное внимание уделяется вопросам кибербезопасности и защите цифровых активов, поскольку цифровые модели становятся критически важным элементом оборонной инфраструктуры. В ответ на выявленные пробелы формируются стратегии цифрового инжиниринга, направленные на создание сквозной цифровой нити и повышение доверия к результатам моделирования. Таким образом, дальнейшее развитие цифровых двойников рассматривается как эволюционный процесс, требующий технологического, нормативного и организационного совершенствования.

По оценкам российских и зарубежных специалистов, использование цифровых двойников позволяет сократить объём натурных испытаний до 40-50%, а также снизить риски выхода из строя опытных образцов[2].

Традиционные испытания военной техники требуют современного оснащения испытательных полигонов, значительных материальных ресурсов и времени. Виртуальное моделирование стало альтернативой, позволяющей переносить значительную часть испытаний в цифровую среду.

Основные возможности виртуального моделирования заключаются в тестировании на виртуальных полигонах. Современные программные комплексы создают реалистичные модели местности, включая рельеф, погодные условия, препятствия и даже динамику боевых действий. Использование AR/VR технологий (очки виртуальной и дополненной реальности) позволяет операторам взаимодействовать с моделью техники в условиях, максимально приближённых к реальным. Это обеспечивает эффективную подготовку экипажей и испытателей, быстрое внесение изменений в проект. Любая доработка конструкции может быть проверена в виртуальной среде за часы, тогда как на натурное изготовление и испытание требуются недели и месяцы.

Цифровые платформы позволяют объединять усилия различных конструкторских бюро, военных академий и исследовательских центров, обеспечивая сетевое взаимодействие при проектировании и тестировании. Благодаря виртуальному моделированию в десятки раз увеличивается количество возможных сценариев испытаний, что значительно расширяет научную и практическую базу для оценки надёжности военной техники.

Испытания современной военной техники сопровождаются генерацией огромных массивов информации. На одном танке или истребителе установлены сотни датчиков, фиксирующих тысячи параметров в реальном времени: температуру, вибрации, нагрузку, износ, работу электронных систем. Big Data в оборонной промышленности используется для сбора и хранения данных в масштабах, ранее недоступных традиционным испытательным системам, анализа закономерностей между параметрами, которые человек не способен выявить без помощи алгоритмов машинного обучения, создания предиктивных моделей, прогнозирующих вероятность

---

[1] Director, Operational Test and Evaluation. FY 2019 Annual Report. Washington, DC: U.S. Department of Defense, 2019. 322 p. URL: https://www.cagw.org/sites/default/files/pdf/2019DOTEAnnualReport.pdf

[2] Собачкин А. Один в один, но в цифре // Ведомости. 2023. 27 ноября. URL: https://www.vedomosti.ru/technologies/trendsrub/columns/2023/11/27/1007598-odin-v-odin-no/

поломок и отказы ещё до их возникновения, а также оптимизации испытательных программ, когда система автоматически предлагает наиболее важные сценарии для тестирования.

ИИ в сочетании с Big Data обеспечивает новую парадигму испытаний: техника не просто проверяется на соответствие требованиям, а её поведение анализируется в динамике, с учётом реальных условий эксплуатации и взаимодействия с другими элементами боевой системы (рисунок 1).

По результатам исследований НАТО и DARPA внедрение технологий Big Data в испытательные программы позволяет сократить количество натурных отказов на 25-30%, а также ускорить процесс доводки сложных систем вооружений почти вдвое [2] (рисунок 2).

Таким образом, цифровые двойники, виртуальное моделирование и Big Data формируют основу новой цифровой экосистемы испытаний военной техники, которая сочетает высокую точность прогнозирования, сокращение сроков и снижение затрат.

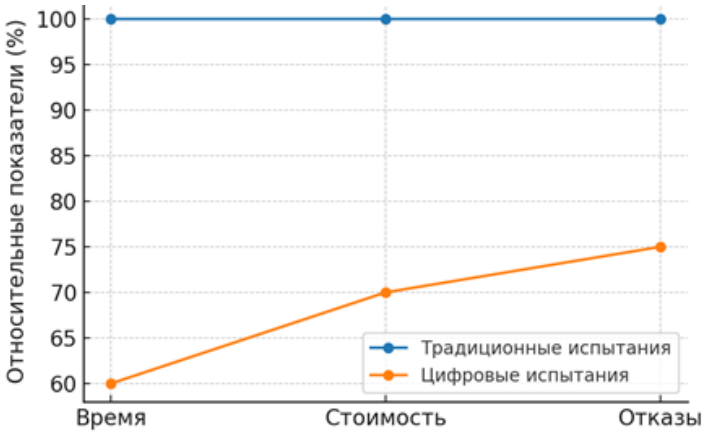


Рисунок 1 – Сравнение традиционных и цифровых испытаний

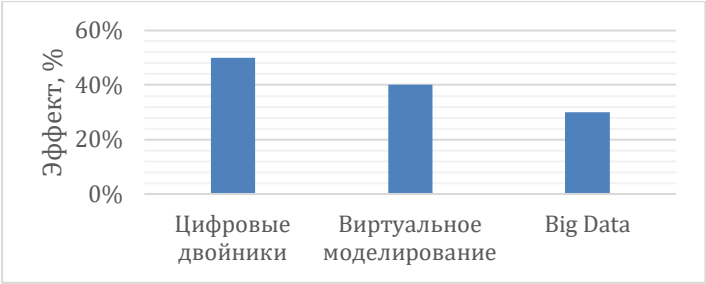


Рисунок 2 – Эффективность технологий цифровизации в испытания

Искусственный интеллект в процессах испытаний

ИИ используется для автоматизации анализа результатов, предиктивной аналитики и оптимизации испытательных режимов. Он позволяет выявлять скрытые закономерности в данных, прогнозировать вероятность отказов и корректировать сценарии испытаний в реальном времени (таблица 2).

Одним из наиболее значимых направлений внедрения ИИ в испытания военной продукции является автоматизация анализа результатов. Традиционный подход предполагает, что получаемые в ходе испытаний данные обрабатываются вручную либо с использованием классических статистических методов. Однако при этом возможны высокая вероятность человеческих ошибок, длительное время передачи (например, с испытательного полигона на предприятие промышленности) и обработки (от недель до месяцев), возможности выявления скрытых закономерностей ограничены.

Таблица 2 – Сравнение аналитических подходов при испытаниях изделий

Критерий	Классические аналитические методы (FMECA, RAMS, SVM и др.)	Методы с применением ИИ
Источник данных	Реальные данные испытаний и эксплуатации	Реальные + синтетические данные
Применимость к новым изделиям	Высокая	Ограниченная
Требования к объёму данных	Умеренные	Высокие
Риск накопления ошибок	Низкий	Повышенный (модель второго порядка)
Возможность выявления скрытых закономерностей	Ограниченная	Высокая (при достаточных данных)
Необходимость валидации	Обязательна	Критически обязательна

ИИ позволяет автоматически обрабатывать данные в реальном времени, формируя отчёты сразу после испытания, сравнивать результаты с эталонными моделями и выявлять отклонения, визуализировать данные в удобной форме (графики, тепловые карты, интерактивные панели), давать рекомендации испытателям, например, по изменению режима испытания или выявлению потенциальной причины неисправности. Например, при испытании бронетехники ИИ может одновременно анализировать данные о вибрациях корпуса, температуре двигателя, износе трансмиссии и нагрузке на подвеску. В результате система сама формирует вывод о том, в каком узле наиболее вероятен сбой.

Таким образом, автоматизация анализа результатов повышает скорость принятия решений, минимизирует ошибки экспертов и позволяет ускорить процесс перехода от опытного образца к серийному производству.

Предикативная аналитика

Одним из наиболее востребованных направлений внедрения ИИ в испытаниях военной продукции является предиктивная аналитика. Она основана на применении алгоритмов машинного обучения, которые используют накопленные данные для прогнозирования вероятности отказов ещё до их фактического возникновения. Ключевые задачи предиктивной аналитики заключаются в прогнозировании ресурса компонентов (например, двигателя, электроники, оптики), раннем выявлении дефектов, которые могут привести к отказам в критических ситуациях, оптимизации графика испытаний и технического обслуживания, а также снижении риска аварий и выхода из строя дорогостоящих образцов вооружения.

В современных системах предиктивная аналитика работает следующим образом. Датчики собирают информацию в реальном времени о работе всех систем военной техники. Алгоритмы ИИ сравнивают текущие показатели с историческими данными испытаний и эксплуатации. На основе выявленных закономерностей система прогнозирует вероятность выхода из строя конкретного узла.

Испытатели получают предупреждение о возможном отказе и могут внести изменения в конструкцию. Предиктивная аналитика основана на том, что каждый отказ техники имеет определённые предвестники – аномалии в работе систем, которые фиксируются датчиками, но не всегда заметны человеку.

Алгоритмы ИИ позволяют сравнивать текущие показатели с историческими данными по аналогичным образцам вооружения, выявлять аномальные тренды (например, рост температуры в узле или постепенное снижение давления в гидросистеме), рассчитывать вероятность отказа в ближайшее время, а также планировать испытания и техническое обслуживание так, чтобы минимизировать риск выхода из строя (рисунок 3).

Применение предиктивной аналитики в испытаниях сокращает количество внезапных отказов на 20-30%, а также позволяет существенно уменьшить стоимость и сроки доводки военной техники. По исследованиям DARPA, внедрение предиктивной аналитики в систему испытаний военной авиации снизило количество отказов на 27%, а стоимость испытаний – на 18% [2].

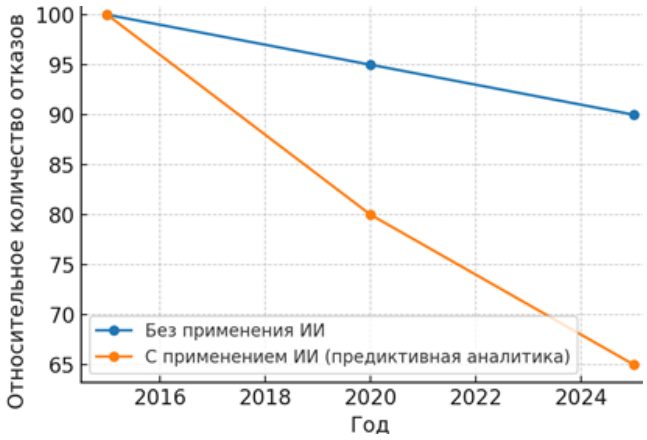


Рисунок 3 – Эффект предикативной аналитики на снижение отказа

Пример: в США при тестировании истребителя F-35 используется система Health Monitoring System, которая в реальном времени анализирует состояние двигателя. Алгоритмы машинного обучения прогнозируют износ лопаток турбины за десятки часов до возможного разрушения, позволяя предотвратить катастрофические последствия.

Таким образом, предиктивная аналитика позволяет перейти от реактивной модели испытаний («отказ произошёл – устраняем») к проактивной («система предупредила о будущем отказе – предотвращаем»).

Машинное обучение

Третьим направлением применения ИИ является использование машинного обучения для оптимизации испытательных режимов. Традиционный подход к испытаниям строится на заранее заданных сценариях, утверждённых техзаданием, закреплённым в ГОСТах и нормативных документах. Однако такие сценарии не всегда отражают всё многообразие условий реального боевого применения и всю полноту возможных условий эксплуатации техники. Здесь на помощь приходит машинное обучение.

Машинное обучение даёт возможность комбинировать факторы воздействия, например, сильный мороз + радиоэлектронное подавление + высокие перегрузки, автоматически корректировать параметры испытаний в зависимости от полученных результатов и поведения объекта испытаний, минимизировать количество избыточных испытаний, исключая повторные проверки при наличии достаточных данных, повышать полноту и точность испытаний за счёт использования оптимизированных комбинаций факторов, а также снижать стоимость, исключая ненужные повторные проверки.

Например, при тестировании российских беспилотных летательных аппаратов алгоритмы ИИ помогают автоматически формировать оптимальные маршруты испытательных полётов. При испытаниях авиационной техники алгоритм машинного обучения может предложить скомбинировать режимы перегрузок, высоких температур и отказа части бортовых систем, что позволит выявить уязвимости конструкции раньше, чем при стандартных методиках. В результате количество критических отказов снижается на 20-25%, а общее время программы испытаний сокращается почти на треть [3]. Машинное обучение превращает испытания в адаптивный процесс, где сценарии динамически подстраиваются под полученные результаты, что значительно повышает эффективность доводки вооружений.

Источники данных для обучения ИИ могут являться стендовые/полигонные измерения (телеметрия, журналы отказов), данные эксплуатации (ремонтные базы, ТО, ресурсные показатели), результаты моделирования (в т.ч. синтетические данные), лабораторные измерения материалов/узлов, экспертная разметка (инженеры, испытатели).

Достоверность данных может гарантироваться владельцем данных, правилами доступа, происхождением каждой выборки, условиями получения, версиями программного обеспечения (ПО) и датчиков. Этому могут способствовать процедуры качества: валидация

датчиков, контроль выбросов, кросс-проверка источников, а также контроль репрезентативности (покрытие режимов/условий, матрица сценариев). При этом важна непрерывность потока (регламент): сбор, очистка, маркировка, контроль качества, обучение, тестирование, развертывание, мониторинг, переобучение. Для непрерывности важно закрепить правила остановки/отката модели при деградации качества.

Таким образом, использование ИИ в испытаниях военной продукции формирует новый стандарт испытательных процессов, который характеризуется ускорением анализа (с недель до часов), снижением числа отказов на 20-30%, оптимизацией испытательных сценариев, приближенных к реальному боевому применению и сокращением стоимости испытаний на 20-40%.

ИИ не только повышает эффективность испытаний, но и превращает их в интеллектуально управляемый процесс, обеспечивающий более надёжную и быструю доводку военной техники. В совокупности автоматизация анализа данных, предиктивная аналитика и машинное обучение формируют новый стандарт испытательных процессов. Он ориентирован не только на констатацию фактов, но и на прогнозирование, оптимизацию и интеллектуальную поддержку принятия решений. Это позволяет сократить сроки испытаний, повысить их надёжность и снизить затраты.

Цифровые (виртуальные) полигоны позволяют проводить виртуальные испытания на основе математического моделирования, использовать облачные вычисления и AR/VR технологии для обучения операторов.

Технологии цифровых полигонов

Термин «цифровой полигон» обозначает комплекс технологий, позволяющий переносить значительную часть испытаний военной техники из реальной среды в виртуальную. Такой подход сочетает натурные испытания с цифровым моделированием, создавая интегрированную испытательную экосистему, в которой военная продукция проходит проверку в условиях, максимально приближенных к боевым.

Цифровые (виртуальные) полигоны строятся на базе трёх основных технологических направлений: облачные вычисления, IoT и технологии дополненной/виртуальной реальности (AR/VR) (рисунок 4).

Широкое распространение получают облачные платформы для моделирования. Современные военные испытания требуют колоссальных вычислительных ресурсов. Например, при моделировании полёта истребителя учитываются аэродинамика, работа двигателей, поведение систем управления, внешние воздействия (погодные, климатические, радиоэлектронные). Все эти процессы сложно адекватно протестировать с помощью вычислительных возможностей персональных компьютеров.

Облачные платформы решают проблему за счёт распределённых вычислений, позволяющих параллельно моделировать десятки сценариев, масштабируемости (ресурсы автоматически увеличиваются в зависимости от сложности задачи, совместной работы разных подразделений (КБ, НИИ, военных испытательных центров) в единой цифровой среде, хранения и обработки больших массивов данных, собранных при испытаниях.

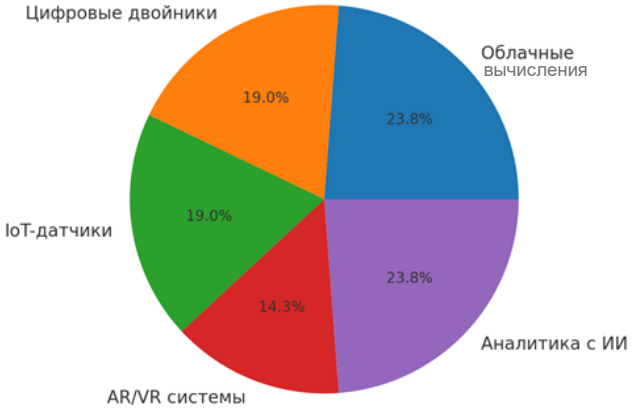


Рисунок 4 – Компоненты цифрового (виртуального) полигона

При этом важно определить, какая нужна облачная инфраструктура и в чьём ведении она должна быть. Требуется защищённое облако/гибрид (HPC[3] + хранилища + MLOps[4] + инструменты моделирования), поддержка цифровых двойников (временные ряды, потоковая обработка событий, графовые модели), защищённые контуры (раздельные домены по уровням открытости), контроль доступа, аудит, ведение журналов, интеграция с полигонной телеметрией и IoT (шлюзы, брокеры сообщений), а также резервирование, отказоустойчивость, контроль целостности данных/моделей.

Если речь о испытаниях и боевой эксплуатации – логично ядро иметь в контуре Минобороны России, а если речь идет о цифровой трансформации ОПК и НИОКР, то возможна совместная модель (Минпромторг России/интегратор и предприятия, но с обязательным шлюзом/контролем передачи в военный контур).

Облачные вычисления позволяют в десятки раз увеличить число испытательных сценариев, снизить нагрузку на натурные полигоны и существенно ускорить процесс доводки сложных систем вооружений.

Цифровые (виртуальные) полигоны невозможны без полноценной интеграции датчиков и систем IoT в военную технику. Каждый современный образец – будь то танк, корабль или беспилотник – оснащается сотнями сенсоров, которые фиксируют параметры работы в режиме реального времени [4].

Функции IoT и датчиков в испытаниях заключаются в сборе телеметрических данных (скорость, перегрузки, вибрации, температура, давление, уровень износа), передаче информации на испытательные центры через защищённые каналы связи, формировании «цифрового следа» эксплуатации каждого образца, а также взаимодействии с цифровыми двойниками для уточнения математических моделей (рисунок 5).

Взаимодействие IoT и облачных технологий осуществляется следующим образом. Происходит сбор данных (IoT-датчики), фиксирующих температуру, вибрации, давление, скорость, износ и другие параметры. Затем данные по защищённым каналам связи поступают в распределённые дата-центры, где облачные алгоритмы обрабатывают информацию, выявляют аномалии и прогнозируют возможные отказы. Результаты анализа отображаются в удобной форме для инженеров и испытателей (графики, модели, VR-среда). Решения испытателей принимаются на основе полученной информации. Специалисты принимают решения о корректировке испытаний, модернизации конструкции или повторных тестах. Таким образом, IoT и облака образуют замкнутый контур, включающий технику, сенсоры, облако, аналитику, визуализацию и управленческие решения.

По данным исследований NATO Science & Technology Organization, интеграция IoT в военные испытания позволила увеличить полноту собираемых данных более чем на 60% по сравнению с традиционными методами[5].

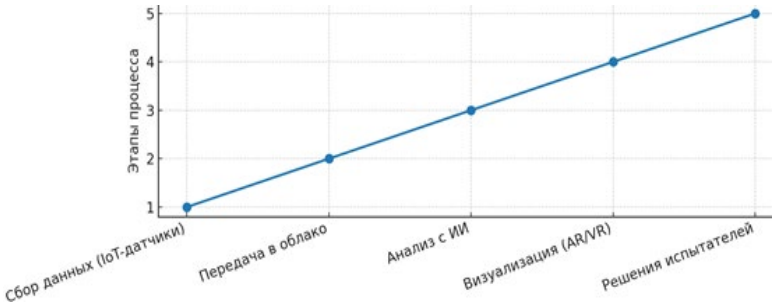


Рисунок 5 – Схема взаимодействия IoT и облачных технологий

[3] HPC (High-Performance Computing) – вычислительные мощности для обучения и настройки моделей.

[4] MLOps (Machine Learning Operations) – набор практик, процессов и инструментов для управления полным жизненным циклом моделей машинного обучения: от подготовки данных и обучения до развертывания, мониторинга и обновления моделей в промышленной эксплуатации.

[5] NATO Science & Technology Organization. Science & Technology Trends 2025-2045. Vol.1: Public Release. Brussels: NATO STO, 2025. 120 p. URL: https://sto-trends.com/assets/briefing-papers/NATO_STO_Science_and_Technology_Trends_2025_2045_Volume_1_English.pdf

Например, в России АО «Концерн «Калашников» внедряет систему цифрового мониторинга состояния стрелкового оружия. В ней используются миниатюрные сенсоры, фиксирующие количество выстрелов, износ ствола и вероятность отказа. Эти данные в режиме реального времени поступают в аналитическую систему, где с помощью ИИ строятся прогнозы ресурса оружия[6].

Таким образом, IoT превращает военную технику в «говорящий объект», который сам сообщает об изменениях своего состояния и позволяет проектировать проводить испытания с максимальной точностью.

Технологии дополненной и виртуальной реальности

Другим ключевым направлением развития цифровых (виртуальных) полигонов является использование технологий дополненной (AR) и виртуальной реальности (VR). Эти инструменты позволяют испытателям, инженерам и военным операторам работать с техникой в иммерсионной среде, максимально приближенной к реальной.

Основные возможности AR/VR заключаются в проведении виртуальных испытаний в условиях боевого применения (например, симуляция боя танка в городской среде или полёта истребителя в условиях радиоэлектронного подавления), обучении экипажей без использования дорогостоящих натурных образцов, визуализации внутренних процессов работы техники, которые невозможно увидеть при реальных испытаниях (например, распределение температурных нагрузок внутри двигателя), создании «комбинированных полигонов», где часть испытаний проводится в реальности, а часть – в виртуальной среде.

Например, корпорация Lockheed Martin использует VR-платформы для испытаний авиационных систем. Лётчики и инженеры могут одновременно находиться в едином виртуальном пространстве, тестируя работу самолёта в десятках сценариев, которые невозможно реализовать на реальных полигонах[7].

В России AR/VR активно внедряется в обучении военных специалистов. Например, при подготовке операторов ПВО используются системы дополненной реальности, которые позволяют тренироваться в условиях имитации массированного авиационного налёта.

AR/VR не только удешевляют испытания и обучение, но и позволяют значительно увеличить количество сценариев, включая те, что были бы слишком опасны или невозможны для реализации в реальности [5].

Цифровые (вирутальные) полигоны представляют собой инновационную инфраструктуру военных испытаний, которая объединяет облачные вычисления, IoT и технологии AR/VR. Их применение позволяет снизить нагрузку на испытательные полигоны, ускорить доводку вооружений, повысить достоверность результатов испытаний, обеспечить подготовку персонала в максимально приближенных к реальным боевым условиям (таблица 3).

Таблица 3 – Экономический эффект цифровизации испытаний

Показатель	Эффект	Условия достижения
Снижение стоимости испытательных работ	20-40%	Без учёта капитальных затрат
Сокращение сроков испытаний	25-50%	При гибридной схеме (цифра + натура)
Снижение аварийности опытных образцов	До 20%	При наличии предиктивных моделей
Совокупный эффект в ЖЦ	Проявляется на средне- и долгосрочном горизонте	После окупаемости цифровой инфраструктуры

[6] Хомяков А. Концерн «Калашников» создал мишень с искусственным интеллектом // Военное дело. 2024. 19 декабря. URL: https://voennoedelo.com/posts/id67912-kontsern-kalashnikov-sozdal-mishen-s-iskusstvennym-intellektom

[7] Lockheed Martin. Immersive Training Devices: Blending Real and Simulated Worlds Together. 2023. URL: https://www.lockheedmartin.com/en-us/news/features/2023/immersive-training-devices-blending-real-and-simulated-worlds-together.html

Таким образом, цифровые (виртуальные) полигоны становятся ключевым инструментом цифровой трансформации оборонной промышленности, обеспечивая более высокий уровень безопасности, качества, эффективности и экономичности испытаний.

Обсуждение

Современные тенденции цифровизации испытаний военной техники находят отражение не только в теоретических разработках, но и в конкретных практических проектах. Россия и зарубежные страны активно внедряют технологии цифровых двойников, предиктивной аналитики и виртуального моделирования в оборонную промышленность [6].

Госкорпорация «Ростех» является одним из лидеров цифровой трансформации в оборонной отрасли. В рамках своих предприятий (АО «Концерн «Уралвагонзавод», АО «Вертолёты России», АО «Концерн «Калашников») ведётся активная работа по внедрению технологий ИИ в испытательные процессы. В АО «Концерн «Уралвагонзавод» разрабатываются цифровые (виртуальные) полигоны для испытаний бронетехники, где моделируются условия городского боя, степных и арктических ландшафтов.

В холдинге АО «Вертолёты России» внедряются системы предиктивной аналитики, которые прогнозируют износ лопастей и узлов трансмиссии вертолётов ещё до наступления отказа. В АО «Объединённая авиастроительная корпорация» активно используется концепция цифрового двойника при испытаниях перспективных авиационных комплексов. Так, при создании самолётов семейства МС-21 и Су-57 внедрены цифровые платформы, позволяющие проводить виртуальные аэродинамические испытания, моделировать поведение планера и систем при перегрузках. Используются облачные системы моделирования, которые сокращают время испытаний на 30-40%[8].

АО «Концерн «Калашников» внедряет систему мониторинга стрелкового оружия с применением IoT-датчиков. При натурных испытаниях каждое оружие получает цифровой паспорт, в который вносятся данные о количестве выстрелов, износе и техническом состоянии. Применение ИИ позволяет анализировать статистику стрельб и выявлять закономерности отказов в зависимости от условий эксплуатации.

Зарубежные разработки представлены DARPA (Агентство перспективных оборонных исследовательских проектов США), которое активно инвестирует в разработку технологий цифровых полигонов. В рамках программы Digital Test Range создаются виртуальные испытательные полигоны, которые позволяют моделировать работу новых видов вооружений в условиях сетевых войн и кибератак. DARPA развивает технологии Generative AI, позволяющие автоматически создавать тысячи сценариев испытаний для оценки живучести систем.

Один из крупнейших мировых производителей вооружений Lockheed Martin применяет цифровые технологии при испытаниях авиационной и морской техники. При создании истребителя F-35 используется цифровой двойник самолёта, который моделирует состояние каждой детали и прогнозирует её ресурс. Lockheed Martin внедряет VR-тренажёры для испытателей, позволяющие обкатывать новые режимы работы бортовых систем без риска повреждения дорогостоящего оборудования. По данным компании, цифровизация испытаний F-35 позволила сократить объём натурных тестов почти на 40% и снизить их стоимость на 25%.

Применение цифровых технологий позволяет сократить сроки испытаний на 30-50%, снизить стоимость на 20-40% и повысить точность прогнозов более чем на 90%. Переход от традиционных методов испытаний к цифровым сопровождался не только ускорением процессов, но и кардинальным изменением качества результатов. Одним из главных эффектов внедрения цифровых технологий является значительное сокращение сроков испытаний. При традиционной системе полный цикл испытаний новых образцов мог может занимать от 5 до 7 лет. С использованием цифровых двойников и предиктивной аналитики этот срок сокращается на 30-50%, что особенно важно в условиях быстро меняющихся военных угроз (рисунок 6).

[8] "Вертолеты России" разработали уникальную систему для выявления скрытых повреждений лопастей вертолетов // Авиапорт. 2016. 18 мая. URL: https://www.aviaport.ru/news/386521/

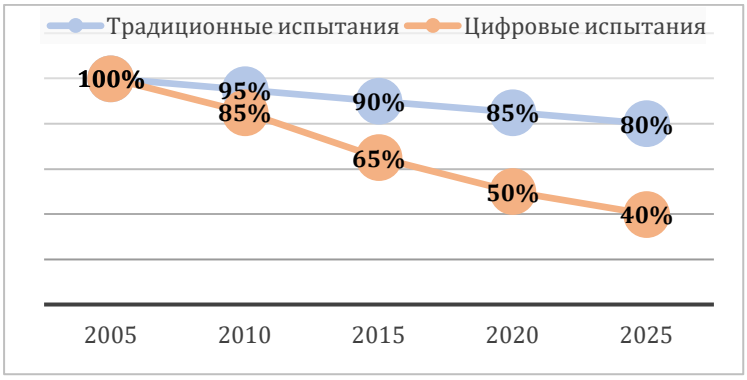


Рисунок 6 – Динамика сокращения сроков испытаний, %

Оценка стоимости разработки, сопровождения цифровых двойников практически осуществляется через сокращение натурных прогонов (ΔN тестов), уменьшение времени цикла (ΔT), снижение потерь/поломок опытных образцов ($\Delta Risk$), снижение стоимости техобслуживания и ремонта в эксплуатации (через предиктивное обслуживание).

Для включения в техзадание цифровых полигонов/двойников вводят такие показатели эффективности, как доля сценариев, закрываемых цифровыми испытаниями (например, $\geq X\%$), целевое сокращение сроков испытаний (например, $-Y\%$), а также целевое снижение отказов в ходе испытаний/эксплуатации, требования к точности прогнозов (например, доверительные интервалы) и требования к VV&A и трассируемости.

Например, испытания современного истребителя по старым методикам – до 6 лет. При применении цифрового (виртуального) полигона и моделирования – около 3,5-4 лет.

Таким образом, цифровизация испытаний позволяет быстрее внедрять новые образцы вооружений в серийное производство и поставлять их войскам.

Экономический эффект внедрения цифровых технологий проявляется в снижении затрат на натурные испытания (меньше расходов на топливо, боеприпасы, аренду и содержание испытательных полигонов) отмечается снижение износа дорогостоящих опытных образцов и сокращение расходов на персонал, уменьшение потерь от аварий и отказов Автоматизация анализа данных позволяет сократить численность группы испытателей на 20-25%.

Предиктивная аналитика снижает риск выхода техники из строя во время испытаний, что экономит миллионы долларов/рублей, обеспечивает повышение эффективности исследований и разработок (НИОКР), дает возможность многократного моделирования, сокращает время доводки образцов и ускоряет переход к серийному производству (таблица 4).

По оценкам RAND Corporation, внедрение цифровых полигонов и цифровых двойников в США позволило снизить общую стоимость программы испытаний авиационной техники на 18-25%. В России, по данным Минпромторга, аналогичные проекты в оборонной промышленности показали экономию на уровне 15-20% бюджета НИОКР [7].

Несмотря на очевидные преимущества цифровизации испытательных процессов, широкое внедрение ИИ и цифровых технологий в оборонной сфере сопряжено с рядом проблем и рисков. Эти барьеры носят как технический, так и организационно-правовой характер, и их преодоление является обязательным условием успешной реализации цифровых (виртуальных) полигонов и интеллектуальных систем испытаний.

Основными проблемами являются вопросы кибербезопасности, надёжности цифровых моделей, а также необходимость разработки нормативной правовой базы для применения ИИ в оборонной сфере (таблица 5), (рисунок 7)[9].

Использование облачных вычислений, цифровых двойников и сетей IoT в военной технике неизбежно приводит к росту киберугроз и рискам несанкционированного доступа. Система испытаний, основанная на облачных вычислениях, уязвима для атак, направленных на хищение данных о конструкции вооружений и параметрах испытаний. Опасность кибервмешательства в

[9] Хомяков А. Концерн «Калашников»… *Указ. соч.*

испытания заключается в том, что недоброжелатель может изменить цифровую модель, что приведёт к искажённым результатам и ошибочным решениям при доводке военной техники. При использовании распределённых полигонов необходима устойчивая и защищённая связь. В случае радиоэлектронного подавления возможен сбой всей системы.

Таким образом, цифровизация испытаний требует создания специализированных средств киберзащиты, включая шифрование данных, квантовую криптографию и защищённые каналы связи военного назначения.

Цифровые двойники и виртуальные полигоны строятся на основе математических моделей, которые в идеале должны максимально точно воспроизводить физические процессы. Однако здесь возникают риски недостаточности исходных данных. Если данные о поведении техники в экстремальных условиях отсутствуют, модель не сможет адекватно прогнозировать результаты. При этом даже самые продвинутые цифровые двойники часто используют приближённые алгоритмы, что снижает достоверность полученных результатов.

Таблица 4 – Сравнительная таблица «традиционные испытания по сравнению с цифровыми испытаниями»

Показатель	Традиционные испытания	Цифровые испытания
Время проведения	Месяцы-годы	Сокращено в 2-3 раза
Стоимость	Очень высокая	На 30-40% ниже
Масштабируемость	Ограничена реальными полигонами	Практически неограниченная
Риск выхода техники из строя	Высокий	Минимизирован благодаря моделированию
Автоматизация анализа	Отсутствует	ИИ-алгоритмы в реальном времени
Точность прогнозирования	Средняя (60-70%)	Высокая (90-95%)
Безопасность испытателей	Есть риск аварий	Полная безопасность

Таблица 5 – Основные проблемы внедрения цифровых технологий и возможные решения

Проблема	Возможное решение
Кибербезопасность	Внедрение защищённых каналов связи, квантовой криптографии, системы мониторинга киберугроз
Надёжность цифровых моделей	Регулярная валидация моделей на основе натурных данных, использование гибридных испытаний (натурные + цифровые)
Нормативно-правовая база	Разработка ГОСТов и военных стандартов по применению ИИ и цифровых двойников в испытаниях
Высокая стоимость внедрения	Государственное финансирование, создание межведомственных центров компетенций, использование модульных платформ
Зависимость от технологий	Импортозамещение, разработка отечественного ПО и процессоров, создание собственных облачных решений
Подготовка кадров	Создание специализированных программ обучения, развитие военных и инженерных кафедр по ИИ и Big Data

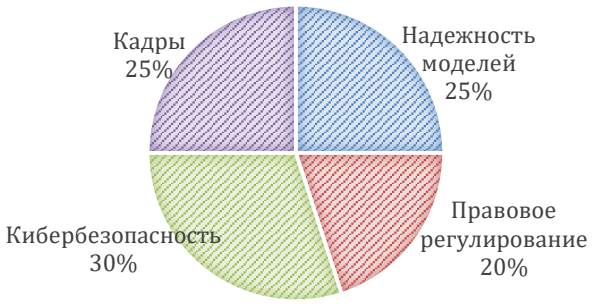


Рисунок 7 – Основные риски внедрения цифровых технологий в испытания

Имеют место ошибки программного обеспечения. Сложные цифровые системы уязвимы к техническим ошибкам, которые могут привести к неверным выводам при испытаниях. Например, при испытаниях авиационных двигателей за рубежом отмечалось, что цифровая модель не учла влияние сочетания высокой влажности и песчаной пыли. В результате реальные испытания показали ускоренный износ лопаток турбины, что не было предсказано системой. Поэтому необходимо регулярно проверять цифровые модели на основе натурных данных, создавать механизмы «обратной связи» между реальными испытаниями и их цифровыми аналогами.

Цифровизация испытаний ставит перед государством и оборонной промышленностью задачу разработки новой нормативной правовой базы. Сегодня отсутствует комплекс нормативно-технических документов, регламентирующих применение ИИ и цифровых двойников в испытательных программах и методиках испытаний. В случае ошибки цифровой модели неясно, кто несёт ответственность: разработчик ПО, производитель техники или испытательный центр.

Возникают и этические вопросы. Так, применение ИИ в испытаниях вооружений вызывает вопросы о допустимости автономных решений, особенно если речь идёт о системах летального действия. Например, в России действует соответствующий ГОСТ, регламентирующий испытания военной техники. Однако он практически не учитывает возможности применения ИИ и цифровых моделей. Аналогичные пробелы существуют и в зарубежных системах стандартизации (NATO STANAG)[10].

В связи с этим необходима разработка нового пакета нормативных документов, включающего правила создания цифровых двойников, проверки моделей, использования ИИ и защиты данных.

Дополнительные риски заключаются в высокой стоимости внедрения, а создание цифровых полигонов и суперкомпьютерной инфраструктуры требует миллиардных инвестиций. На начальных этапах эффект экономии может быть неочевиден. Использование импортных компонентов и ПО создаёт угрозу технологической зависимости. В условиях санкций этот риск особенно велик.

Для работы с цифровыми полигонами необходимы специалисты нового профиля – инженеры-аналитики данных, эксперты по ИИ, специалисты по AR/VR, сегодня их дефицит тормозит процесс цифровизации.

Таким образом, несмотря на очевидные преимущества цифровых технологий, их внедрение в испытательные процессы сопровождается серьёзными рисками: от угроз кибербезопасности до недостоверности цифровых моделей и отсутствия нормативной базы. Преодоление этих проблем требует комплексного подхода, заключающегося в создании защищённой инфраструктуры, разработке национальных и международных стандартов, интеграции цифровых испытаний с натурными проверками, а также подготовки кадров нового поколения. Только при условии решения этих задач цифровизация испытаний сможет обеспечить гарантированную надёжность и безопасность военной техники.

Цифровизация испытаний военной техники уже сегодня демонстрирует высокую эффективность, однако дальнейшее развитие технологий открывает ещё более широкие перспективы. В будущем ожидается широкое внедрение генеративного ИИ, интеграция квантовых вычислений и создание полностью цифровых испытательных комплексов. В ближайшие десятилетия можно выделить три ключевых направления, которые радикально изменят подход к испытаниям: полная интеграция цифровых полигонов, внедрение генеративного ИИ и использование квантовых вычислений.

На современном этапе цифровые полигоны внедряются точечно – в авиации, бронетехнике или отдельных сегментах ВМФ. Однако в будущем ожидается их полная интеграция в единый испытательный контур оборонно-промышленного комплекса[11].

---

[10] Lockheed Martin. Immersive Training Devices… *Op. cit*.

[11] Рудковский А. Полное погружение: цифровые полигоны для виртуальных испытаний авионики самолётов МС-21 создадут в России // Первый технический. 2025. 24 сентября. URL: https://www1.ru/news/2025/09/24/polnoe-pogruzenie- cifrovye-poligony- dlia-virtualnyx-ispytanii-avioniki-samoletov-ms-21-sozdadut-v-r.html

Основные характеристики полностью интегрированных цифровых полигонов заключаются в формировании единой облачной инфраструктуры, связывающей военные предприятия, КБ, НИИ и испытательные центры. Автоматизированный обмен данными между натурными и цифровыми испытаниями должен проходить в режиме реального времени. Акцент в работе должен быть смещен на создание сетевых военных полигонов, где одновременно моделируются воздушные, наземные, морские и кибероперации. Прогнозируется массовое использование AR/VR, позволяющее испытателям, конструкторам и военным операторам совместно участвовать в тестах [8].

Современные системы ИИ в основном выполняют задачи анализа и прогнозирования. Однако развитие генеративных моделей (Generative AI) открывает новые горизонты. Возможности генеративного ИИ в испытаниях заключаются в автоматической генерации сценариев испытаний. Алгоритмы создают сотни и тысячи вариантов боевого применения техники, учитывая неожиданные комбинации факторов. Генеративный ИИ способен моделировать действия условного противника с разными тактиками, что позволяет проверить устойчивость систем к новым угрозам. Алгоритм может не только анализировать слабые места, но и предлагать новые варианты компоновки узлов и деталей. При этом происходит самообучение цифровых полигонов. Чем больше испытаний проводится, тем более разнообразные и точные сценарии формирует ИИ[12].

Уже сегодня Lockheed Martin и Boeing тестируют генеративные модели для автоматического проектирования и испытаний беспилотников, а в России ведутся исследования по использованию нейросетей для имитации боевых сценариев[13].

Таким образом, генеративный ИИ превращает испытания из фиксированной программы в динамически развивающийся процесс, который постоянно расширяет количество вариантов проверки.

Одним из наиболее революционных направлений станет интеграция цифровых испытаний с квантовыми вычислительными системами. Возможные эффекты квантовых вычислений заключаются в моделировании сложнейших физических процессов. Например, поведение гиперзвуковых летательных аппаратов или взаимодействие корабельных энергетических установок в экстремальных условиях. При этом осуществляется сверхбыстрая обработка данных, так как квантовые алгоритмы позволяют анализировать огромные массивы телеметрии в считанные секунды и улучшение криптографической защиты. Квантовые методы обеспечат принципиально новый уровень кибербезопасности при передаче данных испытаний[14].

Квантовый ИИ сможет выявлять такие закономерности, которые недоступны классическим алгоритмам машинного обучения. Например, в России Центр квантовых технологий при МГУ и РКЦ «Прогресс» ведут исследования по применению квантовых методов к задачам моделирования аэродинамики и баллистики[15].

Готовность отечественных технологий к внедрению ИИ в испытания можно оценить по отдельным компонентам как высокую. «Узким местом» является интеграция в сквозную цифровую систему и наличие зрелых платформ цифровых двойников уровня предприятия.

Приоритетного импортозамещения требуют специализированные цепочки CAD / CAE / PLM / MBSE (система автоматизированного проектирования / системы инженерного анализа и моделирования / управление жизненным циклом изделия / системная инженерия, основанная на моделях – там, где критическая зависимость), облачные платформы IoT и цифровых двойников, стек MLOps (если привязаны к зарубежным экосистемам), критичные библиотеки численного моделирования/оптимизации.

---

[12] Волнянский А. Генеративный ИИ (GenAI): возможности и применение // Colobridge. 2025. 19 августа. URL: https://blog.colobridge.net/2025/08/generative-artificial-intelligence/

[13] Агеев А. Беспилотники Lockheed Martin уже умеют самостоятельно принимать критические боевые решения // Techcult. 2025. 15 дек. URL: https://www.techcult.ru/technology/15948-bespilotniki-lockheed-martin-umeyut-prinimat-resheniya

[14] Смирнов Г. «Квантовое превосходство» и ИИ: что нас ждет // AI Smart Hub. 2025. 2 июля. URL: https://aismarthub.ru/articles/view/kvantovoe-prevoskhodstvo-i-ii-chto-nas-zhdet

[15] 72-кубитный квантовый компьютер на атомной платформе собрали в МГУ // Наука.рф. 2025. 22 декабря. URL: https://наука.рф/news/72-kubitnyy-kvantovyy-kvantovyy-kompyuter-na-atomnoy-platforme-sobrali-v-mgu/

При этом целесообразно создавать/доводить заново единые «опорные» отечественные платформы цифровых двойников для ВВТ (с VV&A, конфигурационным управлением, доменами разного уровня открытости), отечественные цифровые полигоны с поддержкой сценариев мультидоменности и интеграцией телеметрии.

Необходимо перспективно нормативно закреплять как интерфейс распределённого моделирования (при необходимости), так и ISO 23247 (для цифровых двойников производства), но для ВВТ нужны профили/дополнения по безопасности и разным уровням открытости. При этом возможно комбинировать частичное импортозамещение с частичной разработкой отраслевых модулей и шлюзов интероперабельности.

Нормативные документы должны регулировать термины и область применения (цифровой полигон, цифровой двойник, модель, уровень доверия), требования VV&A/аккредитации моделей (уровни доказательности, области валидности, управление неопределённостью, требования к данным (происхождение, качество, метаданные, хранение, сроки, доступ), требования к ИИ (метрики, мониторинг дрейфа, воспроизводимость, объяснимость, границы применения), кибербезопасность (защита моделей как критических активов, контроль доступа, журналирование), конфигурационное управление (версии модели/ПО/данных, связь с техзаданием и изменениями изделия), порядок применения результатов цифровых испытаний (что можно засчитывать, при каких условиях, как оформлять отчётность), требования к инфраструктуре (в т.ч. облачной) и разграничение контуров по секретности и требования к компетенциям и аттестации персонала (испытатели/аналитики/ML-инженеры).

Будущее испытаний военной продукции определяется следующими трендами: полная цифровая интеграция – от отдельных виртуальных моделей к национальной системе цифровых полигонов; интеллектуализация испытаний – переход от предиктивного ИИ к генеративным моделям, создающим новые сценарии, а также квантовый прорыв – радикальное ускорение моделирования и обработки данных, новое качество защиты информации.

Таким образом, перспективы развития цифровых технологий в испытаниях военной продукции обещают не только улучшение текущих практик, но и создание принципиально новой парадигмы испытаний, где виртуальная и реальная среда будут полностью интегрированы, а ИИ станет ключевым инструментом обеспечения надёжности и безопасности вооружений.

Заключение

Развитие цифровых технологий и ИИ оказывает революционное воздействие на систему испытаний военной продукции. В условиях стремительного усложнения вооружений и необходимости ускоренного цикла «исследование – разработка – испытания – серийное производство» традиционные методы проверки становятся недостаточно эффективными.

Проведённый анализ показал, что цифровизация испытательных процессов открывает целый комплекс преимуществ: сокращение сроков испытаний на 30-50% за счёт использования цифровых двойников и виртуальных полигонов; снижение стоимости испытаний на 20-40% благодаря уменьшению объёма натурных тестов и оптимизации ресурсов; повышение точности прогнозирования отказов до 90-95% за счёт применения предиктивной аналитики и Big Data; рост безопасности испытаний, так как значительная часть сценариев переносится в виртуальную среду; масштабируемость испытаний – возможность моделировать сотни и тысячи вариантов боевого применения техники, включая те, что невозможно реализовать в реальности.

При этом исследование показало, что переход к цифровым полигонам и интеллектуальным системам испытаний сопряжён с рядом проблем и рисков. Наиболее серьёзными являются: угрозы кибербезопасности, связанные с использованием облачных систем и сетей IoT; недостаточная надёжность цифровых моделей, требующая регулярной валидации на основе натурных данных; отсутствие нормативно-правовой базы, которая закрепляла бы правила применения ИИ в оборонной сфере; дефицит квалифицированных кадров, способных работать с технологиями Big Data, AR/VR и квантовыми вычислениями.

Тем не менее мировая практика (опыт России, США и НАТО) показывает, что преимущества цифровизации значительно перевешивают её риски. Уже сегодня цифровые полигоны, генеративный ИИ и интеграция IoT становятся частью стандартных программ испытаний авиации, бронетехники и ВМФ.

Особый интерес представляют перспективные направления развития: переход к полностью интегрированным цифровым полигонам, объединяющим авиацию, бронетехнику и флот в единую виртуальную среду; использование генеративного ИИ, способного автоматически создавать сценарии испытаний и моделировать действия виртуального противника; внедрение квантовых вычислений, обеспечивающих сверхбыструю обработку данных, точное моделирование гиперзвуковых процессов и принципиально новый уровень криптографической защиты.

Таким образом, можно заключить, что цифровизация испытаний военной продукции является не просто технологическим трендом, а стратегическим направлением развития оборонно-промышленного комплекса. Она позволяет не только ускорить цикл создания новых вооружений, но и повысить их качество, надёжность и боевую устойчивость. Для России это особенно важно, поскольку в условиях современных геополитических вызовов обеспечение технологического суверенитета и повышение эффективности оборонной сферы становятся ключевыми факторами национальной безопасности. В перспективе цифровые технологии и ИИ превратят испытания военной продукции из статичного процесса проверки в динамическую интеллектуальную систему, где каждый новый опыт будет автоматически обогащать цифровую модель и повышать уровень готовности вооружений к реальному применению. Применение цифровых технологий и ИИ в испытаниях военной продукции является ключевым направлением цифровой трансформации оборонной промышленности. Оно позволит обеспечить высокую эффективность, безопасность и конкурентоспособность вооружений.

Список источников

1. Буренок В.М., Найденов В.Г. Методы повышения эффективности применения средств и систем обеспечения испытаний вооружения, военной и специальной техники. М.: Граница, 2007. 408 с.

2. Горский А.С., Полушкин В.М., Ермоленко А.В. Комплексный подход к проведению испытаний систем искусственного интеллекта // Вооружение и экономика. 2024. №3(69). С. 28-38.

3. Андриевский Б.Р., Попов А.М., Михайлов В.А., Попов Ф.А. Применение методов искусственного интеллекта для управления полетом беспилотных летательных аппаратов // Аэрокосмическая техника и технологии. 2023. Т.1. №2. С. 72-107.

4. 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.

5. Горский А.С. Актуальные вопросы виртуальных испытаний систем искусственного интеллекта // Вооружение и экономика. 2023. №2(64). С. 35-39.

6. Комаров Н.М., Голубев С.С., Пащенко Д.С., Щербаков А.Г. Инструменты искусственного интеллекта в программах цифровой трансформации промышленных предприятий // Мир новой экономики. 2024. Т.18. №3. С. 6-16.

7. Шпак П.С., Сычева Е.Г. Экономические ориентиры и перспективы развития концепции цифровых двойников в авиационной отрасли России // Вестник Омского университета. Серия «Экономика». 2024. Т.22. №4. С. 33-42.

8. Кабанов, А. А., Амосов, М. В. VR/AR в изучении, создании и эксплуатации аэрокосмической техники: из макромира в микромир, от наблюдения к действиям // Труды МАИ. 2023. №128. С. 1-41.

Информация об авторах

С.С. Голубев – доктор экономических наук, профессор, SPIN код автора 6313-4466.
А.Л. Афанасьев – кандидат технических наук, SPIN код автора 3270-2456.
Ю.А. Петров – ORCID-идентификатор автора 0009-0008-8852-279X.

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 р а з р я д к у (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, имеющихся 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	
SPIN-код автора	
ORCID-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

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

2025
№4(74)

Вооружение и экономика

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
Буренок 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.

В номере:

ВООРУЖЕНИЕ И ВОЕННАЯ ТЕХНИКА

Буравлев А.И.
Аналитическая модель связи военно-технических характеристик образцов вооружения и военной техники с их боевым потенциалом

Тимошенко А.В., Ромахин В.А., Шнегельбергер А.В.
Об изменении вектора развития программы гиперзвукового оружия воздушного базирования в Соединенных Штатах Америки

Гладышевский В.Л., Антохин Е.А., Губар А.С.
Основные направления применения комплексов с FPV-дронами в ходе современных боевых действий

Конради Д.С.
Метод прогнозирования среднерыночной стоимости разрабатываемого образца вооружения, военной и специальной техники на примере комплекса противодронной защиты

Изонов В.В., Шептура В.Н.
Опыт работы военной приемки по увеличению поставок и обеспечению надежности средств связи в 1944-1945 годах

ВОЕННАЯ ЭКОНОМИКА

Леонов А.В., Брайткрайц С.Г., Пронин А.Ю.
Технологическое прогнозирование на этапах создания перспективного вооружения

Фиров Н.В.
Методика оперативной оценки военно-экономической целесообразности разработки образцов вооружения, военной и специальной техники с заданными тактико-техническими характеристиками

Николаев А.Е., Абрамов И.А.
Модель оценивания военно-экономической эффективности применения технологий искусственного интеллекта в информационно-аналитической деятельности органов военного управления

МЕНЕДЖМЕНТ

Голубев С.С., Афанасьев А.Л., Петров Ю.А.
Применение цифровых технологий и искусственного интеллекта при испытаниях военной продукции